



# Инновации в АПК: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ



№2 (22) 2019

# **Инновации в АПК: проблемы и перспективы**

**Теоретический и научно-практический журнал**  
**Учредитель Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования «Белгородский государственный**  
**аграрный университет имени В.Я. Горина»**  
Официальный сайт: <http://www.bsaa.edu.ru>

*В журнале публикуются результаты фундаментальных и прикладных исследований, обсуждаются теоретические, методологические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса России и зарубежья, предлагаются пути их решения*

**Издаётся с 2013 года**

**Выходит один раз в квартал**

**Выпуск 2 (22)**  
**2019 г.**

**п. Майский**  
**ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ**  
**2019**

## **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

### **Главный редактор**

**Турьянский А.В.**, д. э. н., профессор

### **Заместители главного редактора**

**Дорофеев А.Ф.**, д. э. н., доцент

### **Члены редакционной коллегии:**

**Азаров В.Б.**, д. с.-х. н., профессор;

**Андрианов Е.А.**, д. с.-х. н., профессор;

**Аничин В.Л.**, д. э. н., профессор;

**Афоничев Д.Н.**, д. тех. н., профессор;

**Бабинцев В.П.**, д. фил. н., профессор;

**Вендин С.В.**, д. тех. н., профессор;

**Груздова Л.Н.**, к. э. н., доцент;

**Гурин А.Г.**, д. с.-х. н., профессор;

**Демидова А.Г.**, к. с.-х. н., доцент;

**Запорожцева Л.А.**, д. э. н., профессор;

**Колесников А.С.**, к. тех. н., доцент;

**Коломейченко А.В.**, д. тех. н., профессор;

**Котлярова Е.Г.**, д. с.-х. н., профессор;

**Коцарева Н.В.**, д. с.-х. н., доцент;

**Лебедев А.Т.**, д. тех. н., профессор;

**Лицуков С.Д.**, д. с.-х. н., профессор;

**Ломазов В.А.**, д. физ.-мат. н., профессор;

**Меделяева З.П.**, д. э. н., профессор;

**Мязин Н.Г.**, д. с.-х. н., профессор;

**Наседкина Т.И.**, д. э. н., профессор;

**Наумкин В.Н.**, д. с.-х. н., профессор;

**Пастухов А.Г.**, д. тех. н., профессор;

**Поливаев О.И.**, д. тех. н., профессор;

**Растопчина Ю.Л.**, к. э. н., доцент;

**Саенко Ю.В.**, д. тех. н., доцент;

**Сидоренко О.В.**, д. э. н., доцент;

**Скuryтин Н.Ф.**, д. тех. н., профессор;

**Смуrow С.И.**, к. с.-х. н.;

**Столяров О.В.**, д. с.-х. н., профессор;

**Ступаков А.Г.**, д. с.-х. н., профессор;

**Токарь Е.В.**, д.э.н., профессор

## **НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ**

**Турьянский А.В.**, д. э. н., профессор (Россия) – председатель;

**Дорофеев А.Ф.**, д. э. н., доцент (Россия) – зам. председателя.

### **Члены научно-редакционного совета:**

**Бондаренко Л.В.**, д. э. н., профессор, член-корреспондент РАН (Россия);

**Вереновска А.**, PhD э. н. (Польша);

**Ерохин М.Н.**, д. т. н., профессор, академик РАН (Россия);

**Колесников А.В.**, д. э. н., доцент (Россия);

**Леммер А.Дж.**, д. с.-х. н. (Германия);

**Простенко А.Н.**, к. э. н. (Россия);

**Савченко Е.С.**, д. э. н., профессор, член-корреспондент РАН (Россия);

**Турусов В.И.**, д. с.-х. н., профессор, академик РАН (Россия);

**Ужик В.Ф.**, д. т. н. профессор (Россия)

**Ушачев И.Г.**, д. э. н., профессор, академик РАН (Россия);

**Яска Е.**, PhD э. н. (Польша).

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 77-63038 от 10 сентября 2015 г.  
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий  
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

ISSN – 2311 – 9535

**Подписной индекс** в каталоге «Объединенный каталог. Пресса России.  
Газеты и журналы» – **40760**.

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (**РИНЦ**).

Материалы издания выборочно включаются в реферативную базу данных **Agris**.

Распоряжением Минобрнауки России № 21-р от 12.02.2019 г. в **Перечень ведущих рецензируемых научных журналов**, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук включены следующие научные специальности, представленные в журнале:

**05.20.01** – Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки),

**05.20.02** – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве (технические науки),

**05.20.03** – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве (технические науки),

**06.01.01** – Общее земледелие, растениеводство (сельскохозяйственные науки),

**06.01.04** – Агрехимия (сельскохозяйственные науки),

**08.00.05** – Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности) (экономические науки),

**08.00.10** – Финансы, денежное обращение и кредит (экономические науки),

**08.00.12** – Бухгалтерский учет, статистика (экономические науки)

**Редактор Потапов Н.К.**

Дизайн-макет и компьютерная вёрстка **Потапов Н.К.**

#### **Адрес редакции и издателя журнала**

308503, ул. Вавилова, 1, п. Майский, Белгородский р-н, Белгородская обл., Россия

Тел.: +7-4722-39-22-68, Факс: +7-4722-39-22-62

Официальный сайт журнала: <http://www.journal-belgau.ru>

Отпечатано в ООО Издательско-полиграфический центр «ПОЛИТЕРРА»

Подписано в печать 02.07.2019 г., дата выхода в свет – 11.07.2019 г.

Усл. п.л. 24,5. Тираж 1000 экз. Заказ № 1588. Свободная цена.

Адрес типографии: г. Белгород, пр. Б. Хмельницкого, 137, корпус 1, офис 357

Тел. +7-4722-35-88-99; +7-910-360-14-99

e-mail: [polyterra@mail.ru](mailto:polyterra@mail.ru), официальный сайт: <http://www.polyterra.ru>

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», 2019.

# **Innovations in Agricultural Complex: problems and perspectives**

**Theoretical, research and practice journal**

**Founder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
“Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin”**

Official website: <http://www.bsaa.edu.ru>

*The journal publishes the results of fundamental and applied research,  
discusses the theoretical, methodological and applied problems of the agro-industrial complex  
of Russia and abroad, suggests ways to solve them*

**Published since 2013**

**Issued once per quarter**

**Release 1 (21)  
2019**

**Maysky  
FSBEI HE Belgorod SAU  
2019**

## **EDITORIAL STAFF**

### **Editor in Chief**

**Tur'ianskii A.V.**, Dr. Econ. Sci., professor

### **Deputy editors**

**Dorofeev A.F.**, Dr. Econ. Sci., associate professor

### **Members of Editorial Staff**

**Azarov V.B.**, Dr. Agr. Sci., professor;  
**Andrianov E.A.**, Dr. Agr. Sci., professor;  
**Anichin V.L.**, Dr. Econ. Sci., professor;  
**Afonichev D.N.**, Dr. Tech. Sci., professor;  
**Babintsev V.P.**, Dr. Phil. Sci., professor;  
**Vendin S.V.**, Dr. Tech. Sci., professor;  
**Gruzдова L.N.**, Cand. Econ. Sci., as. prof.;  
**Gurin A.G.**, Dr. Agr. Sci., professor;  
**Demidova A.G.**, Cand. Agr. Sci., as. prof.;  
**Zaporozhtseva L.A.**, Dr. Econ. Sci., professor;  
**Kolesnikov A.S.**, Cand. Tech. Sci., as. prof.;  
**Kolomeichenko A.V.**, Dr. Tech. Sci., professor;  
**Kotliarova E.G.**, Dr. Agr. Sci., professor;  
**Kotsareva N.V.**, Dr. Agr. Sci., as. prof.;  
**Lebedev A.T.**, Dr. Tech. Sci., professor;  
**Litsukov S.D.**, Dr. Agr. Sci., professor;  
**Lomazov V.A.**, Dr. Phys.-math. Sci., prof.;  
**Medel'iyeva Z.P.**, Dr. Econ. Sci., professor;  
**Myazin N.G.**, Dr. Agr. Sci., professor;  
**Nasedkina T.I.**, Dr. Econ. Sci., professor;  
**Naumkin V.N.**, Dr. Agr. Sci., professor;  
**Pastukhov A.G.**, Dr. Tech. Sci., professor;  
**Polivaev O.I.**, Dr. Tech. Sci., professor;  
**Rastopchina Y.L.**, Cand. Econ. Sci., as. prof.;  
**Saenko Yu.V.**, Dr. Tech. Sci., professor;  
**Sidorenko O.V.**, Dr. Econ. Sci., as. prof.;  
**Skuriatin N.F.**, Dr. Tech. Sci., professor;  
**Smurov S.I.**, Cand. Agr. Sci.;  
**Siolyarov O.V.**, Dr. Agr. Sci., professor;  
**Stupakov A.G.**, Dr. Agr. Sci., professor;  
**Tokar E.V.**, Dr. Econ. Sci., professor

## **EDITORIAL BOARD**

**Tur'ianskii A.V.**, Dr. Econ. Sci., professor (Russia) – **Chairman**;  
**Dorofeev A.F.**, Dr. Econ. Sci., associate professor (Russia) – **Vice-Chairman**.

### **Members of Editorial Board:**

**Bondarenko L.V.**, Dr. Econ. Sci., professor, Correspondent Member of RAS (Russia);  
**Werenowska A.**, PhD in economics (Poland);  
**Erokhin M.N.**, Dr. Tech. Sci., professor, Academician of RAS (Russia);  
**Kolesnikov A.V.**, Dr. Econ. Sci., associate professor (Russia);  
**Lemmer A.J.**, Dr. Agr. Sci. (Germany);  
**Prostenko A.N.**, Cand. Econ. Sci. (Russia);  
**Savchenko E.S.**, Dr. Econ. Sci., professor, Correspondent Member of RAS (Russia);  
**Turusov V.I.**, Dr. Agr. Sci., professor, Academician of RAS (Russia);  
**Uzhik V.F.**, Dr. Tech. Sci., professor (Russia);  
**Ushachev I.G.**, Dr. Econ. Sci., professor, Academician of RAS (Russia);  
**Jaska E.**, PhD in economics (Poland).

Registration Certificate: ПИ № ФС 77-63038 of 10 September 2015  
issued by the Federal service for supervision in the sphere of Telecom,  
information technologies and mass communication (Roscomnadzor)

ISSN – 2311 – 9535

**Subscription Index** in the directory “The United catalogue. The Russian Press.  
Newspapers and magazines” – 40760.

The journal is included in the Russian Index of Scientific Citing (**RISC**).

Scientific papers are selectively included in **Agris** abstract database.

By order of the Ministry of Education and Science of Russia № 21-p dated February 12, 2019, the list of leading reviewed scientific journals in which the main scientific results of dissertations for the doctoral degrees of doctor and candidate of science should be published includes the following scientific specialties presented in the journal:

- 05.20.01** - Technologies and means of agricultural mechanization (technical sciences),
- 05.20.02** - Electrotechnologies and electrical equipment in agriculture (technical sciences),
- 05.20.03** - Technologies and means of technical maintenance in agriculture (technical sciences),
  
- 01.06.01** - General agriculture, crop production (agricultural sciences),
- 01.06.04** - Agrochemistry (agricultural sciences),
  
- 08.00.05** - Economics and management of the national economy (by branches and fields of activity) (economic sciences),
- 08.00.10** - Finance, money circulation and credit (economic sciences),
- 08.00.12** - Accounting, Statistics (Economic Sciences)

Executive editor **Potapov N.K.**

Design layout and computer-aided makeup **Potapov N.K.**

**Editorial board and journal publisher**

ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia  
Tel.: +7 4722 39-22-68, Fax: +7 4722 39-22-62  
Official website of the journal: <http://www.journal-belgau.ru>

Printed in (Limited liability company) Publication and printing center “POLYTERRA”

Signed for publication 02.07.2019, date of publication 11.07.2019.

Conventional printed sheet 24,5. Circulation 1000 copies Order № 1588. Free price

Address of printing: pr. B. Khmel'nitskogo, 137, site 1, room 357, Belgorod, Russia

tel. +7-4722-35-88-99, +7-910-360-14-99

e mail: [polyterra@mail.ru](mailto:polyterra@mail.ru), Official website: [www//polyterra.ru](http://www/polyterra.ru)

© Federal State Budgetary Educational Institution  
of Higher Education «Belgorod State Agricultural  
University named after V. Gorin», 2019

**СОДЕРЖАНИЕ**

**АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ**

<i>С.А. Булгаков</i> ОЦЕНКА ПОСЛЕПУСКОВЫХ ИЗНОСОВ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ЗМЗ-4062.10 В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР.....	9
<i>С.В. Вендин, Ю.В. Саенко, В.Ю. Страхов</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ НА ПРОРАЩИВАНИЕ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ И ЯЧМЕНЯ.....	15
<i>С.С. Квон, В.Ю. Куликов, Д.Р. Аубакиров, Е.П. Щербакова</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЛИН КАЗАХСТАНСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА СВОЙСТВА ОБОЛОЧКОВОЙ ФОРМЫ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОТЛИВОК СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ.....	30
<i>А.С. Колесников</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДОЗАТОРА-СМЕСИТЕЛЯ ЖИДКОСТЕЙ.....	37
<i>И.Н. Кравченко, А.В. Коломейченко, Б.А. Богачев, М.А. Глинский</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПЛАЗМЕННЫХ МЕТОДОВ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ В ПРОЦЕССАХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	49
<i>О.А. Леонов, У.Ю. Антонова</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СЕЛЕКТИВНОЙ СБОРКИ СОЕДИНЕНИЯ «ЦИЛИНДР – ПОРШЕНЬ» ДЛЯ УСЛОВИЙ МЕЛКОСЕРИЙНОГО РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	60
<i>А.Г. Пастухов, И.Ш. Бережная</i> МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ КРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ИНСТРУМЕНТА ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО НАРАЩИВАНИЯ.....	67
<i>А.П. Слободюк, А.В. Бондарев, С.В. Стребков, А.Ф. Мазнев</i> ОБОСНОВАНИЕ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ ОПРЫСКИВАТЕЛЯ ОП-2000.....	78
<i>Е.П. Тимашов</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОДШИПНИКОВОГО УЗЛА КАРДАННОГО ШАРНИРА.....	87
<i>В.Ф. Уэжик, С.И. Некипелов, О.В. Китаёва, О.С. Кузьмина</i> К ОБЕСПЕЧЕНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОТИВ ОПОКИДЫВАНИЯ МОБИЛЬНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ДОЕНИЯ КОРОВ.....	100
<i>И.В. Юдаев, А.С. Казакова, Ю.В. Даус, Р.Г. Кокурин</i> РЕАКЦИЯ ТКАНЕЙ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ.....	119

**ИННОВАЦИОННАЯ ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ  
ПРЕДПРИЯТИЯМИ АПК И СОЦИАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ СЕЛА**

<i>А.В. Котарев, А.О. Котарева, И.Н. Василенко</i> ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В УПРАВЛЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ И ИННОВАЦИОННОСТЬЮ ОТРАСЛЕВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ АПК РФ.....	127
<i>М.А. Холодова, О.А. Холодов</i> РАЗВИТИЕ ОТРАСЛИ ЖИВОТНОВОДСТВА В РАМКАХ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....	136

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АГРОНОМИИ**

<i>В.Д. Буханов, Н.П. Зуев, Л.А. Кадуцкая, Е.А. Арсеенко, Е.Е. Зуева</i> ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В ВОРОНЕЖСКОЙ ГУБЕРНИИ.....	146
<i>В.А. Волкова, Н.А. Воронкова, В.Д. Дороненко, Н.Ф. Балабанова</i> ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И СОЛОМЫ НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ И ЗЕРНЕ ЯЧМЕНЯ.....	152
<i>А.Ф. Дорофеев, В.Н. Наумкин, С.Д. Лицуков, Н.А. Белозурова, А.Н. Крюков, А.Г. Демидова</i> О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ УРОВНЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ АГРАРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ.....	160
<i>С.И. Капустин, А.Б. Володин, А.С. Капустин, М.Ю. Кухарук</i> ОЦЕНКА СЕЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА СОРГО НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ПОКРЫТОЙ ГОЛОВНЕ.....	166
<i>Т.С. Морозова, С.Д. Лицуков</i> ОЦЕНКА НАКОПЛЕНИЯ КАДМИЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЕЙ.....	173
<i>М.Н. Рязанов, Е.Г. Котлярова</i> СТРУКТУРА И ВОДОПРОЧНОСТЬ ПОЧВЕННЫХ АГРЕГАТОВ ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО ПОД ПОДСОЛНЕЧНИКОМ В ЛАНДШАФТНЫХ УСЛОВИЯХ ЦЧР.....	181
<b>Нашим авторам.....</b>	<b>192</b>



**CONTENTS**

**AGRICULTURAL ENGINEERING AND ENERGY EFFICIENCY**

*S.A. Bulgakov*  
ASSESSMENT OF POSITIVE WEARS OF A PETROL ENGINE ZMZ-4062.10 IN THE CONDITIONS OF LOW TEMPERATURES.....9

*S.V. Vendin, Yu.V. Saenko, V.Yu. Strakhov*  
RESEARCH OF THE EFFECT OF VARIOUS WAYS OF PRE-SEEDING TREATMENT ON THE PROTECTION OF WHEAT GRAIN AND BARLEY.....15

*S.S. Kvon, V.Yu. Kulikov, D.R. Aubakirov, E.P. Chsherbakova*  
STUDY OF THE EFFECT OF CLAYS KAZAKHSTANI FIELDS ON THE PROPERTIES OF THE SHELL MOLDS IN THE MANUFACTURE OF CASTINGS FOR AGRICULTURAL ENGINEERING.....30

*A.S. Kolesnikov*  
EXPERIMENTAL STUDIES OF OPERABILITY OF THE BATCHER MIXER OF LIQUIDS.....37

*I.N. Kravchenko, A.V. Kolomeichenko, B.A. Bogachev, M.A. Glinsky*  
IMPROVING OF PLASMA COATING METHODS IN THE PROCESSES OF RECONDITIONING AND HARDENING OF AGROINDUSTRIAL PROCESSING EQUIPMENT PARTS.....49

*O.A. Leonov, U.Yu. Antonova*  
PERFECTION OF THE SELECTIVE ASSEMBLY OF THE CONNECTION «CYLINDER – PISTON» FOR THE CONDITIONS OF MINOR-SERIES REPAIR MANUFACTURE.....60

*A.G. Pastukhov, I. Sh. Berezhnaya*  
TECHNIQUE AND RESULTS OF CRITERIA ESTIMATION OF THE ELECTRO-SPIRITUAL DEVELOPMENT TOOL.....67

*A.P. Slobodyuk A.V. Bondarev S.V. Strebkov A. Ph. Maznev*  
JUSTIFICATION OF THE MODERNIZED CONSTRUCTIVE SCHEME OF THE SPRAYER OP-2000.....78

*E.A. Timashov*  
MODELLING OF TEMPERATURE CONDITION OF BEARING KNOT OF THE CARDAN DRIVE.....76

*V.F. Uzhik, S.I. Nekipelov, O.V. Kitaeva, O.S. Kuzmina*  
TO ENSURE SUSTAINABILITY AGAINST TIPPING MOBILE UNIT FOR COWING.....100

*I.V. Yudaev, A.S. Kazakova, Yu.V. Daus, R.G. Kokurin*  
RESPONSE OF VEGETABLE PLANT TISSUES TO ELECTROIMPULSE IMPACT.....119

**INNOVATIVE ECONOMICS, MANAGEMENT OF AGRICULTURAL ENTERPRISES AND SOCIAL DEVELOPMENT OF RURAL TERRITORIES**

*A.V. Kotarev, A.O. Kotereva, I.N. Vasilenko*  
OPTIMIZATION SOLUTIONS IN THE MANAGEMENT OF THE EFFICIENCY AND INNOVATIVENESS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES OF THE AGROINDUSTRIAL COMPLEX RUSSIAN FEDERATION.....127

*M.A. Kholodova, O.A. Kholodov*  
THE DEVELOPMENT OF THE LIVESTOCK INDUSTRY IN THE FRAMEWORK OF FOOD SECURITY.....136

**INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN AGRONOMY**

*V.D. Bukhanov N.P. Zuev L.A. Kadutskaya E.A. Arsenko E.E. Zueva*  
HISTORY OF DEVELOPMENT OF AGRICULTURE IN VORONEZH PROVINCE.....146

*V.A. Volkova, N.A. Voronkova, V.D. Doronenko, N.F. Balabanova*  
THE INFLUENCE OF CONTINUOUS APPLICATION OF MINERAL FERTILIZERS AND STRAW ON THE CONTENT OF HEAVY METALS IN SOIL AND BARLEY GRAIN.....152

*A.F. Dorofeyev, V.N. Naumkin, S.D. Litsukov, N.A. Belogurova, A.N. Kryukov, A.G. Demidova*  
ABOUT IMPROVEMENT OF LEVEL OF TRAINING OF SPECIALISTS AGRARIAN EDUCATION.....160

*S.I. Kapustin, A.B. Volodin, A.S. Kapustin, M.Yu. Kukharuk*  
EVALUATION OF THE SORGO SELECTION MATERIAL FOR RESISTANCE TO THE COVERED HEAD.....166

*T.S. Morozova, S.D. Litzukov*  
ASSESSMENT CADMIUM ACCUMULATION OF THE WINTER WHEAT.....173

*M.N. Ryazanov E.G. Kotlyarova*  
STRUCTURE AND WATER STABILITY OF SOIL AGGREGATES OF TYPICAL CHERNOZEM UNDER SUNFLOWER IN THE LANDSCAPE CONDITIONS OF THE CENTRAL CHERNOZEM REGION.....181

**Our reviewers**.....192

## АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

УДК 62-932.4

*С.А. Булгаков*

### ОЦЕНКА ПОСЛЕПУСКОВЫХ ИЗНОСОВ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ЗМЗ-4062.10 В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

**Аннотация.** Экспериментальные исследования с целью изучения закономерностей износа основных сопряжений в период прогрева бензинового двигателя ЗМЗ-4062.10 в условиях низких температур окружающего воздуха выполнены в Инженерном институте Новосибирского ГАУ в 2018-2019 гг. Прогрев осуществляли без предпускового разогрева холодного двигателя от минус 20 °С до плюс 40 °С в режиме динамического нагружения и работой на холостом ходу. Режим динамического нагружения представляет собой периодически повторяющиеся такты разгона и выбега, которые способствует созданию нагрузки на двигатель с помощью сил инерции вращающихся масс. Скоростной режим определялся средним значением диапазона угловой скорости коленчатого вала, с учетом того, что эти значения переменны и зависят от степени прогрева двигателя. Программа исследований включала в себя сравнительный анализ величины износа гильз, поршневых колец и вкладышей. Износ поршневых колец и вкладышей определяли весовым методом, а гильз цилиндров - методом искусственных баз (вырезанных лунок) при помощи прибора УПОИ-6. Испытания показали, наибольший средний износ цилиндров, приходящийся на один пуск, имеет место при пуске-прогреве в штатном режиме и находится в пределах 0,060 мкм. Наименьшая величина этого показателя отмечена при пуске двигателя с динамическим нагружением - 0,052 мкм. Сравнительный анализ показал, что при пуске-прогреве в штатном режиме, износ по гильзам в 1,16 раза больший, по кольцам - в 2,2 раз меньший, по вкладышам в 2,91 раз больший. С учетом полученных результатов, с точки зрения минимизации эксплуатационных износов, следует рекомендовать к использованию прогрев двигателя в режиме работы разгон-выбег.

**Ключевые слова:** пусковые износы, послепусковые износы, износ при прогреве, цилиндропоршневая группа, холодный пуск, прогрев.

### ASSESSMENT OF POSITIVE WEARS OF A PETROL ENGINE ZMZ-4062.10 IN THE CONDITIONS OF LOW TEMPERATURES

**Abstract.** Experimental studies to study the patterns of wear of the main interfaces during the warm-up period of the ZMZ-4062.10 gasoline engine under conditions of low ambient temperatures were performed at the Novosibirsk GAU Engineering Institute in 2018–2019. Warming up was carried out without preheating of the cold engine from minus 20 °C to plus 40 °C in the dynamic loading mode and at idling. The dynamic loading mode is a periodically repeated acceleration and run-off cycles, which contributes to creating a load on the engine using the forces of inertia of the rotating masses. The speed mode was determined by the average value of the crankshaft angular velocity range, taking into account that these values are variable and depend on the degree of engine warm-up. The research program included a comparative analysis of the amount of wear of liners, piston rings and liners. The wear of piston rings and liners was determined by the gravimetric method, and cylinder liners - by the method of artificial bases (cut holes) using the UPOI-6 device. Tests have shown that the greatest average wear of cylinders per one start takes place during start-up heating in the normal mode and is in the range of 0,060 μm. The smallest value of this indicator is noted when starting the engine with dynamic loading - 0,052 microns. A comparative analysis showed that during start-up heating in the normal mode, the wear on the liners is 1,16 times greater, on the rings 2,2 times smaller, on liners 2,91 times greater. Taking into account the obtained results, from the point of view of minimizing operating wear, it is recommended to use the engine warm-up in the acceleration-coasting mode of operation.

**Keywords:** start-up wear, post-start wear, wear during warm-up, cylinder-piston group, cold start, warm-up.

Несмотря на суровые погодные условия и температурный режим при эксплуатации техники, обеспечение хранения всех транспортных средств в отапливаемых гаражах в зимний период является задачей нереальной. На сегодняшний день на открытых площадках в межсезонный период хранится до 70 % автотракторной техники[1]. В связи с этим вопрос безгаражного хранения машин при низкой температуре в период межсезонных стоянок приобретает все большую актуальность.

Основным критерием эффективности тепловой подготовки машин к работе в этом случае является высокий коэффициент готовности к эксплуатации и минимальные износы основных деталей двигателя в период пуска и послепускового прогрева[2-4].

Известно, что интенсивность изнашивания основных сопряжений двигателя и особенно ЦПГ в период пуска-прогрева повышается. По широко распространенному мнению и ре-

зультатам многих исследований, износ в период пуска-прогрева составляет 50...70 % от общего износа за весь период эксплуатации до ремонта. В то же время, ряд авторов эти износы оценивают от 2 до 15 %, реже до 19 % [5].

Противоречивость существующих результатов исследований по оценке износов в период пуска-прогрева не позволяет сделать достоверных выводов об их величине и характере без дополнительных экспериментальных исследований.

Цель работы – оценка износов деталей ЦПГ в период пуска - прогрева в условиях низких температур.

Задачей представленной работы является исследование закономерности износов двигателя во время послепускового прогрева в штатном режиме работы и режиме свободный разгон-выбег.

Известно, что существенное влияние на износ оказывает давление газов в цилиндре двигателя. Прогрев в штатном режиме характеризуется индикаторным давлением  $\bar{P}_i^{шт}$ , а для переходного режима – средним давлением за один цикл:

$$P_{p-в} = \frac{\bar{P}_i t_p + \bar{P}_c t_в}{t_p + t_в}, \quad (1)$$

где  $\bar{P}_i$  – среднее индикаторное давление, Па;

$\bar{P}_c$  - среднее давление конца сжатия, Па ;

$t_p$  - время разгона, с;

$t_в$  - время выбега, с.

С целью подтверждения различия в этих показателях при прогреве на установившемся режиме работы и с динамическим нагружением были проведены экспериментальные исследования.

**Материалы и методы.** Исследование влияния самопрогрева двигателя Заволжского моторного завода марки ЗМЗ-4062.10 с комплексной микропроцессорной системой управления впрыском топлива и зажиганием на интенсивность износа деталей ЦПГ осуществляли на базе Инженерного института Новосибирского ГАУ в 2018-2019 гг.. Испытания проводились на экспериментальной установке (рисунок 1), состоящей из двигателя, оборудованного всеми штатными системами и навесным оборудованием размещенных на сваренной раме. Дополнительно были установлены термопреобразователи сопротивления ДТС 044 – 50 М, входящие в состав измерительно-вычислительного комплекса «Овен» на базе персонального компьютера, для контроля температур охлаждающей жидкости и масла в различных точках двигателя.



Рис. 1. Экспериментальная установка

Испытания проводились на открытой стоянке при отрицательных значениях температур окружающего воздуха (ниже минус 20°C), в период проведения испытаний двигатель не

утепляли. Согласно руководству по эксплуатации весь период испытаний использовалось топливо марки АИ-95 (куплена контрольная партия), масло с вязкостью 5w-30, в качестве охлаждающей жидкости – тосол А-40.

Пуск двигателя осуществляли с учетом требований, предъявляемых тепловой подготовке холодного двигателя согласно ГОСТ Р 54120-2010 [6]. Начальная температура пуска принималась равной минус 20 °С, что для неподготовленного двигателя является минимальным значением температуры пуска, без применения дополнительных средств его облегчения.

Согласно руководству по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту двигателя ЗМЗ-4062.10 минимальная температура двигателя, подготовленного к принятию полной нагрузки составляет 40 °С, что и принималось за верхний предел тепловой подготовки [7].

Износ деталей ЦПГ (поршневых колец, вкладышей) определяли весовым методом, а гильз цилиндров - методом искусственных баз (вырезанных лунок) при помощи прибора УПОИ-6, разработанным в Институте машиноведения АН СССР М. М. Хрущевым и Е. С. Берковичем [8]. Данный способ позволяет с достаточной степенью точности установить величину износа деталей ЦПГ при работе двигателя в течение не менее 2 ч.

Исследования величин и характера износов деталей ЦПГ выполняли в два этапа.

Первый этап включал пуск-прогрев двигателя динамическим нагружением, работа двигателя осуществлялась в циклическом режиме разгон-выбег. Предполагается, что при таком режиме работы на такте разгона повышенная цикловая подача топлива сопровождается увеличением продолжительности сгорания и повышением средней температуры цикла, что способствует более полному сгоранию топлива и снижает вероятность коррозионного износа, а повышенный скоростной режим способствует обеспечению гидродинамических условий смазки подшипников коленчатого вала. На такте выбега, при полном отключении подачи топлива, еще больше уменьшается вероятность коррозионного износа, а из-за отсутствия сгорания снижаются удельные давления колец на стенки цилиндров, исключается выгорание масляной пленки с сопрягаемых поверхностей, что способствует снижению механического износа.

Второй этап - пуск-прогрев двигателя работой на холостом ходу (штатный режим).

Поскольку время пуска - прогрева при равных условиях в сравниваемых режимах существенно отличается, с точки зрения приемлемой точности на каждом этапе осуществляли 20 пусков-прогревов. Большее количество пусков-прогревов может только снизить погрешность измерений, а учитывая то, что при анализе результатов использовали относительную величину износов, приходящуюся на один пуск-прогрев, результаты этих этапов вполне сопоставимы.

С целью контроля изменения внутреннего диаметра цилиндров вследствие износа после каждого этапа испытаний двигателя разбирали, проводили микрометраж деталей ЦПГ. В этом случае внутренний диаметр измеряли в трех поясах (сечениях). В каждом из них нарежали по восемь лунок согласно ГОСТ 27860-88 [9]. Расположение поясов определялось зонами остановки поршневых колец (середина кольца). Длина вырезанных лунок находилась в пределах 2 мм, а их глубина - до 50 мкм. Измерение длины лунок до и после испытаний позволяет определить износ цилиндрической поверхности по формуле

$$\Delta h = 0,125 (l_1^2 - l_2^2)/r, \quad (2)$$

где  $l_1$  и  $l_2$  - длина лунки до и после изнашивания, мкм;

$r$  - радиус вращения вершины резца, мкм.

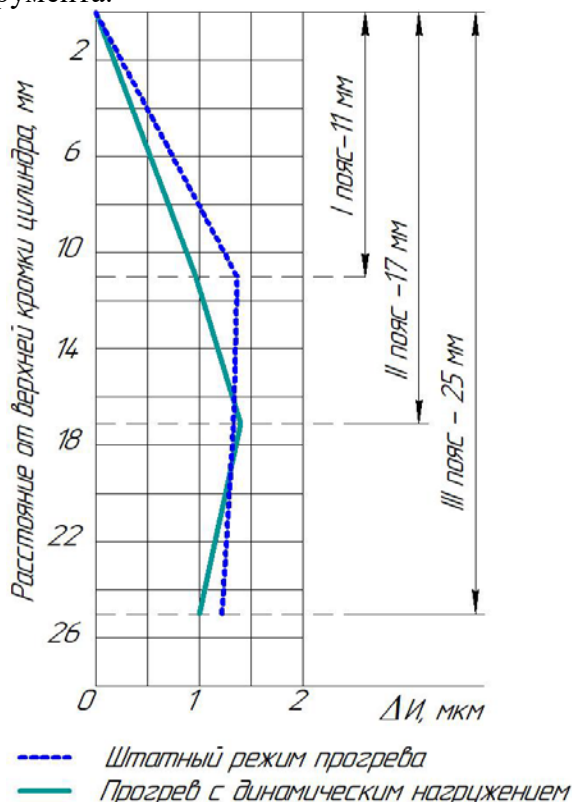
Микроскоп прибора УПОИ-6 позволяет замерить длину лунки с точностью до  $\pm 0,02$  мм, в пересчете на глубину лунки точность определения износа составит  $\pm 0,5$  мкм.

Кроме того, после каждого цикла испытаний осуществляли визуальную оценку состояния всех трущихся поверхностей деталей кривошипно-шатунного механизма (КШМ), проверяли подвижность поршневых колец, уровень нагаро- и лакообразования.

В процессе разборки регистрировали положение колец на поршнях с таким расчетом, чтобы сохранить его при последующей сборке двигателя.

**Результаты и обсуждение.** Результаты экспериментальных исследований подтвердили неравномерность абсолютных величин износов, которая отмечается и другими исследователями, например [5, 10].

Промеры износов после проведения каждого из этапов испытаний показали, что пуски-прогревы двигателя при температуре окружающей среды от минус 30°C до минус 20°C сопровождаются износом цилиндров (рисунок 2), абсолютная величина максимального диаметрального износа которых достигает 4,64 мкм и деталей ЦПГ, потеря веса которых достигает 0,21 г. В некоторых точках износ отсутствовал либо его величина находилась в пределах точности мерительного инструмента.



**Рис. 2.** Средний износ гильз цилиндров двигателя ЗМЗ-4062.10 за 20 циклов при пуске-прогреве от минус 20 до плюс 40 °С

Несмотря на низкую температуру окружающей среды, абсолютный износ гильз цилиндров был довольно мал, его средняя величина по поясам в различных цилиндрах изменялась от 0,94 до 1,4 мкм, причем большее значение относилось ко второму поясу, а износ в первом и третьем поясе почти одинаково изменялся в пределах от 0,94 до 1,28 мкм.

Средняя потеря веса коренных и шатунных вкладышей, а также поршневых колец на всех этапах изменялась в довольно широком интервале от 0 до 0,046 г. (таблица 1).

**Таблица 1 - Итоговые результаты по износу деталей ЦПГ при 20 пусках-прогревах двигателя ЗМЗ-4062.10**

Детали ЦПГ		Среднее значение износа при 20 пусках-прогревах, г	
		Динамическое нагружение	Холостой ход (штатный режим)
Кольца	1 компрессионное	-0,0075	-0,0075
	2 компрессионное	-0,025	-0,0050
	Маслосъемное	-0,0075	-0,0050
Шатунные вкладыши	нижние	-0,0325	-0,0425
	верхние	-0,0125	-0,0600
Коренные вкладыши	нижние	-0,0060	-0,0460
	верхние	-	-

Эти отклонения можно объяснить наличием масляной пленки на поверхностях трения или ее отсутствием, скоростным режимом работы, определяющим гидродинамические усло-

вия смазки подшипников коленчатого вала и время прогрева двигателя, а значит и время коррозионного износа поверхностей деталей ЦПГ, а также неполным прилеганием поверхности колец к зеркалу цилиндров, их конусностью и расположением лунок.

Поскольку целью экспериментальных исследований являлась сравнительная оценка способа прогрева динамическим нагружением и прогрева в штатном режиме, наиболее показательны относительные величины в расчете на один пуск-прогрев. Кроме того, обобщенные по всем цилиндрам результаты износных испытаний ЦПГ могут быть использованы при оценке эффективности предлагаемого способа.

Наибольший средний износ цилиндров, приходящийся на один пуск, имеет место при пуске-прогреве в штатном режиме и находится в пределах 0,060 мкм. Наименьшая величина этого показателя отмечена при пуске двигателя с динамическим нагружением - 0,052 мкм. Сравнительный анализ показал, что при пуске-прогреве в штатном режиме, износ по гильзам в 1,16 раза больший, по кольцам в 2,2 раз меньший, по вкладышам в 2,91 раз больший.

В то же время ресурс поршневой группы в большей степени лимитирует износ в верхних поясах гильзы. Как показали наши исследования, он остается вполне допустимым и ни в коем случае не может считаться угрожающим.

**Заключение.** Испытания показали, что наибольший средний износ деталей ЦПГ, приходящийся на один пуск-прогрев, имеет место при пуске-прогреве в режиме холостого хода. При использовании этого способа среднедиаметральный износ гильз больше, чем при прогреве динамическим нагружением, на 14 %, средняя потеря веса вкладышей коленчатого вала - на 32 %, однако износ колец уменьшился на 53 %.

Установлен приоритет при выборе способа тепловой подготовки двигателя к работе в период межсменных стоянок. С учетом полученных результатов, с точки зрения минимизации эксплуатационных износостойкости, следует рекомендовать к использованию прогрев двигателя с помощью динамического нагружения.

#### Библиография

1. Крамаренко Г.В., Николаев В.А., Шатилов А.И. Безгаражное хранение автомобилей при низких температурах. М.: Транспорт, 1984. 136 с.
2. Тышкевич Л. Н., Журавский Б. В. Повышение эффективности эксплуатации транспортных машин в условиях низких отрицательных температур // Вестник СибАДИ. 2016. Вып. 3 (49). С. 36–41.
3. Roberts A., Brooks R., Shipway P. Internal combustion engine cold-start efficiency: A review of the problem, causes and potential solutions // Energy Conversion and Management. Nottingham: Elsevier, 2014. Pp. 327–350.
4. Булгаков С.А., Воронин Д.М., Вертей М.Л. Повышение эффективности послепускового прогрева двигателя динамическим нагружением // АгроЭкоИнфо. – 2019, №1. – [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2019/1/st\\_129.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2019/1/st_129.doc).
5. Крохта Г.М., Усатых Н.А., Хомченко Е.Н. Закономерности пусковых и послепусковых износостойкости двигателя 44 11,0/12,5 (Д-240) при безгаражном хранении машин // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 5. С. 49-52.
6. ГОСТ Р 54120-2010 Двигатели автомобильные. Пусковые качества. Технические требования.
7. Руководство по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту бензиновых двигателей моделей ЗМЗ-4062.10 подготовлено Управлением Главного Конструктора ПАО «ЗМЗ» г. Заволжье.- 2015.
8. Беркович Е.С. Прибор УПОИ-6 для определения износа цилиндров, поршневых колец и поршневых пальцев / Е. С. Беркович, М. Д. Крацин; Акад. наук СССР. Ин-т машиноведения. Лаборатория износостойкости. – М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1960. - 46 с.
9. ГОСТ 27860-88 Детали трущихся сопряжений. Методы измерения износа.
10. Григорьев Н. А., Пономарев Н.Н. Износ и долговечность автомобильных двигателей. Л.: Колос, 1974. С. 101-105.

#### References

1. Kramarenko G.V., Nikolayev V.A., Shatilov A.I. Bezgarazhnoye khraneniye avtomobiley pri nizkikh temperaturakh [Gapless storage of cars at low temperatures] М.: Transport, 1984. 136 p.
2. Tyshkevich L. N., Zhuravskiy B. V. Povysheniye effektivnosti ekspluatatsii transportnykh mashin v usloviyakh nizkikh otritsatel'nykh temperatur [Improving the Efficiency of Operating Transport Vehicles at Low Negative Temperatures]// Vestnik SibADI. 2016. Vol. 3 (49). Pp. 36–41.
3. Roberts A., Brooks R., Shipway P. Internal combustion engine cold-start efficiency: A review of the problem, causes and potential solutions // Energy Conversion and Management. Nottingham: Elsevier, 2014. Pp. 327–350.

4. Bulgakov S.A., Voronin D.M., Vertey M.L. Povysheniye effektivnosti poslepuskovogo progreva dvigatelya dinamicheskim nagruzheniyem [Improving the efficiency of post-warming up of the engine by dynamic loading]// AgroEkoInfo. – 2019, №1. – [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2019/1/st\\_129.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2019/1/st_129.doc).

5. Krokhta G.M., Usatykh N.A., Khomchenko Ye.N. Zakonomernosti puskovykh i poslepuskovykh iznosov dvigatelya 44 11,0/12,5 (D-240) pri bezgarazhnom khraneniі mashin [Patterns of start-up and after-start engine wear 44 11.0 / 12.5 (D-240) for machines without machine storage]// Achievements of science and technology of the AIC. 2017. T. 31. No. 5. Pp. 49-52.

6. GOST R 54120-2010 Dvigateli avtomobil'nyye. Puskovyye kachestva. Tekhnicheskiye trebovaniya [GOST R 54120-2010 Automobile engines. Starting quality. Technical requirements].

7. Rukovodstvo po ekspluatatsii, tekhnicheskomu obsluzhivaniyu i remontu benzinovykh dvigateley modeley ZMZ-4062.10 podgotovleno Upravleniyem Glavnogo Konstruktora PAO «ZMZ» [The manual for operation, maintenance and repair of gasoline engines of models ZMZ-4062.10 prepared by the Office of the Chief Designer of PJSC «ZMZ»] g. Zavolzhye. 2015.

8. Berkovich Ye.S. Pribor UPOI-6 dlya opredeleniya iznosa tsilindrov, porshnevykh kolets i porshnevykh pal'tsev [UPOI-6 device for determining the wear of cylinders, piston rings and piston pins]// Acad. Sciences of the USSR. Inst. Of machine science. Laboratory wear resistance. – M.: Publ. In Acad. Sciences USSR, 1960. 46 p.

9. GOST 27860-88 Detali trushchikhsya sopryazheniy. Metody izmereniya iznosa [GOST 27860-88 Details of rubbing mates. Wear measurement methods].

10. Grigor'yev N.A., Ponomarev N.N. Iznos i dolgovechnost' avtomobil'nykh dvigateley [Wear and durability of automobile engines]. L. : Kolos, 1974. Pp. 101-105.

#### **Сведения об авторах**

Булгаков Сергей Алексеевич, старший преподаватель кафедры теоретической и прикладной механики, ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, ул. Добролюбова, д.160, г. Новосибирск, Новосибирская область, Россия, 630039, тел.+7-923-236-40-12, e-mail: [Bulgakoff-serg@mail.ru](mailto:Bulgakoff-serg@mail.ru)

#### **Information about authors**

Bulgakov Sergey Alekseevich, Senior Lecturer, Department of Theoretical and Applied Mechanics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Novosibirsk State Agrarian University, Dobrolyubova St., 160, Novosibirsk, Novosibirsk Region, Russia, 630039, tel. + 7-923-236-40-12, e-mail: [Bulgakoff-serg@mail.ru](mailto:Bulgakoff-serg@mail.ru)

УДК 631.363:636.086.5

*С.В. Вендин, Ю.В. Саенко, В.Ю. Страхов*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ПРЕПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ НА ПРОРАЩИВАНИЕ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ И ЯЧМЕНЯ

**Аннотация.** В современных экономических условиях производимая продукция животноводства должна быть конкурентно способной, т.е. сохранность поголовья животных и, следовательно, выход продукции должны быть максимальными, при низкой стоимости корма. В тоже время корма должны быть высокого качества быть сбалансированными и содержать все вещества необходимые для нормального роста и развития животных. На современных комплексах свиней содержат безвыгульно и выдают им только комбикорма, при этом животные испытывают недостаток в естественных витаминах. Недостаток естественных витаминов у свиней ведёт к снижению темпов роста, могут наблюдаться отклонения в развитии, а у животных репродуктивного возраста снижается качество воспроизводства. Наиболее простым способом повышения витаминной ценности корма является добавление в корм пророщенного зерна, например, ячменя, или пшеницы. Предложена технология и оборудование для приготовления кормовых смесей с использованием пророщенного зерна. Для проращивания зерна необходимо его обеспечить влагой, необходимой температурой и светом. На убранном зерне находится большое количество микроорганизмов, поэтому для исключения загнивания, или другой порчи зерна перед проращиванием необходимо провести обеззараживание зерна. В статье приведено сравнение различных способов обработки зерна перед проращиванием путем проведения замачивания в перманганате калия, ультрафиолетового облучения, СВЧ облучения. В качестве критерия оптимизации принимали длину ростков зерна после пяти суток проращивания. Представлены сравнительные результаты проведенных исследований по влиянию уровня освещенности и удельной дозы освещения, удельного электропотребления на единицу длины ростков при проращивании зерна на витаминный корм. При проведении исследований использовались различные источники оптического излучения: светодиодные, люминесцентные, лампы накаливания.

**Ключевые слова:** пророщенное зерно, длина ростков, СВЧ обработка, ультрафиолетовое облучение.

### RESEARCH OF THE EFFECT OF VARIOUS WAYS OF PRE-SEEDING TREATMENT ON THE PROTECTION OF WHEAT GRAIN AND BARLEY

**Abstract.** In modern economic conditions, livestock products produced must be competitively capable, i.e. the safety of livestock animals and, therefore, the yield should be maximized, with a low cost of feed. At the same time, the feed must be of high quality to be balanced and contain all the substances necessary for normal growth and development of animals. On modern complexes, pigs are free-flowing and only feed is given to them, while animals lack natural vitamins. The lack of natural vitamins in pigs leads to a decrease in growth rates, developmental abnormalities can be observed, and in animals of reproductive age the quality of reproduction decreases. The simplest way to increase the vitamin value of feed is to add germinated grain to the feed, for example, barley, or wheat. The proposed technology and equipment for the preparation of feed mixtures using germinated grain. For the germination of grain it is necessary to provide it with moisture, the necessary temperature and light. There is a large number of microorganisms on the harvested grain, therefore, in order to avoid rotting or other damage to the grain, it is necessary to carry out grain disinfection before germination. The article presents a comparison of various methods of processing grain before germination by soaking in potassium permanganate, ultraviolet irradiation, microwave irradiation. As an optimization criterion, we took the length of the germ of grain after five days of germination. The comparative results of the conducted research on the effect of light level and specific dose of light, specific power consumption per unit length of sprouts during germination of grain on vitamin feed are presented. When conducting research, various sources of optical radiation were used: LED, fluorescent, incandescent lamps.

**Keywords:** germinated grain, sprout length, microwave processing, ultraviolet irradiation.

**Введение.** В условиях промышленного содержания животных одним из условий получения высоких показателей продуктивности является сбалансированное кормление. На современных комплексах свиней содержат безвыгульно и выдают им только комбикорма, поэтому потребность животных в естественных белках, витаминах сильно увеличивается [1]. Недостаток в этих веществах у свиней ведёт к снижению темпов роста, также могут наблюдаться отклонения в развитии. У животных репродуктивного возраста снижается качество воспроизводства.

Эффективное современное свиноводство связано с использованием высокопродуктивных животных и обеспечением их полноценными кормами, содержащими необходимые вещества и особенно витамины. Как показывает практика, что одним из простых доступных



и недорогих способов повышения витаминной полноценности рационов животных может быть использование пророщенного зерна ячменя. Проращивание зерна ячменя до длины ростков полтора, два сантиметра способствует увеличению количества витаминов. Это благотворно влияет на физическое состояние организма животного, животные более полно поедают корма.

**Обзор технологий и оборудования для проращивания зерна.** Согласно принятым технологиям, перед проращиванием зерна на витаминный корм необходимо провести его обеззараживание с целью удаления микрофлоры которая приводит к его загниванию и порче во время проращивания. Обеззараживание зерна может быть выполнено различными способами: химический (в 0,05% растворе перманганата калия), физический (УФ облучение), СВЧ обработка [2]. Последний вид обработки позволяет наряду с обеззараживанием проводить стимуляцию зерна, что увеличивает дружность проращивания и повышает энергию роста зерна.

Пророщенное зерно используется в качестве витаминной кормовой добавки к кормовым смесям, что может быть реализовано либо на основе единой технологической линии, либо с использованием отдельных машин и оборудования.

На рисунке 1 представлена технологическая линия приготовления кормовых смесей с использованием пророщенного зерна.

Предложенная технологическая линия состоит из последовательно соединенных частей [3, 4]: бункеров, загрузочного шнека, конвейера для проращивания зерна, конвейерной сушилки, воздухопроводов, вентиляторов, наклонного трубопровода, дробилки, шнекового дозатора, бункера-накопителя, спирального транспортера, тросово-шайбового конвейера, электродвигателя с редуктором, окон, смесителя-раздатчика, кормушки.

Линия для проращивания зерна, его обработки и подготовки к скармливанию работает следующим образом. В бункер 1 заливают 0,05% раствор перманганата калия. С целью обеззараживания зерно в бункере 1 с раствором выдерживают 12 часов. Затем зерно из бункера 1 загрузочным шнеком 2 подают в конвейер для проращивания зерна 3 и с помощью поперечно расположенного горизонтального шнека (на рисунке не показан) распределяют на верхнем ленточном транспортере 4. Конвейер для проращивания зерна 3 состоит из пяти ленточных транспортеров 4, расположенных друг над другом.

На каждом ленточном транспортере 4 зерно прорастает сутки. В процессе проращивания зерна ленточные транспортеры 4 не движутся. Для достижения влажности зерна 50...56% производят орошение водой. Затем включают привод ленточных транспортеров и перекапывают зерно с верхнего транспортера на нижний. При помощи ламп облучают зерно, находящееся на транспортерах 4.

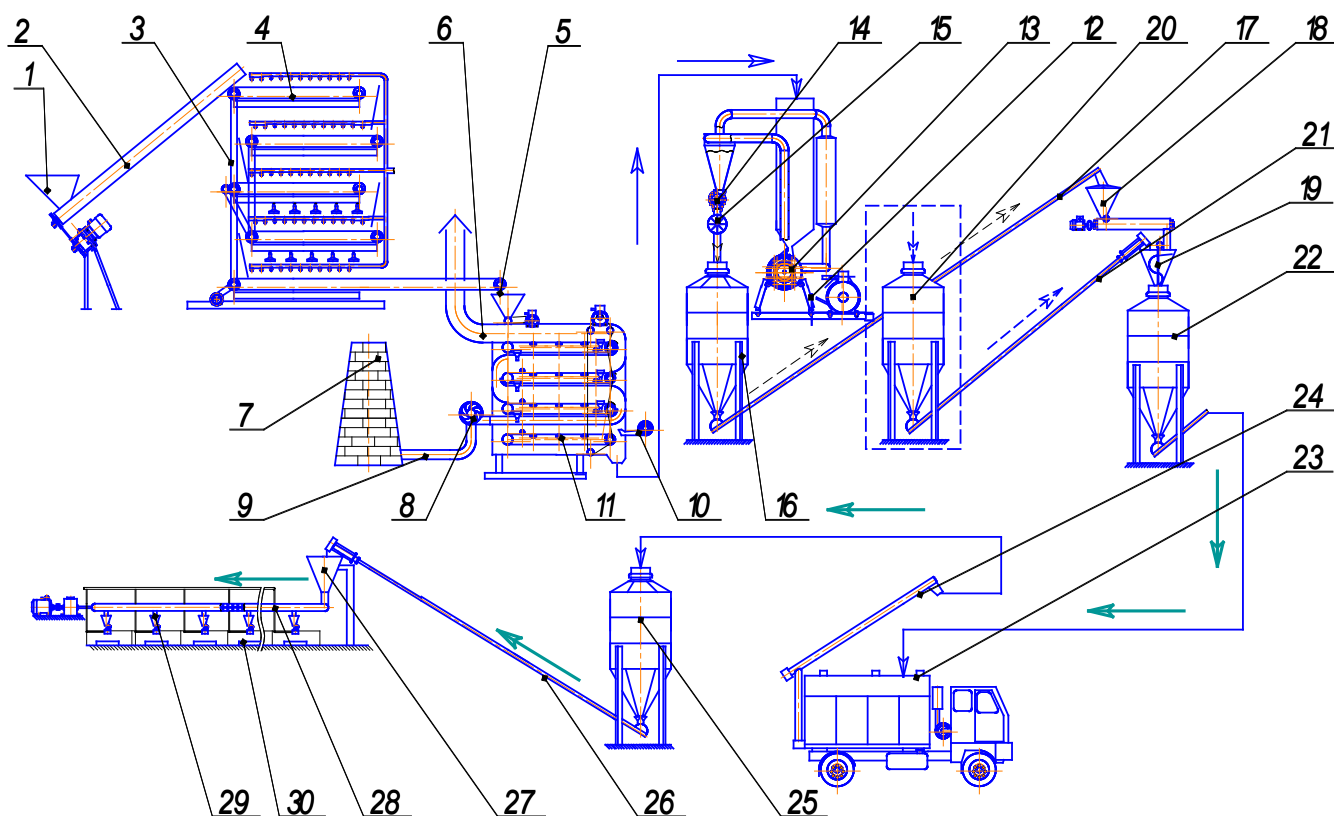
После прорастания (через 4...5 дней) уже пророщенное зерно с нижнего ленточного транспортера 4 подают в бункер 5 конвейерной сушилки 6. Агент сушки из топочной 7 с помощью вентилятора 8 подают в трубопровод 9, затем в конвейерную сушилку 6, где агент сушки забирает влагу из пророщенного зерна и через вытяжной зонт уходит в атмосферу. Вентилятором 10 подают холодный воздух на нижний транспортер 11 конвейерной сушилки 6, где происходит охлаждение высушенного зерна до атмосферной температуры.

Высушенное пророщенное зерно из сушилки 6 подают в бункер дробилки 12. В дробильной камере 13 происходит процесс дробления зерна. После дробления измельченное зерно, а также неизмельченные зеленые ростки через шлюзовую затвор 14 подают в аппарат вторичного измельчения 15. Далее дробленое зерно и измельченные ростки подают в бункер 16.

Из бункера 16 пророщенное высушенное измельченное зерно спиральным транспортером 17 подают в дозатор 18, который подает пророщенное высушенное измельченное зерно в смеситель 19.

Комбикорм для смешивания подают в бункер 20. Из бункера 20, при помощи спирального транспортера 21, комбикорм поступает в смеситель 19. В смесителе 19 происходит перемешивание названных выше компонентов и в бункер 22 поступает кормовая смесь из

пророщенного зерна и комбикорма. Затем полученную кормовую смесь подают в бункер автомобиля 23.



**Условные обозначения**

- > Пдача пророщенного вьсушенного зерна
- > Пдача пророщенного вьсушенного измельченного зерна
- - -> Пдача комбикорма
- > Пдача комбикорма с пророщенным зерном

1 - бункер загрузочный; 2 - шнек подающий; 3 - конвейер для проращивания зерна; 4 - транспортер ленточный; 5 - бункер; 6 - конвейерная сушилка; 7 - топочная; 8 - вентилятор агента сушки; 9 - трубопровод агента сушки; 10 - вентилятор холодного воздуха; 11 - нижний транспортер; 12 - дробилка; 13 - дробильная камера; 14 - шлюзовой затвор; 15 - аппарат вторичного измельчения; 16 - бункер для пророщенного зерна; 17 - спиральный транспортер; 18 - дозатор; 19 - смеситель; 20 - бункер для комбикорма; 21 - спиральный транспортер; 22 - бункер готовой смеси; 23 - автомобиль; 24 - шнек; 25 - бункер; 26 - спиральный транспортер; 27 - бункер-накопитель; 28 - тросово-шайбовый транспортер; 29 - смеситель-раздатчик; 30 - кормушка.

**Рис. 1. Схема технологической линии проращивания и введения в комбикорм пророщенного зерна**

Автомобиль 23 транспортирует кормовую смесь к свинарникам и с помощью шнека 24 выгружает кормовую смесь в бункер 25. Затем при помощи спирального транспортера 26 кормовую смесь подают в бункер-накопитель 27, а после, под действием сил тяжести, она поступает в тросово-шайбовый транспортер 28, далее в смесители-раздатчики 29 и в кормушку 30.

Предложенная технологическая линия позволяет обеспечить непрерывность процесса получения пророщенного зерна, а также смешивание пророщенного зерна с комбикормом и хранение полученной кормовой смеси.

С целью увеличения производительности труда и повышения выхода зелёной массы разработаны различные устройства, в которых реализованы процессы освещения и орошения пророщенного зерна.

На проращивание зерна влияют различные факторы. Одним из основных факторов является освещённость.

Известно, что свет играет большую роль в жизни растений. При помощи света и зеленого вещества листа растения (хлорофилла) происходит процесс фотосинтеза — накопления

углеводов из углекислоты воздуха в виде зеленой массы растений и плодов. В зимний период, когда солнце не дает достаточного по интенсивности и продолжительности освещения, в остекленных теплицах и оранжереях естественное освещение можно заменить искусственным.

Искусственное освещение может быть реализовано двумя способами: дополнять естественное освещение (досвечивание), или устанавливать, как единственный источник света. С точки зрения экономии затрат наиболее предпочтительный первый способ (досвечивание).

На сегодняшний день в научной литературе нет однозначного подхода относительно выбора интенсивности и длительности освещения при выращивании растений в условиях светокультуры. Выбор режимов освещения зависит как от вида растений, целей их выращивания, а также от ряда других факторов, среди которых большую роль играют оптические свойства растений [2].

Ниже приведены результаты экспериментальных исследований по оценке влияния различных видов воздействия на эффективность проращивания зерна, как при предпосевной обработке, так и в процессе проращивания зерна.

**Результаты исследований.** Экспериментальные исследования проводились с целью оценки влияния различных видов воздействия на эффективность проращивания зерна, как при предпосевной обработке, так и в процессе проращивания зерна. В качестве объекта исследований были использованы семена пшеницы и ячменя.

Комплекс проводимых исследований включал два этапа: исследование различных видов предпосевной обработки (обеззараживания) и оценку эффективности различных типов источников искусственного освещения при проращивании зерна.

Оценку эффективности различных видов предпосевной обработки и различных типов источников искусственного освещения при проращивании зерна проводили на основе определения длины ростков зерна.

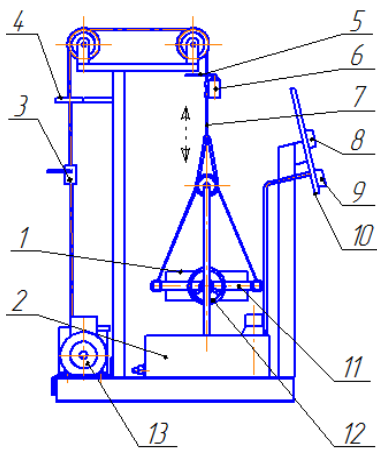
Для проведения исследований была разработана экспериментальная установка, позволяющая полностью механизировать и автоматизировать процесс проращивания зерна.

Схема установки реализует периодическое замачивание зерна в воде (рисунок 2) [5, 6]. Экспериментальный образец установки для проращивания зерна показан на рисунке 3. Установка позволяет механизировать и автоматизировать следующие технологические операции: периодическое замачивание зерна погружением в воду, барботирование зерен воздухом, орошение зерен водой на воздухе, освещение.

При проращивании зерна применяли лабораторную конвейерную установку, схема которой представлена на рисунке 4 [7, 8].

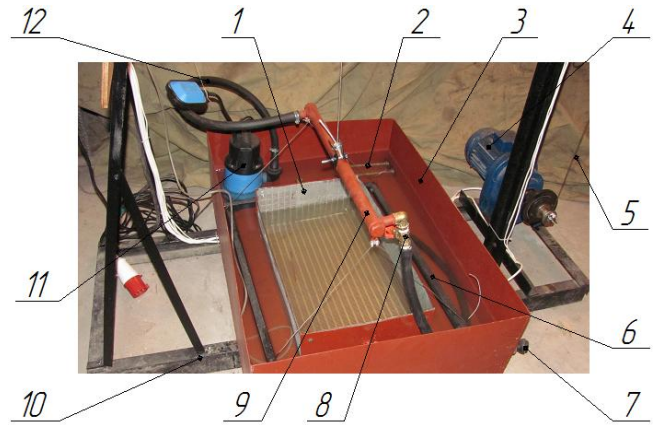
Методика проведения эксперимента заключалась в следующем: вначале проводили обеззараживание зерна различными способами (методики проведения обработки будут рассмотрены далее). Далее загружали зерно в бункер 1, затем шнеком 2 подавали на транспортер 5. Шнек 4 распределял зерно по всей ширине транспортера 5. Распределение зерна на верхнем транспортере 5 осуществляли путем одновременной подачи шнеков 2, 3 и транспортера 5. После того, как зерно полностью заполняло транспортер 5, отключали привод и периодически включали систему орошения. Экспериментальный образец конвейера для проращивания зерна приведен на рисунке 5.

По предложенной технологической линии, которая изображена на рисунке 1 зерно проращивали с помощью конвейера 3. Экспериментальный образец конвейера для проращивания зерна с распределительным шнеком представлен на рисунке 5. Зерно проросло на верхнем транспортере 5 одни сутки. По истечении суток включали привод транспортеров и зерно с транспортера 5 перебрасывали на транспортер 8.



1 - емкость перфорированная; 2 - ванна; 3, 6 - концевой выключатель; 4 - кольцо; 5 - пластина; 7 - трос; 8 - реле времени; 9 - барботер; 10 - пульт управления; 11 - рамка; 12 - штурвал; 13 - мотор-редуктор;

**Рис. 2. Схема лабораторной установки для проращивания зерна**

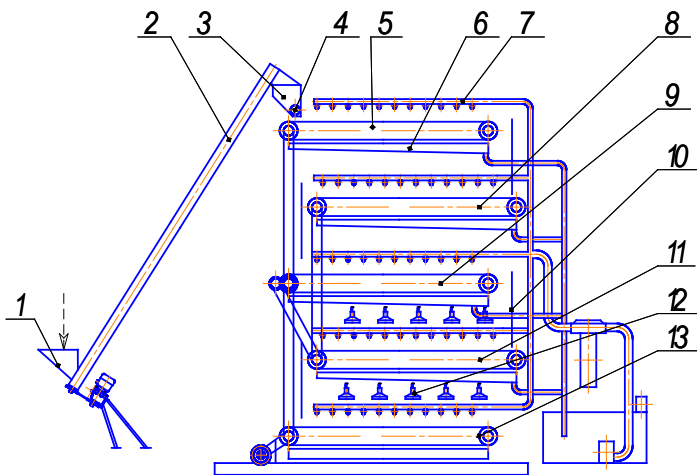


1 - емкость; 2 - трубчатый электронагреватель; 3 - ванна; 4 - мотор-редуктор; 5 - трос центральный; 6 - рамка; 7 - датчик температуры; 8 - кран; 9 - труба с отверстиями; 10 - рама; 11 - насос; 12 - шланг;

**Рис. 3. Общий вид лабораторной установки для проращивания зерна**

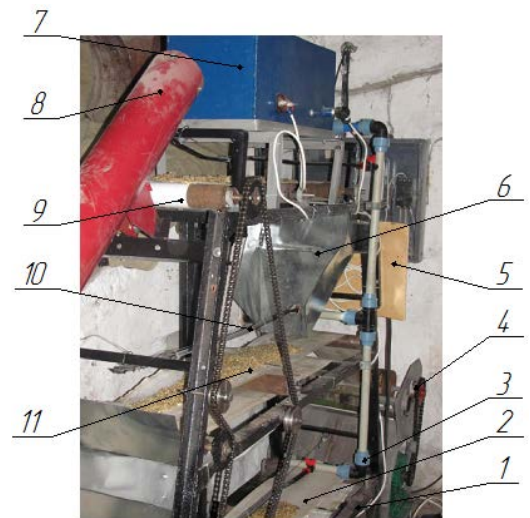
В результате зерно попадало на самый нижний транспортер 13. Общее время проращивания составило около 5 суток. Над транспортерами 11 и 13 установлены лампы, которыми облучали зерно.

При исследовании проращивания зерна на конвейере перед подачей зерна на конвейер проводили обеззараживание зерна различными способами.



1 - бункер, 2 - шнек подающий; 3-боковина; 4 - шнек распределительный; 5, 8, 9, 11, 13 - транспортер; 6 - поддон; 7 - трубопровод; 10-щиток направляющий; 12 - лампа осветительная.

**Рис. 4. Схема конвейера для проращивания зерна**



1 - Рама; 2 - транспортер нижний; 3 - трубопровод; 4 - привод транспортеров; 5 - пульт управления; 6 - щиток направляющий; 7 - емкость для воды; 8 - шнек загрузочный; 9 - верхний транспортер; 10 - капельное орошение; 11 - транспортер средний.

**Рис. 5. Конвейер для проращивания зерна**

Обобщённая методика проведения экспериментов состояла в проведении ряда опытов.

**Опыт 1 (контрольный).** 1 Проращивание зерна с применением орошения или замачивания зерна и освещения. Время проращивания пять суток.

2 Ежедневное измерение длины ростков в течение пяти суток.

Проращивание зерна проводили без предварительной подготовки, предварительно трое суток влажное зерно выдерживали без света. Затем в течение пяти суток периодически

орошали зерно и одновременно освещали. Для освещения использовали светодиодную лампу мощностью 4 Вт, освещенность составляла, 730...750 лк, время освещения в течение суток составляло 14 часов.

**Опыт 2.** 1 Обработка зерна в 0,05% перманганате калия.

2 Проращивание зерна с применением орошения или замачивания зерна и освещения.

Время проращивания пять суток.

3 Ежедневное измерение длины ростков в течение пяти суток.

Зерно замачивали в 0,05% растворе перманганате калия в течение 12 часов, затем трое суток влажное зерно выдерживали без света. Затем периодически орошали и освещали зерно в течение пяти суток. Для освещения использовали светодиодную лампу мощностью 4 Вт, освещенность составляла, 730...750 лк, время освещения в течение суток составляло 14 часов.

**Опыт 3.** 1 Обработка зерна с использованием УФ облучения 10 минут

2 Проращивание зерна с применением орошения или замачивания зерна и освещения.

Время проращивания пять суток.

3 Ежедневное измерение длины ростков в течение пяти суток.

Обработку зерна выполняли ультрафиолетовым облучением спектр «С» в течение 15 минут. Затем трое суток влажное зерно выдерживали без света. Проращивали зерно путём проведения периодического орошения и одновременного освещения зерна в течение 14 часов. Время прорастания зерна пять суток.

**Опыт 4.** 1 Обработка зерна СВЧ облучением.

2 Проращивание зерна с применением орошения или замачивания зерна и освещения.

Время проращивания пять суток.

3 Ежедневное измерение длины ростков в течение пяти суток.

Проводили предварительную СВЧ обработку зерна, время предварительной обработки составляло от 40 до 60 сек при удельной мощности от 0,83 до 1,7 кВт/ кг [9, 10, 11]. В качестве источника электромагнитных излучений использовали магнетрон непрерывного генерирования с частотой  $2450 \pm 50$  МГц. Длина волны  $\lambda = 12$  см. Обработка проводилась по методике двухфакторного эксперимента. Изменение удельной мощности получали путём установки под облучатель балласт разной массы.

Во всех опытах влажное зерно в течение трех суток выдерживали без света. Затем проращивали зерно, путём проведения периодического замачивания обработанного зерна и одновременного освещения зерна в течение 14 часов. Общее время проращивания зерна во всех четырёх опытах составляло 120 часов.

В качестве критерия оптимизации принимали длину ростков зерна после пяти суток проращивания.

Результаты обработки по опытам №1, №2, №3 приведены в таблице 1.

**Таблица 1 - Результаты обработки по опытам №1, №2, №3**

Наименование параметра	№ Опыта		
	1	2	3
Длина ростков, мм, после ста двадцати часов проращивания	7-9	10-12	12-15

Результаты обработки по опыту 4 приведены в таблицах 2, 3. На основе результатов двухфакторного эксперимента по опыту 4 с применением предпосевной СВЧ обработки (таблицы 2, 3) с помощью программы «Microsoft Excel» были определены численные значения коэффициентов уравнения регрессии по влиянию воздействующих факторов на длину ростков зерна  $l_{\text{рост}}$  после пяти суток проращивания.

Полученное на основе данных таблицы 2 уравнение регрессии влияния параметров СВЧ воздействия на рост семян пшеницы в натуральных значениях факторов имеет вид:

$$l_{\text{рост}} = -108,62 + 1,87\tau + 159,19 P_{\text{уд}} - 0,005\tau^2 + 1,323 \tau P_{\text{уд}} - 51,9 P_{\text{уд}}^2, \quad (1)$$

Таблица 2 - План проведения эксперимента с семенами пшеницы

№	Общая масса, m, кг,	Масса балласта, m <sub>0</sub> , кг	Масса семян, mс, кг,	Экспозиция, τ сек,	Начальная температура семян, t <sub>0</sub> , °С	Конечная температура семян, t <sub>к</sub> , °С	Разница температур, Δt, °С	Удельная мощность, P <sub>уд</sub> , кВт/кг,	Скорость нагрева, Θ, °С/сек,	Длина ростков зерна, l <sub>рост</sub> , мм
1	625	585	40	40	22,5	48	25,5	0,83	0,64	18
2	417	377		40		49	26,5	1,17	0,66	9
3	625	585		60		55	32,5	0,83	0,54	7
4	417	377		60		58	35,5	1,17	0,59	8
5	500	460		50		49	26,5	1	0,53	8

Таблица 3 - План проведения эксперимента с семенами ячменя

№	Общая масса, m, кг,	Масса балласта, m <sub>0</sub> , кг	Масса семян, mс, кг,	Экспозиция, τ сек,	Начальная температура семян, t <sub>0</sub> , °С	Конечная температура семян, t <sub>к</sub> , °С	Разница температур, Δt, °С	Удельная мощность, P <sub>уд</sub> , кВт/кг,	Скорость нагрева, Θ, °С/сек,	Длина ростков зерна, l <sub>рост</sub> , мм
1	625	585	40	40	22,5	43	25,5	0,83	0,51	12
2	417	377		40		45	22,5	1,17	0,56	9
3	625	585		60		47	32,5	0,83	0,41	8
4	417	377		60		55	32,5	1,17	0,54	8
5	500	460		50		49	26,5	1	0,53	16

где τ-экспозиция, сек, P<sub>уд</sub> - удельная мощность, кВт/кг.

Коэффициент корреляции для данного уравнения регрессии составляет R=75,64 %.

Анализ уравнения регрессии (1) показывает, что наибольшая длина ростков пророщенного зерна пшеницы в области исследуемых факторов, составляет l<sub>рост1</sub>=15-18 мм и достигается при: τ-экспозиции, 55-58 сек., P<sub>уд</sub> - удельной мощности, 1,1-1,12 кВт/кг.

Полученное на основе данных таблицы 3 уравнение регрессии влияния параметров СВЧ воздействия на рост семян ячменя в натуральных значениях факторов имеет вид:

$$l_{рост2} = 176,18 - 2,304 \tau - 200,63 P_{уд} + 0,0067 \tau^2 + 1,47 \tau P_{уд} + 57,67 P_{уд}^2, \quad (2)$$

где τ-экспозиция, сек, P<sub>уд</sub> - удельная мощность, кВт/кг.

Коэффициент корреляции для данного уравнения регрессии составляет R=87,79 %.

Анализ уравнения регрессии (2) показал, что наибольшая длина ростков пророщенного зерна ячменя в области исследуемых факторов, составляет l<sub>рост2</sub> = 12-16 мм и достигается при: τ-экспозиции, 48-50 сек., P<sub>уд</sub> - удельной мощности, 0,96-1,04 кВт/кг.

Далее была проведена оценка влияния конечной температуры и скорости предпосевного СВЧ нагрева на развитие ростков пшеницы и ячменя.

На основе результатов двухфакторного эксперимента по опыту 4 с применением предпосевной СВЧ обработки (таблицы 2, 3) с помощью программы «Microsoft Excel» были определены численные значения коэффициентов уравнения регрессии по влиянию воздействующих факторов конечной температуры нагрева зерна, t<sub>к</sub>°С, и скорости нагрева зерна Θ, °С/сек.

Полученное на основе данных таблицы 2 уравнение регрессии влияния факторов СВЧ нагрева на рост семян пшеницы в натуральных значениях факторов имеет вид:

$$l_{рост1} = 242,94 - 12,57 t_k + 228,77 \Theta + 0,113 t_k^2 + 0,526 t_k \Theta - 111,11 \Theta^2, \quad (3)$$

где t<sub>к</sub> –конечная температура зерна, °С, Θ – скорость нагрева зерна, °С/сек.

Коэффициент корреляции для данного уравнения регрессии составляет  $R=90,37\%$ .

Анализ уравнения регрессии (3) показал, что наибольшая длина ростков зерна пшеницы в области исследуемых факторов, составляет  $L_{\text{рост } 1} = 15-18$  мм и достигается при:  $\Theta$  – скорости нагрева зерна,  $0,63-0,64^{\circ}\text{C}/\text{сек}$ ;  $t_{\text{к}}$  – конечной температуре зерна,  $47-48^{\circ}\text{C}$ .

Полученное на основе данных таблицы 3 уравнение регрессии влияния факторов СВЧ нагрева на рост семян ячменя в натуральных значениях факторов имеет вид:

$$L_{\text{рост } 2} = -1021,89 + 12,34t_{\text{к}} + 2822,22\Theta - 0,14t_{\text{к}}^2 + 2,38t_{\text{к}}\Theta - 2777,78\Theta^2, \quad (4)$$

где  $t_{\text{к}}$  – конечная температура зерна,  $^{\circ}\text{C}$ ,  $\Theta$  – скорость нагрева зерна,  $^{\circ}\text{C}/\text{сек}$ .

Коэффициент корреляции для данного уравнения регрессии составляет  $R=98,61\%$ .

Коэффициенты уравнений (1-4) являются значимыми, адекватность модели удовлетворяет критерию Фишера.

Анализ уравнения регрессии (4) показал, что наибольшая длина ростков зерна ячменя в области исследуемых факторов, составляет  $L_{\text{рост } 2} = 12-16$  мм и достигается при:  $\Theta$  – скорости нагрева зерна,  $0,52-0,53^{\circ}\text{C}/\text{сек}$ ;  $t_{\text{к}}$  – конечной температуре зерна,  $47-48^{\circ}\text{C}$ .

Для наглядности оценки влияния различных способов предпосевной обработки семян на развитие ростков ниже приведены фото длины ростков зерна в одно и тоже время после начала экспериментов.

На рисунке 6 представлены контрольные образцы зерна без обработки. На рисунке 7 представлена обработка зерна в  $0,05\%$  растворе перманганата калия.



Рис. 6. Зерно пшеницы без обработки (контрольный образец)



Рис. 7. Зерно пшеницы после обработки в  $0,05\%$  растворе перманганата калия

Из рисунка 6 видно, что в контрольном образце (без предварительной обработки) длина ростков зерна составила около  $1,5$  см. Наименьшая длина ростков около  $1$  см была зарегистрирована после обработки в  $0,05\%$  растворе перманганата калия и УФ обработки.

На рисунке 8 представлено пророщенное зерно после его обработки УФ облучением.

Наибольшая длина ростков пшеницы ( $1,5-2$  см) была получена в эксперименте №1 (таблица 2). На рисунке 9 представлено пророщенное зерно после его обработки СВЧ облучением в эксперименте №1.



Рис. 8. Пророщенное зерно пшеницы после его обработки УФ облучением



Рис. 9. Пророщенное зерно пшеницы после его обработки СВЧ облучением

Наибольшая длина ростков ячменя (до 2 см) отмечена также при стимуляции роста с помощью СВЧ излучения. При этом удельная мощность СВЧ воздействия составила 0,83 кВт/кг. В процессе СВЧ обработки температура зерна возросла на  $25,5^{\circ}\text{C}$  и составила  $48^{\circ}\text{C}$ .

На рисунках 10-12 показана длина ростков зерна через сто двадцать часов после начала экспериментов. На рисунке 10 представлены контрольные образцы зерна ячменя без обработки. Из рисунка видно, что в контрольном образце (без предварительной обработки) длина ростков была самая наименьшая и составила около 1 см. На рисунке 11 представлено пророщенное зерно ячменя после обработки в 0,05% растворе перманганата калия. Длина ростков составляла около 1,5 см. На рисунке 12 представлено пророщенное зерно ячменя после его обработки УФ облучением. Длина ростков составляет 1,5-2 см.



Рис. 10. Зерно ячменя без обработки (контрольный образец)



Рис. 11. Зерно ячменя после обработки в 0,05% растворе перманганата калия



Наибольшая длина ростков ячменя (1,5-2) см после СВЧ обработки была получена в эксперименте №5 (таблица 2). На рисунке 13 представлено пророщенное зерно после его обработки СВЧ облучением в эксперименте №5.



Рис. 12. Пророщенное зерно после его обработки УФ облучением



Рис. 13. Пророщенное зерно после его обработки СВЧ облучением

Ниже приведены результаты экспериментальных исследований по влиянию на прорастание зерна ячменя и пшеницы типов искусственного освещения [8, 12].

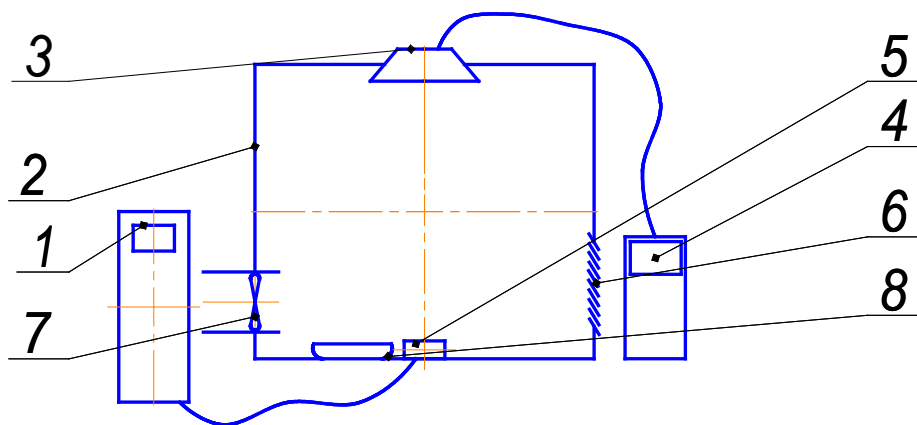
В качестве критерия оптимизации был принят один показатель длина ростков зерна за пять дней уп. Воздействующие факторы варьировали на трех уровнях (таблица 4).

Таблица 4 - Уровни варьирования факторов

Обозначение	Наименование фактора	Уровни кодированных и фактических значений воздействующих факторов		
		Нижнее значение -1	Нулевое Значение 0	Верхнее Значение +1
X <sub>1</sub>	Освещенность, E <sub>min</sub> , лк	500	900	1300
X <sub>2</sub>	Время освещения в течение суток, T <sub>осв</sub> , ч	6	11	16

Температура воздуха при проращивании составляла 21-22 °С. Зерно предварительно обеззараживали в 0,05% растворе перманганата калия в течение 12 часов, после этого замачивали в воде, затем помещали в ёмкость (рисунок 14) и включали источник искусственного освещения.

При проращивании зерно помещалось в закрытую ёмкость 2, чтобы исключить проникновения солнечного света. В верхней части закрытой ёмкости 2 поочередно размещали лампы: накаливания, люминесцентную, светодиодную. Лампу 3 подключали к сети с возможностью изменения интенсивности освещения. Для измерения освещённости в нижней части закрытой ёмкости 2 устанавливали датчик 5 люксметра 1. Ёмкость с зерном располагали на дне закрытой ёмкости 1. В процессе появления ростка из зерна происходит выделение теплоты. Также в процессе освещения зерна внутри ёмкости 2 происходит нагрев зерна. Для отведения избыточного тепла изнутри ёмкости в её боковой стенке устанавливали вентилятор 7, а с противоположной стороны от вентилятора 7 устанавливали жалюзи 6. С целью исключения проникновения солнечного света жалюзи 6 направляли вниз. Установка для измерения освещенности представлена на рисунке 15.

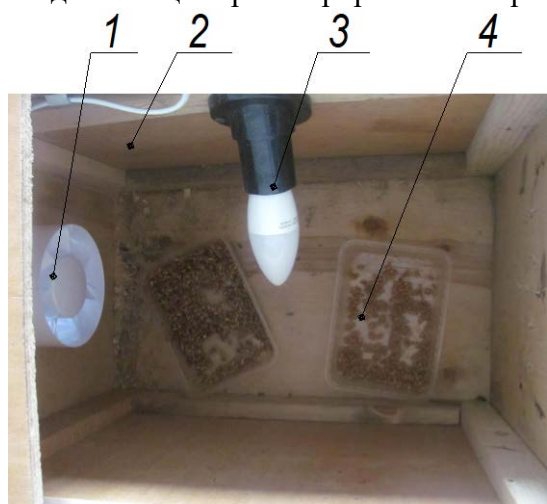


1 - Люксметр-пульсметр, 2 - закрытая ёмкость, 3 - лампа осветительная, 4 - регулятор интенсивности освещения, 5 - датчик люксметра, 6 - жалюзи, 7 - вентилятор; 8 - ёмкость с зерном;

**Рис. 14. Установка для измерения освещенности**

Фотография установки для измерения освещенности приведена на рисунке 15.

В процессе проращивания зерно освещали лампами с различной интенсивностью. Каждые 4 часа зерно орошали водой. Общее время прорастания зерна установили пять суток.



1 - вентилятор; 2 - короб; 3 - лампа; 4 - зерно;

**Рис. 15. Установка для измерения освещенности**

Обработанные результаты эксперимента представлены в таблице 5.

**Таблица 5 - Длина ростков зерна при искусственном освещении**

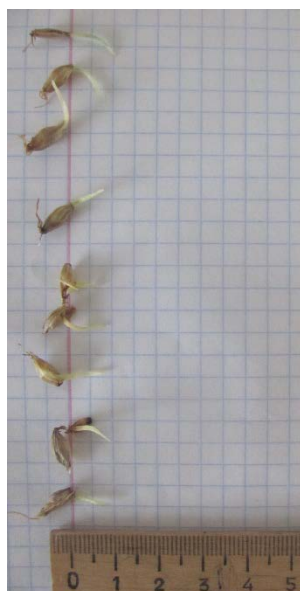
Обозначения фактора	Наименование критерия оптимизации и влияющих факторов	Виды ламп		
		Лампа накаливания	Люминесцентная	Светодиодная
	Критерий оптимизации у <sub>п</sub> - длина ростков зерна измеренная через пять дней, мм	1,2-1,8	1,2-1,5	3,5-4
	Влияющие факторы			
X <sub>1</sub>	Освещенность, лк	635	950	750
X <sub>2</sub>	Коэффициент пульсации светового потока, %	18,5	9,5	0,5
X <sub>3</sub>	Время освещения в течение суток, ч	12	12	12

Опыты по определению максимальной длины ростков пророщенного зерна проводили на зернах ячменя и пшеницы.

На рисунках 16 и 17 представлены образцы пророщенного зерна ячменя и пшеницы соответственно полученные после освещения светодиодной, люминесцентной и лампой накаливания.



Светодиодная лампа



Люминесцентная лампа



Лампа накаливания

**Рис. 16. Образцы пророщенного зерна ячменя, полученного после освещения светодиодной, люминесцентной и лампой накаливания**



Светодиодная лампа



Люминесцентная лампа



Лампа накаливания

**Рис. 17. Образцы пророщенного зерна пшеницы, полученного после освещения светодиодной, люминесцентной и лампой накаливания**

Для сравнения эффективности различных типов ламп проведено сравнение удельных показателей световой и потребляемой мощности на 1 мм длины ростков (таблица 6).

**Таблица 6 - Удельные показатели работы ламп**

№	Тип лампы	Удельный рост, мм/сут	Удельная доза освещения на единицу длины ростка Лм·сут/мм	Удельное электропотребление на единицу длины ростка Вт·сут/мм
1	Лампа накаливания	0,26	1500,00	133,33
2	Люминесцентная лампа	0,3	4076,92	69,23
3	Светодиодная лампа	0,74	1216,22	13,51

Сравнение удельных показателей дает основание полагать, что с позиций эффективности световой энергии от различных источников света (удельная доза освещения на едини-

цу длины ростка) наилучшими являются светодиодные лампы (1216,22 Лм·сут/мм), далее следуют лампы накаливания (1500,00 Лм·сут/мм) и менее эффективными являются люминесцентные лампы 4076,92 Лм·сут/мм). Однако с экономических позиций – удельное электропотребление на единицу длины ростка лучшие показатели у светодиодных ламп (13,51 Лм·Вт·сут/мм), среднее электропотребление у люминесцентных ламп (69,23 Лм·Вт·сут/мм) и максимальное электропотребление у ламп накаливания (133,33 Лм·Вт·сут/мм).

#### Выводы:

1. По результатам проделанной работы видно, что наибольшая длина ростков до 2 см отмечена у зерна, у которого провели стимуляцию роста с помощью СВЧ излучения. Установили, что удельная мощность излучателя СВЧ волн составила 0,83 кВт/кг. В процессе обработки температура зерна возросла на 25,5<sup>0</sup>С и составила 48<sup>0</sup>С.

2. В результате проведенных экспериментальных исследований СВЧ обработки зерна установлено, что наибольшая длина ростков пророщенного зерна пшеницы в области исследуемых факторов, составляет  $L_{\text{рост } 1} = 15-18$  мм и достигается при:  $\tau$ -экспозиции, 55-58 сек.,  $R_{\text{уд}}$  - удельной мощности, 1,1-1,12 кВт/кг; наибольшая длина ростков пророщенного зерна ячменя в области исследуемых факторов, составляет  $L_{\text{рост } 2} = 12-16$  мм и достигается при:  $\tau$  - экспозиции, 48-50 сек.,  $R_{\text{уд}}$  - удельной мощности, 0,96-1,04 кВт/кг. Наибольшая длина ростков зерна пшеницы в области исследуемых факторов, составляет  $L_{\text{рост } 1} = 15-18$  мм и достигается при:  $\Theta$  – скорости нагрева зерна, 0,63-0,64<sup>0</sup>С/сек;  $t_{\text{к}}$  – конечной температуре зерна, 47-48<sup>0</sup>С. Наибольшая длина ростков зерна ячменя в области исследуемых факторов, составляет  $L_{\text{рост } 2} = 12-16$  мм и достигается при:  $\Theta$  – скорости нагрева зерна, 0,52-0,53<sup>0</sup>С/сек;  $t_{\text{к}}$  – конечной температуре зерна, 47-48<sup>0</sup>С.

3. По результатам проведенных экспериментов, можно отметить, что по истечении пяти суток проращивания зерна при освещении люминесцентной лампой длина ростков зерна составила 1,2-1,5 см. А при освещении зерна лампой накаливания длина ростков зерна не сильно отличается от второго случая 1,2-1,8 см. Учитывая, что качественные показатели практически одинаковы, но потребляемая мощность лампы накаливания была 40 Вт, а люминесцентной 18 Вт. Поэтому точки зрения энергозатрат предпочтительнее использовать люминесцентные лампы. Наибольшая длина ростков у зерна 3,5-4 см была отмечена при освещении светодиодной лампой.

4. Сравнение удельных показателей дает основание полагать, что с позиций эффективности световой энергии от различных источников света (удельная доза освещения на единицу длины ростка) наилучшими являются светодиодные лампы (1216,22 Лм·сут/мм), далее следуют лампы накаливания (1500,00 Лм·сут/мм) и менее эффективными являются люминесцентные лампы (4076,92 Лм·сут/мм). Однако с экономических позиций – удельное электропотребление на единицу длины ростка лучшие показатели у светодиодных ламп (13,51 Лм·Вт·сут/мм), среднее электропотребление у люминесцентных ламп (69,23 Лм·Вт·сут/мм) и максимальное электропотребление у ламп накаливания (133,33 Лм·Вт·сут/мм).

#### Библиография

1. Повышение продуктивности маточного стада свиней / Г.С. Походня [и др.]. Белгород: Константа, 2013. 448 с.
2. Выращивание листового салата в светодиодной облучательной камере / И.В. Юдаев [и др.] // Сельский механизатор. 2017. №1. С. 20-21.
3. Технологическая линия для подготовки к скармливанию пророщенного зерна: пат. 2493697 Рос. Федерация. № 2012102292/13 / Булавин С.А., Саенко Ю.В., Носуленко А.Ю., Немькин В.А.; заявл. 23.01.2012; опубл. 27.09.2013, Бюл. №27. 7 с.
4. Технологическая линия для проращивания зерна, его обработки и подготовки к скармливанию: пат. 2479809 Рос. Федерация. № 2011145636 / Саенко Ю.В., Булавин С.А., Носуленко А.Ю., Саенко В.Н.; заявл. 09.11.2011; опубл. 20.04.2013, Бюл. № 11. 13 с.
5. Способ проращивания зерна и устройство для его осуществления: пат. 2472330 Рос. Федерация. № 2011109467/21 / Саенко Ю.В., Булавин С.А., Вендин С.В., Макаренко А.Н., Саенко С.В., Сахнов А.В., Саенко Т.В.; заявл. 14.03.2011; опубл. 20.01.2013, Бюл. № 2. 13 с.
6. Установка для проращивания зерна: пат. 2437264 Рос. Федерация. № 2010114433/13 / Саенко Ю.В., Булавин С.А., Рыжков А.В., Макаренко А.Н., Саенко С.В., Головин А.В., Саенко Т.В.; заявл. 12.04.2010; опубл.

27.12.2011, Бюл. № 36 . 8 с.

7. Конвейер для проращивания зерна: пат. 2444881 Рос. Федерация. № 2010141227/21 / Саенко Ю.В., Булавин С.А., Головин А.В.; заявл. 07.10.2010; опубл. 20.03.2012, Бюл. № 8. 9 с.

8. Булавин С.А., Вендин С.В., Саенко Ю.В. Автоматизация процесса поддержания оптимальных режимных параметров при проращивании зерна на витаминный корм животным // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2014. №2. С. 18-27.

9. Вендин С.В. Электромагнитная обработка семян // Сельский механизатор. 2014. № 12. С. 32-33.

10. Бородин И.Ф., Шарков Г.А., Горин А.Д. Применение СВЧ энергии в сельском хозяйстве. М.: ВНИИТЭИагропром, 1987. 55 с.

11. Вендин С.В., Щербинин И.А. К расчету распространения электромагнитного импульса при СВЧ обработке диэлектрических сред // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 2. С. 204-206.

12. Трэмбач В.В. Световые приборы. М.: Высшая школа, 1990. 463 с.

## References

1. Povyshenie produktivnosti matochnogo stada svinej [Improving the productivity of pig broods] / G.S. Pohodnya [i dr.]. Belgorod: Konstanta, 2013. 448 p.

2. Vyrashchivanie listovogo salata v svetodiodnoj obluchatel'noj kamere [Growing leaf lettuce in an LED irradiation chamber] / I.V. YUdaev [i dr.] // Rural mechanic. 2017. №1. Pp. 20-21.

3. Tekhnologicheskaya liniya dlya podgotovki k skarmlivaniyu proroshchennogo zerna [Technological line for preparation for feeding of sprouted grain]. RU 2493697. № 2012102292/13 / Bulavin SA, SaenkoYu.V., NosulenkoA.Yu., Nemykin VA.; declared on 23.01.2012; published on 27.09.2013, Bull. №27. 7 p.

4. Tekhnologicheskaya liniya dlya proraschivaniya zerna, ego obrabotki i podgotovki k skarmlivaniyu [Technological line for the germination of grain, its processing and preparation for feeding]. RU 2479809 № 2011145636 / SaenkoYu.V., Bulavin S.A., NosulenkoA.Yu., Saenko V.N.; declared on 09.11.2011; published on 20.04.2013, Bull. № 11. 13 p.

5. Sposob proraschivaniya zerna i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya [The method of grain germination and the device for its implementation]. RU 2472330. № 2011109467/21 / SaenkoYu.V., Bulavin S.A., Vendin S.V., Makarenko A.N., Saenko S.V., Sakhnov A.V., Saenko T .AT.; declared on 14.03.2011; published on 20.01.2013, Bull. № 2. 13 p.

6. Ustanovka dlya proraschivaniya zerna [Plant for germinating grains]. RU 2437264. № 2010114433/13 / SaenkoYu.V., Bulavin S.A., Ryzhkov A.V., Makarenko A.N., Saenko S.V., Golovin A.V., Saenko T.V.; declared on 12.04.2010; published on 27.12.2011, Bull. № 36. 8 p.

7. Konvejer dlya proraschivaniya zerna [Grain germination conveyor] RU 2444881. № 2010141227/21 / SaenkoYu.V., Bulavin S.A., Golovin A.V.; declared on 7.10.2010; published on 20.03.2012, Bull. № 8. 9 p.

8. Bulavin S.A., Vendin S.V., Saenko Yu.V. Avtomatizaciya processa podderzhaniya optimal'nyh rezhimnyh parametrov pri proraschivanii zerna na vitaminnyj korm zhivotnym [Automation of the process of maintaining optimal regime parameters in the germination of grain for vitamin feed animals] // Innovations in the agro-industrial complex: problems and prospects. 2014. №2. Pp. 18-27.

9. Vendin S.V. Elektromagnitnaya obrabotka semyan [Electromagnetic treatment of seeds] // Rural Mechanic. 2014. № 12. Pp. 32-33.

10. Borodin I.F., Sharkov G.A., Gorin A.D. Primenenie SVCH energii v sel'skom hozyajstve [Application of microwave energy in agriculture] М.: VNIITEIаgroпром, 1987. 55 p.

11. Vendin S.V., Shcherbinin I.A. K raschetu rasprostraneniya elektromagnitnogo impul'sa pri SVCH obrabotke dielektricheskikh sred [To the calculation of the propagation of an electromagnetic pulse during microwave processing of dielectric media] // Bulletin of Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. 2015. № 2. Pp. 204-206.

12. Trembach V.V. Svetovye pribory. [Light devices] М.: High School, 1990. 463 p.

## Сведения об авторах

Вендин Сергей Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры электрооборудования и электротехнологий в АПК, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, тел. +7 4722 39-11-36, e-mail: [elapk@mail.ru](mailto:elapk@mail.ru)

Саенко Юрий Васильевич, доктор технических наук, профессор кафедры машин и оборудования в агробизнесе, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, тел. +7 4722 38-19-48, e-mail: [yuriy311300@mail.ru](mailto:yuriy311300@mail.ru)

Страхов Владимир Юрьевич аспирант кафедры электрооборудования и электротехнологий в АПК, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, тел. +7 4722 39-11-36 e-mail: [strakhov.94@list.ru](mailto:strakhov.94@list.ru).

## Information about authors

Vendin Sergey Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Electrical Equipment and Electrotechnologies in Agroindustrial Complex, FGBOU VO Belgorod State University, ul. Vavilova, 1, Maisky settlement, Belgorod region, Belgorod region, Russia, 308503, tel. +7 4722 39-11-36, e-mail: [elapk@mail.ru](mailto:elapk@mail.ru)

Saenko Yuri Vasilievich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Machinery and Equipment in Agribusiness, FGBOU VO Belgorod State University, ul. Vavilova, 1, Maisky settlement, Belgorod region, Belgorod region, Russia, 308503, tel. +7 4722 38-19-48, e-mail: [yuriy311300@mail.ru](mailto:yuriy311300@mail.ru).

Strakhov Vladimir Yuryevich Postgraduate Student, Department of Electrical Equipment and Electrotechnology in Agro-Industrial Complex, FSBEI HE Belgorodsky GAU, ul. Vavilova, 1, p. Maysky, Belgorod District, Belgorod Region, Russia, 308503tel. +7 4722 39-12-80. , e-mail: [strakhov.94@list.ru](mailto:strakhov.94@list.ru)

УДК 621.74.04

*С.С. Квон, В.Ю. Куликов, Д.Р. Аубакиров, Е.П. Щербакова*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЛИН КАЗАХСТАНСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА СВОЙСТВА ОБОЛОЧКОВОЙ ФОРМЫ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОТЛИВОК СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ**

**Аннотация.** При изготовлении деталей транспортной и сельскохозяйственной техники требуется значительное количество отливок. Одним из способов получения качественных отливок для сельскохозяйственного машиностроения является литьё по выплавляемым моделям, позволяющее получать тонкостенные прецизионные отливки со сложной конфигурацией. Литейная форма изготавливается из кварцевого песка, связующих (глины и этилсиликата) и специальных добавок. В работе исследовали влияние глины казахстанских месторождений: Дарат, Федоровское и Белое Глинище на качество получаемых отливок. Определяли вязкость, газопроницаемость и прочность литейной формы. Наиболее технологичным в качестве связующего при литье отливок по выплавляемым моделям представляется использование 10...15 % глины месторождения Дарат (Жезказган) в сочетании с этилсиликатом ЭТС-40, содержание которого должно составлять 35...45 %, остальное – огнеупорный наполнитель (измельченный кварц). В состав связующего предлагается добавлять измельченную и высушенную глину. Самой однородной с точки зрения вязкости является связка, также изготовленная с использованием глины месторождения Дарат, что в целом обеспечивает однородность, а, значит, и однородность свойств формовочной смеси во всем объеме.

**Ключевые слова:** отливка, модель, глина, газопроницаемость, прочность, литейная форма

### **STUDY OF THE EFFECT OF CLAYS KAZAKHSTANI FIELDS ON THE PROPERTIES OF THE SHELL MOLDS IN THE MANUFACTURE OF CASTINGS FOR AGRICULTURAL ENGINEERING**

**Abstract.** In the manufacture of parts of transport and agricultural machinery requires a significant number of castings. One of the ways to obtain high-quality castings for agricultural engineering is investment casting, which allows to obtain thin-walled precision castings with a complex configuration. The casting mold is made of quartz sand, binders (clay and ethyl silicate) and special additives. The paper investigated the influence of clay deposits of Kazakhstan: Darat, Fedorov and White Clay on the quality of the castings. The viscosity, gas permeability and strength of the mold were determined. The use of 10...15% of the clay Deposit Darat (Zhezkazgan) in combination with ethylsilicate ETS-40, the content of which should be 35...45 %, the rest – refractory filler (crushed quartz) is the most technological as a binder in casting on smelted models. The composition of the binder is proposed to add crushed and dried clay. The most homogeneous in terms of viscosity is a bunch, also made using clay deposits Darat, which generally provides homogeneity, and hence uniformity of the properties of the molding mixture in the entire volume.

**Keywords:** casting, model, clay, gas permeability, durability, casting mold

**Введение.** Изготовление отливки – сложный и многооперационный процесс. Многие факторы могут привести к возникновению различных дефектов. Глобально следует выделить две определяющие операции – изготовление литейной формы и выплавку сплава. Одно без другого не позволит добиться получения качественной отливки. Поэтому в современных технологических процессах крайне важно определить составы и технологические режимы, гарантирующие получение формы и сплава с требуемыми технологическими свойствами [1-2].

На основе анализа износа деталей сельскохозяйственной техники, можно сделать вывод, что одной из главных причин выхода из строя деталей является качество исходных заготовок, в том числе отливок [3-6].

При выплавке литейных сплавов одним из эффективных способов получения отливок с высокими механическими и эксплуатационными свойствами является воздействие на процесс кристаллизации отливки путем введения в расплав веществ, являющихся дополнительными центрами кристаллизации, т.е. его модифицирования. С целью измельчения зерна используются, например, инокуляторы. В качестве инокуляторов целесообразно применять корольки, извлеченные из шлака и мелкий скрап, которые необходимо измолоть и добавлять в жидкий расплав после разливки в форму. Это способствует получению мелкозернистой структуры отливки [7-11].

Добиться всех требуемых современным потребителем свойств отливки нельзя, не используя качественную литейную форму. Литье по выплавляемым моделям позволяет получать тонкостенные прецизионные отливки со сложной конфигурацией. Однако, не смотря на

значительные достоинства процесса изготовления литых заготовок, процесс литья по выплавляемым моделям имеет некоторые недостатки, основным из которых является относительная высокая стоимость формовочных материалов.

Целью исследования является определение оптимального состава связующего, обеспечивающего высокие технологические свойства литейной формы и снижение ее стоимости.

**Основная часть.** Самым распространенным связующим для данной технологии является этилсиликат. Содержание этилсиликата должно составлять 45-50 %, остальное – огнеупорный наполнитель (измельченный кварц). В состав связующего предлагается добавлять измельченную и высушенную глину. В работе исследовали глины казахстанских месторождений Дарат, Федоровское и Белое Глинище. В связующее, наряду с этилсиликатом ЭТС-40, вводили глины различных казахстанских месторождений (рисунок 1).

Химический состав глин представлен в таблице 1. Исследования химического состава проводились с использованием рентгено-флуоресцентного спектрометра «NITONXL2–100G» (рисунок 2).



Рис. 1. Образцы использованных глин

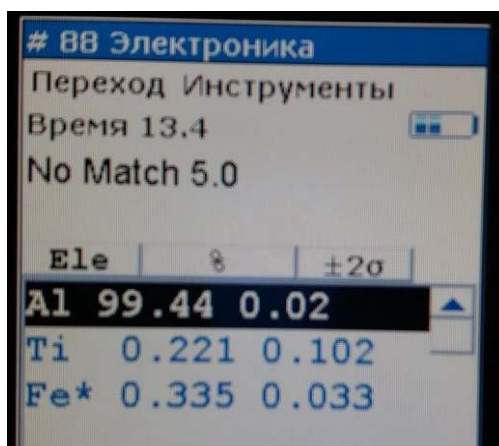


Рис. 2. Результаты химического анализа глины месторождения Белое Глинище

Таблица 1 - Химический состав глин, использованных в исследованиях

Месторождение	Al+Si	Ti	Fe	Cu	Zn	Zr	Pb	Mn
Белое Глинище	99,44	0,221	0,335	-	-	-	-	-
Дарат	98,05	1,08	0,803	0,014	0,019	0,034	0,005	-
Федоровское	96,91	-	2,72	-	-	0,022	-	0,078

Рассматривали вязкость глинистых связок (реологический профиль), изготовленных на основе исследуемых глин (рисунок 3). Определение вязкости связок (содержание глины в связке – 10 %) проводилось на вибрационном вискозиметре «SV-1А», принцип действия ко-



того основан на методе камертонной вибрации, позволяющий получить высокую точность измерений.

Из представленных результатов видно, что наиболее стабильной является вязкость связки при использовании глины месторождения Дарат. Использование глин месторождений Белое Глинище и Федоровское изначально показывает неоднородное распределение составляющих (вероятно, вследствие коагуляции глины) и только со временем вязкость связок выравнивается при достижении гомогенности структуры.

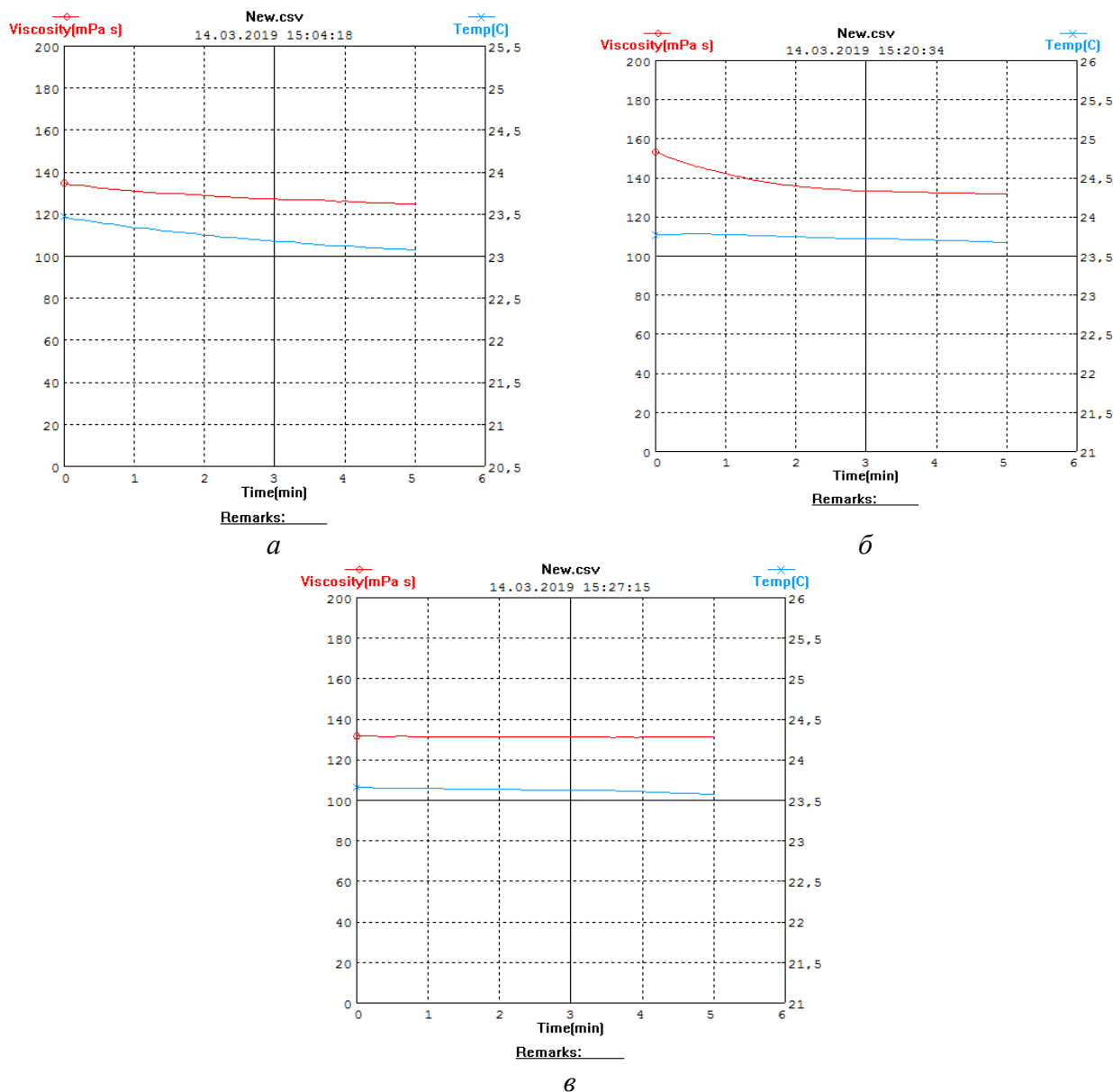


Рис. 3. Изменение во времени вязкости связки (красная кривая) с использованием глины месторождений: *a* – Белое глинище, *б* – Федоровское, *в* – Дарат

В составе связки использовали 5...15% глины. Глина перед использованием измельчалась на мельнице фирмы «Етах» до пылевидной фракции (порядка 50 мкм). Определяли газопроницаемость и прочность формы (таблица 2). Прочность определяли с использованием комплекса для определения механических свойств «Instron-100», а газопроницаемость исследовали на приборе для определения газопроницаемости «04315Б».

Модели изготавливали из парафино-стериновой смеси (концентрация 50:50) в кокилях (рисунок 4). Оболочковую форму (рисунок 5) получали путем окунания в суспензию в 4 слоя. Сушку проводили при температуре 40 °С в течение 2 часов.

**Рис. 4. Парафино-стеариновые модели**



**Рис. 5. Модели после нанесения оболочки**

Для определения газопроницаемости использовали части оболочки после выплавления модельного состава. Для оценки прочности на сжатие использовали специальную форму (гильзу), куда послойно наносили формовочную смесь. Сушку проводили при температуре 150 °С в течение 1,5 часов в печи «Nabertherm LHT 02/17». Прокаливание оболочки осуществляли в той же печи при температуре 600 °С в течение 6 часов.

В целом, газопроницаемость является технологически необходимой для любых концентраций всех трех использованных глин. Однако, глина месторождения Дарат, выглядит предпочтительнее в данной серии испытаний. Прочность образцов с использованием глины месторождения Дарат также выше, чем оболочки с другими глинами. Очевидно, при увеличении времени и температуры спекания происходит выгорание компонентов, в первую очередь, связующего и, соответственно, наблюдается разупрочнение. Результаты исследования технологических и механических свойств оболочковой формы с различными связующими представлены в таблице 2.

**Таблица 2 - Результаты исследования технологических и механических свойств оболочковой формы с различными связующими**

Глина в связующем	Газопроницаемость, ед	Прочность на сжатие, МПа
Дарат, 5 %	103	22,2
Дарат, 10 %	109	22,6
Дарат, 15 %	100	22,4
Федоровское, 5 %	101	19,6
Федоровское, 10 %	103	19,5
Федоровское, 15 %	99	19,1
Белое Глинище, 5 %	108	21,5
Белое Глинище, 10 %	119	21,8
Белое Глинище, 15 %	105	21,3

**Заключение.** 1. Применение литья по выплавляемым моделям в целом обеспечивает изготовление качественных литых заготовок для сельскохозяйственного машиностроения.

2. Использование в качестве связующего глины казахстанских месторождений Дарат, Федоровское и Белое Глинище в сочетании с этилсиликатом позволяет снизить стоимость литейных форм.

3. Наиболее технологичным с точки зрения вязкости является связка, изготовленная из глины месторождения Дарат (10...15%) и этилсилката ЭТС-40 (30...45%), что обеспечивает однородность и однородность свойств формовочной смеси во всем объеме.

#### Библиография

1. Kvon S.S., Kulikov V.Y., Issagulov A.Z., Dostayeva A.M., Kovalyova T.V. Studying structure and properties of shaped ingots obtained in various conditions of crystallization // *Metalurgija* (Zagreb, Croatia), 2018. Т. 57. № 4. Р. 313-316.
2. Куликов В.Ю., Квон Св.С., Щербакова Е.П., Ковалёва Т.В., Исагулова Д.А. Влияние степени спекания оболочковой формы на ее механические и технологические свойства // *Литейное производство*, 2018. № 4. С. 32-34.
3. Водолазская Н.В., Минасян А.Г., Шарая О.А. О причинах отказа и об оценке износа насосного оборудования перерабатывающих предприятий АПК // *Инновации в АПК: проблемы и перспективы*. 2016. № 2. С. 34-46.
4. Пастухов А.Г. Отказы машин и оборудования // *Материалы Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы агроинженерии в XXI веке», посвященной 30-летию кафедры технической механики конструирования машин.* – п. Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2018. С. 368 -372.
5. Коноводов В.В., Агафонова Е.В. Методы оценки износа рабочих органов кормодробильных машин молоткового типа // *Теория и практика современной аграрной науки: сборник национальной (Всероссийской) научной конференции.* Новосибирский государственный аграрный университет, 2018. С. 188-191.
6. Шарая О.А., Водолазская Н. В. Упрочнение деталей модельной оснастки // *Интеграция науки, образования и производства - основа реализации Плана нации: труды международной научно-практической конференции (Сагиновские чтения № 9). Часть 4.* - Караганда: Изд-во КарГТУ, 2017. С. 96 – 98.
7. Мустаев И.З., Фатхуллина Л.З., Максютлова А.А., Гималетдинова И.И. Анализ рисков получения качественной отливки методом литья по выплавляемым моделям // *Сборник статей Международной научно-практической конференции «Инновационное развитие науки и образования сборник». 2 часть.* 2018. С. 201-205.
8. Ткаченко С.С., Емельянов В.О., Мартынов К.В., Кузнецов Р.В. О формировании контактной поверхности при литье по выплавляемым моделям // *Литейное производство*, 2018. № 1. С. 35-37.
9. Дьячков В.Н., Никитин К.В., Баринов А.Ю. Эффективная технология изготовления керамических форм на основе плавного кварца для литья по выплавляемым моделям // *Технологии металлургии, машиностроения и материалобработки*, 2016. № 15. С. 99-102.
10. Куликов В.Ю., Квон С.С., Ковалева Т.В., Еремин Е.Н. Исследования влияния режимов прессования на параметры пористой структуры формы // *Литейщик России*, 2018. № 8. С. 9-14.
11. Углев Н.П., Пойлов В.З., Мерзляков К.С., Звездин В.Л., Шилов А.В., Ордин Д.А. Об удалении модельных масс из керамических оболочек при литье по выплавляемым моделям // *Литейное производство*, 2015. № 3. С. 17-20.

#### References

1. Kvon S.S., Kulikov V.Y., Issagulov A.Z., Dostayeva A.M., Kovalyova T.V. Studying structure and properties of shaped ingots obtained in various conditions of crystallization // *Metalurgija* (Zagreb, Croatia). 2018. Т. 57. No 4.Р. 313-316.

2. Kulikov V. Yu., Kwon St. With. Shcherbakova E. P., Kovaleva T. V., Isagulova D. A. Vliyanie stepeni spekaniya obolochkovej formy na ee mekhanicheskie i tekhnologicheskie svoystva [Influence of the degree of sintering of the shell form on its mechanical and technological properties] // Foundry, 2018. No 4. Pp. 32-34.
3. Vodolazsky N. In. Minasyan A. G., Sharaya O. A. O prichinah otkaza i ob ocenke iznosa nasosnogo oborudovaniya pererabatyvayushchih predpriyatij APK [The reasons for the refusal and on the evaluation of the wear of the pump equipment of processing of agricultural enterprises] // Innovation in the agro-industrial complex: problems and prospects. 2016. No. 2. Pp. 34-46.
4. Pastukhov A. G. Otkazy mashin i oborudovaniya [Failures of machines and equipment] // Proceedings of the International scientific and practical conference «Actual problems of Agroengineering in the XXI century», dedicated to the 30th anniversary of the Department of technical mechanics of machine design. – p. Maysky: BELGOROD state UNIVERSITY, 2018. Pp. 368 -372.
5. Konovodov V. V., Agafonova E. V. Metody ocenki iznosa rabochih organov kormodobil'nyh mashin molotkovogo tipa [Methods of assessment of wear of working bodies of hammer-type feed crushing machines] //Theory and practice of modern agricultural science: collection of national (all-Russian) scientific conference. Novosibirsk state agrarian University, 2018. Pp. 188-191.
6. Sharaya O. A., Vodolazskaya N. B. Uprochnenie detalej model'noj osnastki [Strengthening the details of the model equipment] // Integration of science, education and production - the basis of the national Plan: proceedings of the international scientific and practical conference (Saginovskie reading № 9). Part 4. - Karaganda: Publishing house Kargtu, 2017. Pp. 96 – 98.
7. Mustaev I. Z., Fathullina L. Z., Maksutov A. A., Gimaltdinov I. I. Analiz riskov polucheniya kachestvennoj otlivki metodom lit'ya po vyplavlyаемым modelyam [Risk analysis of obtaining high-quality casting by investment casting] // Collection of articles of International scientific-practical conference "Innovative development of science and education collection". Part 2. 2018. Pp. 201-205.
8. Tkachenko S. S., Emelyanov V. O., Martynov K. V., Kuznetsov R. V. O formirovanii kontaktnoj poverhnosti pri lit'e po vyplavlyаемым modelyam [On the formation of the contact surface during casting on smelted models] // Foundry, 2018. No 1. P. 35-37.
9. Dyachkov V.N., Nikitin K. V., Barinov A. Yu. Effektivnaya tekhnologiya izgotovleniya keramicheskikh form na osnove plavlenogo kvarca dlya lit'ya po vyplavlyаемым modelyam [Effective technology of production of ceramic forms on the basis of fused quartz for investment casting] // Technologies of metallurgy, mechanical engineering and material processing, 2016. No 15. Pp. 99-102.
10. Kulikov V. Yu., Kwon S. S., Kovaleva T. V., Eremin E. N. Issledovaniya vliyaniya rezhimov pressovaniya na parametry poristoj struktury formy [Studies of the influence of pressing modes on the parameters of the porous structure of the mold] // Caster of Russia, 2018.- No 8. Pp. 9-14.
11. Uglev N. P., Poylov V. Z., Merzlyakov K. S., Zvezdin V.L., Shilov V. A., Ordin D. A. Ob udalenii model'nyh mass iz keramicheskikh obolochek pri lit'e po vyplavlyаемым modelyam [About the removal of the model masses from the ceramic shells in the investment casting] // Foundry, 2015. No 3. Pp. 17-20.

#### Сведения об авторах

Квон Светлана Сергеевна, кандидат технических наук, профессор кафедры Нанотехнологии и металлургия, Карагандинский государственный технический университет, Бульвар Мира, 56, г. Караганда, Казахстан, 100027, тел.+7 7212 56-78-41, e-mail: svetlana.1311@mail.ru

Куликов Виталий Юрьевич, кандидат технических наук, профессор кафедры Нанотехнологии и металлургия, Карагандинский государственный технический университет, Бульвар Мира, 56, г. Караганда, Казахстан, 100027, тел.+7 7212 56-78-41, e-mail: mlpikm@mail.ru

Аубакиров Дастан Рахметоллаевич, магистр технических наук, старший преподаватель кафедры Нанотехнологии и металлургия, Карагандинский государственный технический университет, Бульвар Мира, 56, г. Караганда, Казахстан, 100027, тел.+7 7212 56-59-35, доб. 1024, e-mail: dastan\_kstu@mail.ru

Шербакова Елена Петровна, доктор PhD, старший преподаватель кафедры Нанотехнологии и металлургия, Карагандинский государственный технический университет, Бульвар Мира, 56, г. Караганда, Казахстан, 100027, тел.+7 7212 56-78-41, e-mail: sherbakova\_1984@mail.ru

#### Information about authors

Kvon Svetlana Sergeyevna, Candidate of Technical Sciences, professor of department of Nanotechnology and metallurgy, Karaganda state technical university, Boulevard Mira, 56, Karaganda, Kazakhstan, 100027, ph. 7 7212 56-78-41, e-mail: svetlana.1311@mail.ru

Kulikov Vitaliy Yuryevich, Candidate of Technical Sciences, professor of department of Nanotechnology and metallurgy, Karaganda state technical university, Boulevard Mira, 56, Karaganda, Kazakhstan, 100027, ph. 7 7212 56-78-41, e-mail: mlpikm@mail.ru

Aubakirov Dastan Rakhmetullayevich, master of technical science, senior teacher of department of Nanotechnology and metallurgy, Karaganda state technical university, Boulevard Mira, 56, Karaganda, Kazakhstan, 100027, ph. 7 7212 56-59-35, add. 1024, e-mail: dastan\_kstu@mail.ru

Chsherbakova Yelena Petrovna, PhD, senior teacher of department of Nanotechnology and metallurgy, Karaganda state technical university, Boulevard Mira, 56, Karaganda, Kazakhstan, 100027, ph. 7 7212 56-78-41, e-mail: sherbakova\_1984@mail.ru

УДК 621.929:66.063

*А.С. Колесников*

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДОЗАТОРА-СМЕСИТЕЛЯ ЖИДКОСТЕЙ

**Аннотация.** При производстве многокомпонентных кормов для животных часто в технологическую линию включают операции дозирования и смешивания компонентов. Так, например, при производстве растительного белка из свекловичного жома, отжатый сок смешивают с концентратом низкомолекулярных кислот. Качество готового продукта зависит от правильного выбора технологического оборудования, применяемого на производстве. Поэтому разработка наиболее оптимальной конструкции дозатора-смесителя представляется важной задачей, которую необходимо решить. Как свидетельствует анализ конструктивных особенностей смесителей, к их недостаткам следует отнести: неравномерность распределения добавочной жидкости в потоке основной жидкости, дополнительные энергозатраты на привод смесительного элемента, а так же низкая степень однородности готовой смеси. Исходя из этого, в задачу экспериментальных исследований дозатора-смесителя жидкостей входило: проверка теоретических положений, выявление ряда физических величин и значений коэффициентов, а также обоснование оптимальных параметров и режимов работы предложенного дозатора-смесителя. Представлена конструкция экспериментальной установки для проверки работоспособности дозатора-смесителя. Представлены зависимости равномерности распределения концентрата низкомолекулярных кислот в соке и равномерности внесения концентрата низкомолекулярных кислот в сок от конструктивных параметров дозатора-смесителя, полученные в ходе экспериментальных исследований. Экспериментальные исследования показали, что при увеличении, таких параметров как, диаметр трубы основного потока сока, диаметр выходных отверстий для истечения концентрата низкомолекулярных кислот из смесительного элемента, давление потока сока, диаметр трубы для подачи концентрата низкомолекулярных кислот и количество выходных патрубков смесительного элемента, равномерность внесения и распределения повышаются.

**Ключевые слова:** дозатор-смеситель, смешивание, дозирование, сок, концентрат

### EXPERIMENTAL STUDIES OF OPERABILITY OF THE BATCHER MIXER OF LIQUIDS

**Abstract.** In the production of multicomponent animal feeds, dosing and mixing of components are often included in the processing line. For example, in the production of vegetable protein from beet pulp, squeezed juice is mixed with a concentrate of low molecular weight acids. The quality of the finished product depends on the correct choice of technological equipment used in production. Therefore, the development of the most optimal design of the dispenser-mixer is an important task that needs to be addressed. As the analysis of the design features of the mixers shows, their disadvantages include: uneven distribution of the additive fluid in the main fluid flow, additional energy consumption for the drive of the mixing element, as well as a low degree of uniformity of the finished mixture. On this basis, the task of experimental studies of a batcher-mixer of liquids included: checking theoretical positions, identifying a number of physical quantities and coefficient values, as well as substantiating the optimal parameters and operating modes of the proposed batcher-mixer. The design of the experimental setup for testing the dispenser-mixer is presented. The dependences of the uniformity of distribution of the concentrate of low molecular weight acids in the juice and the uniformity of making the concentrate of low molecular weight acids in the juice on the design parameters of the dispenser-mixer, obtained during experimental studies are presented. Experimental studies have shown that with an increase, such parameters as the diameter of the main stream juice pipe, the diameter of the outlet holes for the expiration of the low molecular weight acid concentrate from the mixing element, the juice flow pressure, the diameter of the pipe for feeding the low molecular weight acid concentrate and the number of outlet nozzles of the mixing element distribution increases.

**Keywords:** batcher mixer, mixing, dispensing, juice, concentrate.

Основные задачи предприятий перерабатывающих сельскохозяйственную продукцию это получение продуктов питания для человека, а также обеспечение сельскохозяйственных животных кормами. При производстве многокомпонентных кормов для животных часто в технологическую линию включают операции дозирования и смешивания компонентов. Так, например, при производстве растительного белка из свекловичного жома, отжатый сок смешивают с концентратом низкомолекулярных кислот (КНМК). Качество готового продукта зависит от правильного выбора технологического оборудования, применяемого на производстве. Поэтому разработка наиболее оптимальной конструкции дозатора-смесителя представляется важной задачей, которую необходимо решить.

Как свидетельствует анализ конструктивных особенностей смесителей, к их недостаткам следует отнести: неравномерность распределения добавочной жидкости в потоке основ-

ной жидкости, дополнительные энергозатраты на привод смесительного элемента, а так же низкая степень однородности готовой смеси [1-5]. Анализ конструкций смесителей жидкостей показывает, что наиболее перспективными являются поточные смесители с вращающимися смесительными элементами.

Основными показателями, характеризующими рабочий процесс дозатора-смесителя жидкостей, являются равномерность внесения и равномерность распределения КНМК в соке.

Теоретически было доказано, что перечисленные показатели зависят от:

- плотности КНМК, которая изменяется в зависимости от количества входящих в него компонентов;
- скорости движения основного потока сока;
- реактивной силы, возникающей при истечении КНМК из отверстий смесительного элемента;
- геометрических параметров выходных отверстий смесительного элемента.

Исходя из этого, в задачу экспериментальных исследований дозатора-смесителя жидкостей входило: проверка теоретических положений, выявление ряда физических величин и значений коэффициентов, а также обоснование оптимальных параметров и режимов работы предложенного дозатора-смесителя.

В соответствии с поставленной задачей работа выполнялась по следующей программе:

- выявление рациональной геометрии выходных отверстий смесительного элемента;
- определение зависимостей удельного сопротивления перемешиванию сока и КНМК от частоты вращения смесительного элемента  $n$ , реактивной силы истечения КНМК  $R$  и плотности смешиваемых жидкостей  $\rho$ ;
- определение характера внесения и распределения КНМК в соке;
- проведение лабораторных исследований с целью оптимизации основных параметров дозатора-смесителя.

Программой экспериментальных исследований предусматривалось: проверка достоверности теоретических исследований; экспериментальное определение оптимальных параметров дозатора - смесителя жидкостей; уточнение некоторых теоретических зависимостей с использованием физических величин и коэффициентов.

Проведению экспериментальных исследований предшествовали анализ научных работ, теоретический анализ и обобщение изучаемых процессов и явлений, сбор и обработка данных априорного эксперимента, построение плана экспериментальных исследований и решение технических, биологических и организационных мероприятий его осуществления.

Экспериментальные исследования проводились в соответствии с рядом общепринятых методик по определению качественных, биологических, энергетических параметров машин и оборудования, а также по методике математической обработки данных [6, 7]. Методика математической обработки экспериментальных данных позволила решить следующие вопросы:

- выбрать рациональную измерительную аппаратуру и обосновать повторность измерений;
- произвести анализ погрешностей измеряемых геометрических, кинематических, динамических и других параметров с целью исключения систематических погрешностей;
- представить полученные экспериментальные данные в удобной для анализа табличной или графической форме;
- установить степень взаимосвязи между явлениями;
- определить оптимум решения поставленной задачи.

Обработку экспериментальных данных и анализ зависимостей проводили с использованием статистических методов обработки с использованием компьютера.

При изучении работы дозатора-смесителя жидкостей применялся метод планирования многофакторных экспериментов [6, 7].

Применение указанного метода позволило сократить объем экспериментальных исследований, оценить достоверность их результатов и построить математические модели процессов с целью их оптимизации.

Для проведения исследований была изготовлена экспериментальная установка (рисунок 1). Экспериментальная установка состоит из большой емкости 1 для отжатого сока, меньшей емкости 7 для концентрата низкомолекулярных кислот, дозатора-смесителя 9 и трубопровода 3 соединяющего обе емкости, на котором установлен сам дозатор-смеситель. Для определения скорости истечения отжатого сока установлен датчик скорости 10, а для скорости истечения КНМК – датчик скорости 8. Давление потока отжатого сока измеряется манометром 4, а давление КНМК во входном патрубке смесительного элемента – манометром 5. Для прекращения подачи отжатого сока имеется кран 2, а для прекращения поступления КНМК – кран 6.

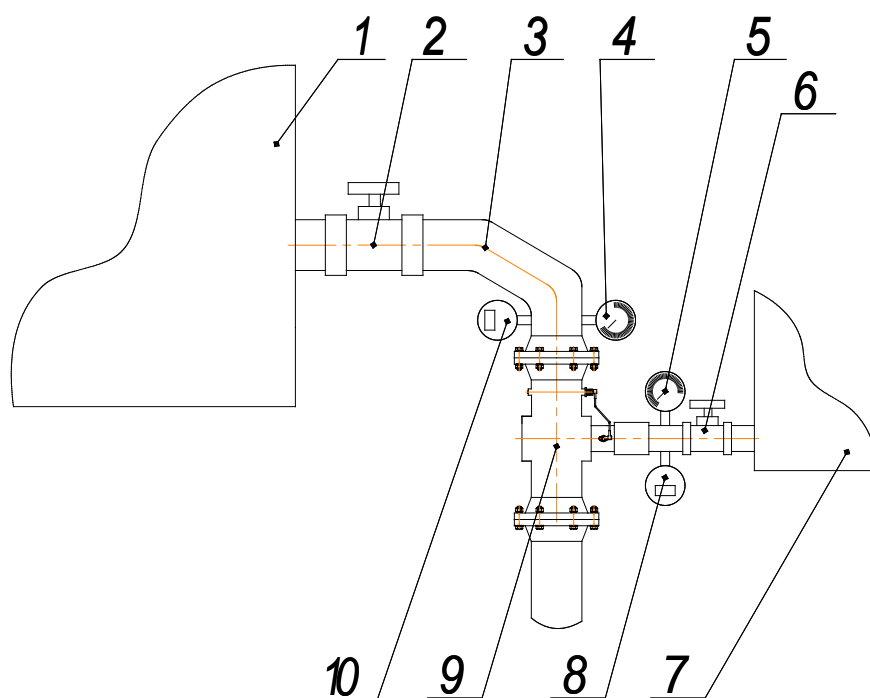


Рис. 1. Экспериментальная установка

Дозатор-смеситель жидкостей, представляющий собой экспериментальную установку, выполнен таким образом, что позволяет исследовать различные параметры машины [8-10].

#### Методика определения равномерности распределения КНМК в соке

Качество смешивания кормов определяли по распределению контролируемого или контрольного компонента в 15-20 пробах, отбираемых пробоотборником через равные промежутки времени при выгрузке готовой смеси дозатором-смесителем. Повторность опыта - 3-кратная. Объем пробы  $V_n$  для жидкой смеси 100 мл.

Качество смешивания определяли путем внесения в сок концентрата в виде красителя. По окраске получаемой смеси определяли равномерность внесения КНМК.

Для оценки качества смеси использовали метод нахождения статистических характеристик системы при взятии проб по среднеквадратичному отклонению  $\sigma$  и значению коэффициента вариации  $v$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad (1)$$



$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}; \quad (2)$$

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}}, \quad (3)$$

где  $x$  – количество контролируемого компонента в пробах;

$\bar{x}$  – среднеарифметическое значение количества контролируемого компонента в пробах;

$n$  - количество опытов.

В качестве показателя неравномерности смешивания используют коэффициент вариации  $v_{\phi}$  фактического распределения контролируемого или контрольного компонента в пробах.

Полученные значения коэффициентов сравнивают с допустимыми по зоотехническим требованиям  $v_q$  для типичных смесей ( $v_{\phi} \leq v_q$ ) при соответствующих объемах проб (50, 100 и 150 мл). При отсутствии значений  $v_q$  определяют опытным путем для данной смеси, дополнительно перемешивая 5000 мл смеси, отобранной после испытываемого смесителя, в лабораторном порционном смесителе, приспособленном для данного вида смеси. Отбор и анализ проб аналогичны описанным выше.

### Методика определения равномерности внесения КНМК в сок

Для определения неравномерности смешивания дозатора-смесителя жидкостей на заданном режиме работы через каждые 10 секунд брали пробы и взвешивали. Брали 30 проб. Повторность опыта - 3-кратная, на различных режимах работы. Полученные дискретные данные значения массы порций обрабатывают методами математической статистики, определяют среднеарифметическое значение  $\bar{x}$ , среднеквадратичное отклонение  $\sigma$  и коэффициент вариации  $v$  по формулам (1-3), где  $x$  – масса, взятой пробы;  $\bar{x}$  – среднеарифметическая масса пробы.

### Методика оптимизации основных параметров дозатора-смесителя жидкостей

В задачу экспериментальных исследований рабочего процесса входило: выявить работоспособность, проверить теоретические предпосылки и обосновать оптимальные конструктивно-технологические параметры, которые не удалось выявить теоретическим путем.

Вначале ставили небольшую серию опытов для описания некоторой локальной области поверхности отклика в предложении линейного приближения. Для этого использовали ортогональное планирование первого порядка с реализацией обеих полуреплик полного факторного эксперимента или дробные реплики. Выбирали центр эксперимента  $X_{oi}$ , интервалы варьирования, вводили фиктивную переменную  $X_o = \pm 1$ . Переход от натуральных переменных  $X_1; X_2; X_3; X_4 \dots X_i$  к кодовым  $x_1; x_2; x_3; x_4 \dots x_i$  применяется на концах интервалов +1 и -1 и осуществляется по формуле:

$$X_i = \frac{x_i - x_{oi}}{\Delta x_i}. \quad (4)$$

Критериями оптимизации нами выбраны два показателя: равномерность распределения КНМК в соке (коэффициент вариации)  $v$  и равномерность внесения КНМК в сок  $\delta$ . На указанные показатели основное влияние оказывают факторы, представленные в таблице 1, где приведены также интервалы и уровни варьирования независимых переменных.

Для планирования полного факторного эксперимента задаемся матрицей планирования, в которой представлены все возможные комбинации значений факторов (таблица 2). В основу матрицы планирования эксперимента положен эксперимент  $2^5$ , а эффекты от шестого, седьмого и восьмого факторов смешаны с эффектами взаимодействия.

В нашем случае планирование типа  $2^5$  представлено в матрице (таблица 2). Каждому опыту, запланированному матрицей (таблица 2), соответствовала своя конструкция дозатора-смесителя. Каждая конструкция дозатора-смесителя соответствовала параметрам опыта, запланированного матрицей.

Таблица 1 – Факторы, влияющие на показатели работы дозатора-смесителя

Обозначение	Факторы	Уровни фактора	
		- I	+ I
X <sub>1</sub>	Диаметр трубы основного потока сока, мм	90	100
X <sub>2</sub>	Диаметр трубы для подачи КНМК, мм	10	20
X <sub>3</sub>	Количество выходных патрубков смесительного элемента, шт	12	20
X <sub>4</sub>	Диаметр выходных отверстий для истечения КНМК из смесительного элемента, мм	0,5	1,5
X <sub>5</sub>	Давление потока сока, кПа	0,1	0,3
X <sub>6</sub>	Давление КНМК в входном патрубке смесительного элемента, кПа	0,05	0,2
X <sub>7</sub>	Скорость истечения сока, м/с	0,3	0,55
X <sub>8</sub>	Скорость истечения КНМК, м/с	0,2	0,4

Таблица 2 – Матрица планирования эксперимента

№ опыта	Факторы и их взаимодействие																																
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>4</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>5</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>4</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>5</sub>	X <sub>3</sub> X <sub>4</sub>	X <sub>3</sub> X <sub>5</sub>	X <sub>4</sub> X <sub>5</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>4</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>5</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub> X <sub>4</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub> X <sub>5</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>4</sub> X <sub>5</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub> X <sub>4</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub> X <sub>5</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>4</sub> X <sub>5</sub>	X <sub>3</sub> X <sub>4</sub> X <sub>5</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>3</sub> X <sub>4</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub> X <sub>4</sub> X <sub>5</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>3</sub> X <sub>4</sub> X <sub>5</sub>	
1	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	
2	+	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	
3	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	+	
4	+	+	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	
5	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	+	
6	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	
7	+	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	
8	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	
9	+	-	-	-	+	-	+	-	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	
10	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	-	-	
11	+	-	+	-	+	-	-	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	-	
12	+	+	+	-	+	-	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-	+	+	+	+	-	
13	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	
14	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	
15	+	-	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+
16	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	+	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-
17	+	-	-	-	-	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	+	•	+	
18	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	
19	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	-	+	+	+	-	-	+	-	+	-
20	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	+	+	
21	+	-	-	+	-	+	-	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-	+	+	-	
22	+	+	-	+	-	+	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	+	+	
23	+	-	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	
24	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-
25	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+	-	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	
26	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	+	+	+	
27	+	-	+	-	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	-	+	-	+	
28	+	+	+	-	+	+	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	-	+	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-
29	+	-	-	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	
30	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-

31	+	-	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-
32	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Поэтому рабочие элементы дозатора-смесителя меняли при каждом опыте. Остальные параметры устанавливали согласно матрице, при этом смеси оставалась постоянной. Каждый опыт проводили в трехкратной повторности.

В результате такого планирования небольшой участок поверхности отклика описывается неполным квадратичным уравнением вида:

$$y = x_0 + a \cdot x_1 + b \cdot x_2 + c \cdot x_3 + d \cdot x_4 + e \cdot x_5 + f \cdot x_6 + g \cdot x_7 + h \cdot x_8 + i \cdot x_1x_2 + j \cdot x_1x_3 + k \cdot x_1x_4 + l \cdot x_1x_5 + m \cdot x_2x_3 + n \cdot x_2x_4 + o \cdot x_2x_5 + p \cdot x_3x_4 + q \cdot x_3x_5 + r \cdot x_4x_5 + s \cdot x_1x_2x_3 + t \cdot x_1x_2x_4 + u \cdot x_1x_2x_5 + v \cdot x_1x_3x_4 + w \cdot x_1x_3x_5 + x \cdot x_1x_4x_5 + y \cdot x_2x_3x_4 + z \cdot x_2x_3x_5 + a_1 \cdot x_2x_4x_5 + b_1 \cdot x_3x_4x_5 + c_1 \cdot x_1x_2x_3x_4 + d_1 \cdot x_2x_3x_4x_5 + e_1 \cdot x_1x_2x_3x_4x_5. \tag{5}$$

Коэффициенты уравнений регрессии определяем методом наименьших квадратов по формуле

$$a_i = \frac{\sum_{l=1}^N x_{il} \cdot y_l}{N}, \tag{6}$$

где  $N$  – количество опытов.

Все коэффициенты определяются и оцениваются независимо друг от друга. Величина коэффициентов регрессии указывает на значимость того или иного фактора. Если какой-либо фактор оказывается незначительным, он может быть исключен из уравнения, при этом все остальные коэффициенты не нуждаются в пересчете.

Для оценки коэффициентов уравнений регрессии в связи с малочисленностью обрабатываемых данных вместо нормального распределения применяется t-распределение (Стьюдента), критерием которого является отношение:

$$t_i = \frac{a_i \cdot \sqrt{N}}{S(\bar{y})}. \tag{7}$$

Стоящая в знаменателе величина  $S(\bar{y})$ , характеризующая ошибку опыта, - средняя квадратическая ошибка воспроизводимости, определяется по формуле:

$$S(\bar{y}) = \frac{\sum_{l=1}^N \left[ \sum_{i=1}^n (\bar{y}_l - y_{li}) \right]}{N_n \cdot (n-1)}, \tag{8}$$

где  $N$  - число повторений в одном опыте (число испытываемых образцов).

Значение t-критерия, вычисленное по формуле (7) сравнивали с табличным, взятым при выбранном уровне значимости (в данной работе был принят 5% уровень) и числом степеней свободы равно

$$f_i = N \cdot (n-1). \tag{9}$$

Если при сравнении оценка коэффициента регрессии окажется ниже табличного значения, последний считается статистически незначительным.

Проверка нуль-гипотезы в предложении адекватности представления поверхности отклика на данном этапе исследования производится методом дисперсионного анализа. Задача в этом случае сводится к проверке по F - критерию (критерий Фишера) равенства генеральных дисперсий и остаточной и воспроизводимости по известным выборочным  $S_{ocm}^2$  и  $S^2(\bar{y})$ . Величина F критерия принимается по таблице [6, 7] в зависимости от числа степеней свободы  $f$  и  $f_1$ , с которым определяются выборочные дисперсии, сравниваются с F отношением, вычисленными по экспериментальным данным

$$F_{фак} = \frac{S_{ocm}^2}{S^2(\bar{y})}. \tag{10}$$

Если  $F_{таб} > F_{фак}$ , то нуль-гипотеза принимается, в противном случае она от адекватности должна быть отброшена как неверная. Для расчета  $F$ -отношения вычисляется остаточная сумма квадратов:

$$S_{ocm} = \sum_{l=1}^N y_l^2 - N \sum_{i=1}^k a_i^2. \quad (11)$$

Подсчитывается число степеней свободы, с которой определяется остаточная дисперсия:

$$f = N - k_1 - 1, \quad (12)$$

где  $k_1$  - число линейных членов уравнения регрессии. После чего остаточная дисперсия может быть получена так

$$S_{ocm}^2 = \frac{S_{ocm}}{f_1}. \quad (13)$$

Дисперсия воспроизводимости вычисляется по формуле

$$S^2(y) = \frac{\sum_{l=1}^N \sum_{i=1}^n (\bar{y}_l - y_{li})}{N \cdot (n-1)}, \quad (14)$$

откуда

$$S_{ocm}^2 = \frac{S^2(y)}{n}. \quad (15)$$

### Экспериментальное исследование дозатора-смесителя жидкостей

Значения коэффициентов уравнения регрессии были получены с помощью программы «Eureka: The Solver, Version 1.0» на ПЭВМ.

Расчет коэффициентов регрессии позволил получить следующие уравнения:

$$\begin{aligned} v = & 1,08 - 0,28 \cdot x_1 + 0,71 \cdot x_2 + 0,80 \cdot x_3 + 0,99 \cdot x_4 + 0,97 \cdot x_5 + 1,08 \cdot x_6 + 0,97 \cdot x_7 + 1,07 \cdot x_8 - \\ & 0,023 \cdot x_1 x_2 - 0,18 \cdot x_1 x_3 + 0,98 \cdot x_1 x_4 + 1,02 \cdot x_1 x_5 + 0,76 \cdot x_2 x_3 + 1,05 \cdot x_2 x_4 + 1,01 \cdot x_2 x_5 + 0,95 \cdot x_3 x_4 + \\ & 0,92 \cdot x_3 x_5 + 1,09 \cdot x_4 x_5 - 0,071 \cdot x_1 x_2 x_3 + 0,91 \cdot x_1 x_2 x_4 + 1,05 \cdot x_1 x_2 x_5 - 0,31 \cdot x_1 x_3 x_4 + 0,74 \cdot x_1 x_3 x_5 + \\ & 0,91 \cdot x_1 x_4 x_5 + 0,76 \cdot x_2 x_3 x_4 + 0,86 \cdot x_2 x_3 x_5 + 1,09 \cdot x_2 x_4 x_5 - 0,94 \cdot x_3 x_4 x_5 - 0,14 \cdot x_1 x_2 x_3 x_4 + 0,99 \cdot x_2 x_3 x_4 x_5 + \\ & 0,70 \cdot x_1 x_2 x_3 x_4 x_5; \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \delta = & 1,09 + 0,73 \cdot x_1 + 0,87 \cdot x_2 + 0,97 \cdot x_3 + 1,00 \cdot x_4 + 0,97 \cdot x_5 + 1,08 \cdot x_6 + 0,97 \cdot x_7 + 1,07 \cdot x_8 + \\ & 0,008 \cdot x_1 x_2 - 0,15 \cdot x_1 x_3 + 0,85 \cdot x_1 x_4 + 1,00 \cdot x_1 x_5 + 0,82 \cdot x_2 x_3 + 0,96 \cdot x_2 x_4 + 1,08 \cdot x_2 x_5 + 1,08 \cdot x_3 x_4 + \\ & 0,92 \cdot x_3 x_5 + 0,96 \cdot x_4 x_5 - 0,067 \cdot x_1 x_2 x_3 + 0,95 \cdot x_1 x_2 x_4 + 0,91 \cdot x_1 x_2 x_5 - 0,25 \cdot x_1 x_3 x_4 + 0,79 \cdot x_1 x_3 x_5 + \\ & 0,98 \cdot x_1 x_4 x_5 + 0,72 \cdot x_2 x_3 x_4 + 0,88 \cdot x_2 x_3 x_5 + 0,91 \cdot x_2 x_4 x_5 - 1,04 \cdot x_3 x_4 x_5 - 0,15 \cdot x_1 x_2 x_3 x_4 + 0,91 \cdot x_2 x_3 x_4 x_5 + \\ & 0,76 \cdot x_1 x_2 x_3 x_4 x_5. \end{aligned} \quad (17)$$

Установлено, что фактическое значение составило в сравнении с табличным значением  $F$  – критерия Фишера:

$$F_{v \text{ фак}} = 1,56 < F_{v \text{ таб}};$$

$$F_{\delta \text{ фак}} = 1,32 < F_{\delta \text{ таб}}$$

Что свидетельствует об адекватности теоретических и экспериментальных моделей [6, 7].

После сравнения абсолютных значений коэффициентов регрессии и абсолютной величины их доверительного интервала мы получили следующие уравнения регрессии:

$$\begin{aligned} v = & 1,08 - 0,28 \cdot x_1 + 0,71 \cdot x_2 + 0,80 \cdot x_3 + 0,99 \cdot x_4 + 0,97 \cdot x_5 + 1,08 \cdot x_6 + 0,97 \cdot x_7 + 1,07 \cdot x_8 + \\ & 0,98 \cdot x_1 x_4 + 1,02 \cdot x_1 x_5 + 0,76 \cdot x_2 x_3 + 1,05 \cdot x_2 x_4 + 1,01 \cdot x_2 x_5 + 0,95 \cdot x_3 x_4 + 0,92 \cdot x_3 x_5 + 1,09 \cdot x_4 x_5 + \\ & 0,91 \cdot x_1 x_2 x_4 + 1,05 \cdot x_1 x_2 x_5 - 0,31 \cdot x_1 x_3 x_4 + 0,74 \cdot x_1 x_3 x_5 + 0,91 \cdot x_1 x_4 x_5 + 0,76 \cdot x_2 x_3 x_4 + 0,86 \cdot x_2 x_3 x_5 + \\ & 1,09 \cdot x_2 x_4 x_5 - 0,94 \cdot x_3 x_4 x_5 + 0,99 \cdot x_2 x_3 x_4 x_5 + 0,70 \cdot x_1 x_2 x_3 x_4 x_5; \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \delta = & 1,09 + 0,73 \cdot x_1 + 0,87 \cdot x_2 + 0,97 \cdot x_3 + 1,00 \cdot x_4 + 0,97 \cdot x_5 + 1,08 \cdot x_6 + 0,97 \cdot x_7 + 1,07 \cdot x_8 + \\ & 0,85 \cdot x_1 x_4 + 1,00 \cdot x_1 x_5 + 0,82 \cdot x_2 x_3 + 0,96 \cdot x_2 x_4 + 1,08 \cdot x_2 x_5 + 1,08 \cdot x_3 x_4 + 0,92 \cdot x_3 x_5 + 0,96 \cdot x_4 x_5 + \end{aligned}$$

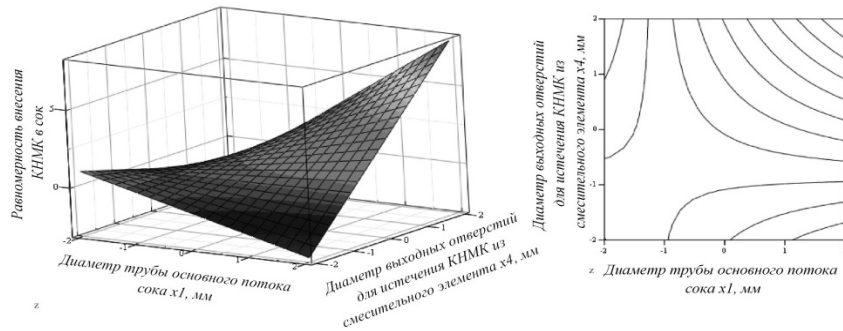
$$0,95 \cdot x_1 x_2 x_4 + 0,91 \cdot x_1 x_2 x_5 - 0,25 \cdot x_1 x_3 x_4 + 0,79 \cdot x_1 x_3 x_5 + 0,98 \cdot x_1 x_4 x_5 + 0,72 \cdot x_2 x_3 x_4 + 0,88 \cdot x_2 x_3 x_5 + 0,91 \cdot x_2 x_4 x_5 - 1,04 \cdot x_3 x_4 x_5 + 0,91 \cdot x_2 x_3 x_4 x_5 + 0,76 \cdot x_1 x_2 x_3 x_4 x_5. \quad (19)$$

В результате полученных уравнений, можно сделать вывод, что на равномерность внесения КНМК в сок  $\nu$  существенное влияние оказывают: давление КНМК во входном патрубке смесительного элемента  $X_6$ , скорость истечения КНМК  $X_8$ , а также взаимодействие факторов  $X_1 X_5$ ;  $X_2 X_4$ ;  $X_2 X_5$ ;  $X_4 X_5$ ;  $X_1 X_2 X_5$ ;  $X_2 X_4 X_5$ .

На равномерность внесения КНМК в сок  $\delta$  существенное влияние оказывают: диаметр выходных отверстий для истечения КНМК из смесительного элемента  $X_4$ , давление КНМК во входном патрубке смесительного элемента  $X_6$ , скорость истечения КНМК  $X_8$  и взаимодействие факторов  $X_2 X_5$ ;  $X_3 X_4$ ;  $X_3 X_4 X_5$ .

После этого решаем задачу оптимизации параметров. Нахождение значений параметров, при которых достигаются условия  $\nu \rightarrow \min$  и  $\delta \rightarrow \min$ , осуществляют при введении ограничения  $-1 < X_i < +1$ .

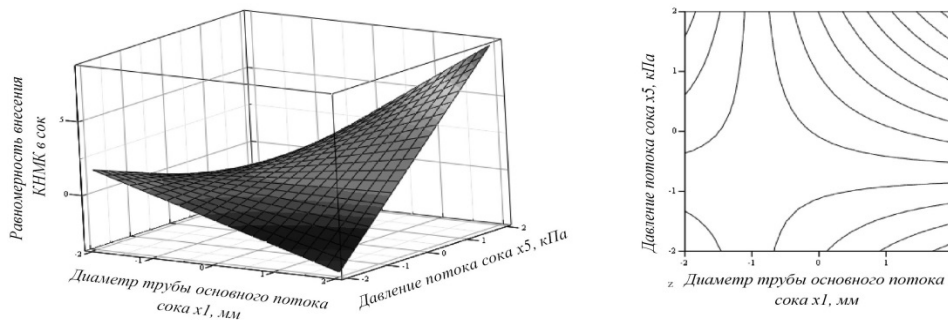
Визуализация влияния различных конструктивных параметров дозатора-смесителя на равномерность внесения КНМК в сок и равномерность распределения КНМК в соке обеспечивается при помощи двух- и трехмерных сечений поверхности отклика в центре эксперимента (рисунки 2-7). Для большей наглядности закономерностей изменения отклика и возможности прогнозирования их значений, поверхности отклика экстраполированы за пределы области эксперимента.



Поверхность отклика  $\delta = f(x_1, x_4)$

Двумерные сечения  $x_1$ - $x_4$  отклика  $\delta$

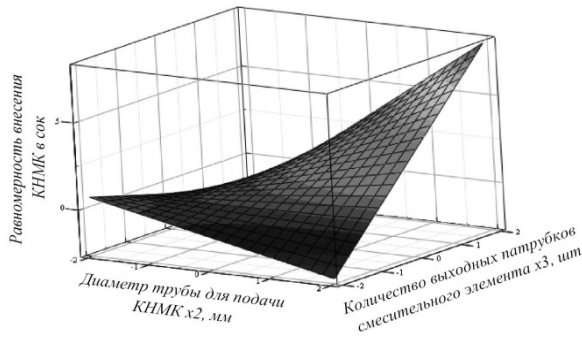
Рис. 2. Зависимость равномерности внесения КНМК в сок от диаметра трубы основного потока сока и диаметра выходных отверстий для истечения КНМК из смесительного элемента



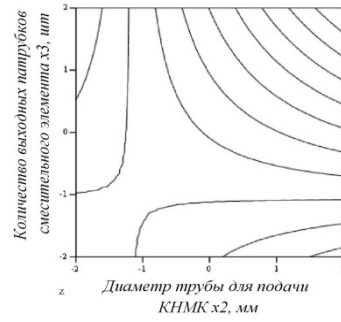
Поверхность отклика  $\delta = f(x_1, x_5)$

Двумерные сечения  $x_1$ - $x_5$  отклика  $\delta$

Рис. 3. Зависимость равномерности внесения КНМК в сок от диаметра трубы основного потока сока и давления потока сока

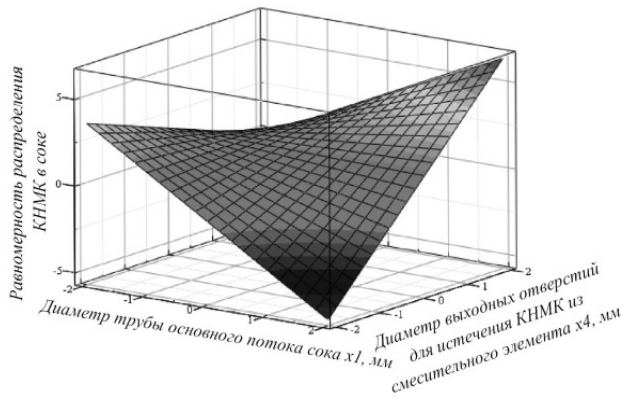


Поверхность отклика  $\delta=f(x_2, x_3)$

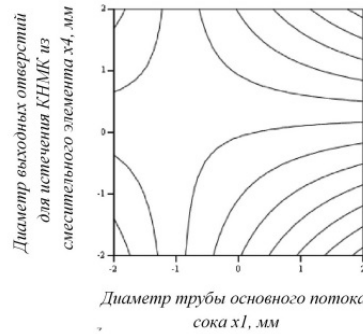


Двумерные сечения  $x_2$ - $x_3$  отклика  $\delta$

**Рис. 4. Зависимость равномерности внесения КНМК в сок от диаметра трубы для подачи КНМК и количества выходных патрубков смесительного элемента**

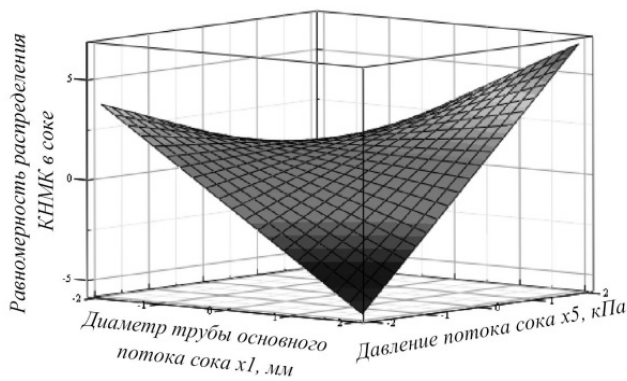


Поверхность отклика  $v=f(x_1, x_4)$

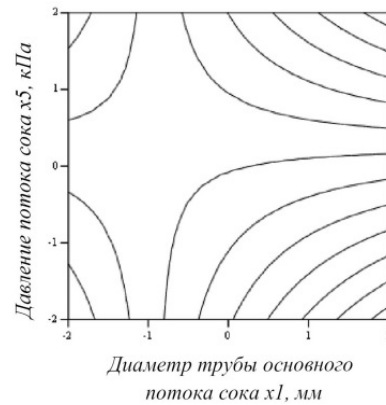


Двумерные сечения  $x_1$ - $x_4$  отклика  $v$

**Рис. 5. Зависимость равномерности распределения КНМК в соке от диаметра трубы основного потока сока и диаметра выходных отверстий для истечения КНМК из смесительного элемента**

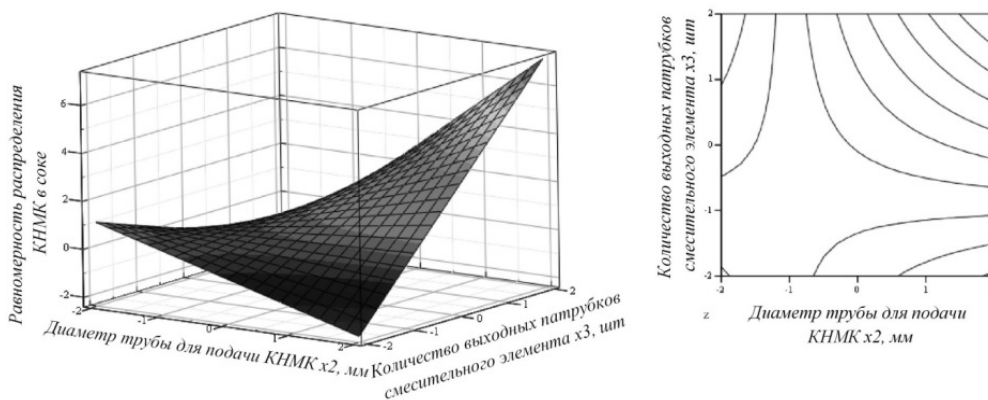


Поверхность отклика  $v=f(x_1, x_5)$



Двумерные сечения  $x_1$ - $x_5$  отклика  $v$

**Рис. 6. Зависимость равномерности распределения КНМК в соке от диаметра трубы основного потока сока и давления потока сока**



Поверхность отклика  $v=f(x_2, x_3)$

Двумерные сечения  $x_2-x_3$  отклика  $v$

**Рис. 7. Зависимость равномерности распределения КНМК в соке от диаметра трубы для подачи КНМК и количества выходных патрубков смесительного элемента**

Проведя анализ представленных зависимостей (рисунок 2-7) можно сделать вывод, что при увеличении основных конструктивно-режимных параметров коэффициент вариации уменьшается, следовательно, равномерность внесения и распределения КНМК в соке повышаются.

В таблице 3 и 4 представлены оптимальные конструктивно-режимные параметры дозатора-смесителя жидкостей кормов.

**Таблица 3 - Значения факторов, при которых достигается максимальная равномерность внесения и распределения КНМК в соке**

Факторы	Уровни фактора	Значения факторов
X <sub>1</sub> (Диаметр трубы основного потока сока, мм)	90 < X <sub>1</sub> < 100	96,055
X <sub>2</sub> (Диаметр трубы для подачи КНМК, мм)	10 < X <sub>2</sub> < 20	10,608
X <sub>3</sub> (Количество выходных патрубков смесительного элемента, шт.)	12 < X <sub>3</sub> < 20	12,739
X <sub>4</sub> (Диаметр выходных отверстий для истечения КНМК из смесительного элемента, мм)	0,5 < X <sub>4</sub> < 1,5	0,944
X <sub>5</sub> (Давление потока сока, кПа)	0,1 < X <sub>5</sub> < 0,3	0,249
X <sub>6</sub> (Давление КНМК в входном патрубке смесительного элемента, кПа)	0,05 < X <sub>6</sub> < 0,2	0,146
X <sub>7</sub> (Скорость истечения сока, м/с)	0,3 < X <sub>7</sub> < 0,55	0,528
X <sub>8</sub> (Скорость истечения КНМК, м/с)	0,2 < X <sub>8</sub> < 0,4	0,356

**Таблица 4 - Оптимальные значения конструктивно-режимных параметров дозатора-смесителя жидкостей**

Факторы	Обозначение фактора	Значения факторов
Диаметр трубы основного потока сока, мм	X <sub>1</sub>	95 - 97
Диаметр трубы для подачи КНМК, мм	X <sub>2</sub>	10 - 11
Количество выходных патрубков смесительного элемента, шт.	X <sub>3</sub>	12 - 13
Диаметр выходных отверстий для истечения КНМК из смесительного элемента, мм	X <sub>4</sub>	0,9 – 1,0
Давление потока сока, кПа	X <sub>5</sub>	0,24 – 0,26
Давление КНМК во входном патрубке смесительного элемента, кПа	X <sub>6</sub>	0,14 – 0,16
Скорость истечения сока, м/с	X <sub>7</sub>	0,52 – 0,54
Скорость истечения КНМК, м/с	X <sub>8</sub>	0,35 – 0,37

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что дозатор-смеситель жидкостей работоспособен и эффективен на всех режимах работы. Конструкция агрегата позволяет производить быструю перенастройку конструктивно-режимных параметров дозатора-смесителя жидкостей.

### Выводы

1. Установлено, что на равномерность распределения КНМК в соке большее влияние оказывают: давление концентрата низкомолекулярных кислот во входном патрубке смесительного элемента и скорость истечения концентрата низкомолекулярных кислот, а на равномерность внесения КНМК в сок - диаметр выходных отверстий для истечения концентрата низкомолекулярных кислот из смесительного элемента, давление концентрата низкомолекулярных кислот во входном патрубке смесительного элемента и скорость истечения концентрата низкомолекулярных кислот.

2. Экспериментальные исследования показали, что при увеличении, таких параметров как, диаметр трубы основного потока сока, диаметр выходных отверстий для истечения КНМК из смесительного элемента, давление потока сока, диаметр трубы для подачи КНМК и количество выходных патрубков смесительного элемента, коэффициент вариации уменьшается, следовательно, равномерность внесения и распределения повышаются.

3. Теоретические и экспериментальные данные рабочего процесса дозатора-смесителя жидкостей позволили определить его оптимальные значения конструктивно-режимных параметров: диаметр трубы основного потока сока 95 – 97 мм; диаметр трубы для подачи КНМК 9 – 11 мм; количество выходных патрубков смесительного элемента 11 - 13 шт; диаметр выходных отверстий для истечения КНМК из смесительного элемента 0,9 – 1,0 мм; давление потока сока 0,24 – 0,26 МПа; давление КНМК во входном патрубке смесительного элемента 0,14 – 0,16 МПа; скорость истечения сока, 0,52 – 0,54 м/с и скорость истечения КНМК 0,35 – 0,37 м/с.

#### Библиография

1. Смеситель жидкостей с бесконтактным управлением: пат. 2005106948 Рос. Федерация. № 2005106948/06 / Харитонов П.Т.; заявл. 10.03.2005; опубл. 20.08.2006, Бюл. № 6. 24с.
2. Смеситель непрерывного действия для жидкостей: пат. 2280499 Рос. Федерация. № 2005100135/15 / Гаранин Л.П., Колосов Г.Г., Куценко Г.В., Агапова Т.В., Приходько В.А., Сибгатуллин Р.Г.; заявл. 11.01.2005; опубл. 27.07.2006, Бюл. № 5. 18с.
3. Смеситель для жидкости: пат. 1591242 Рос. Федерация. № 4479395/26 / Быстрых В.Ф., Заиженный А.М., Четчин Ю.В.; заявл. 01.09.1988; опубл. 20.12.2001, Бюл. № 12. 38с.
4. Инжекторный смеситель: пат. 97105175 Рос. Федерация. № 97105175/25 / Кувшинов О.М., Цыцаркин А.Ф.; заявл. 10.04.1997; опубл. 20.01.1998, Бюл. № 16. 24с.
5. Смеситель разнородных жидкостей: пат. 94004575 Рос. Федерация. № 94004575/06 / Балашов В.Д.; заявл. 08.02.1994; опубл. 20.10.1995, Бюл. № 2. 36с.
6. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. М.: Колос, 1973. 200 с.
7. Сидняев Н.И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных: учеб. пособие для магистров. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2017. 495 с.
8. Колесников А.С., Казаков К.В. Дозатор-смеситель многокомпонентных жидкостей для получения концентрата низкомолекулярных кислот // Новая наука: проблемы и перспективы. Стерлитамак: АМИ, 2017. №1-2. С.140-143.
9. Смеситель жидкостей: пат. 2250799 Рос. Федерация. № 2004105898/15 / Булавин С.А., Казаков К.В., Колесников А.С., Шапошник А.И.; заявл. 27.02.2004; опубл. 27.04.2005, Бюл. № 12. 7 с.
10. Kolesnikov A., Pastukhov A., Vodolazskaya N., Minasyan A. Research in parameters of working process of interfusing in batcher mixer (Исследование параметров рабочего процесса смешивания в дозаторе-смесителе) // Engineering for rural development./ Proceedings, Vol/ 18. : Изд-во /Latvia University of Life Sciences and Technologies/ – Jelgava, 2019– P. 487 – 492. ISSN 1691-5976, DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N033.

#### References

1. Smesitel' zhidkostej s beskontaktnym upravleniem [Contactless controlled liquid mixer] RU 2005106948. № 2005106948/06 / Haritonov P.T. declared on 10.03.2005; published on 20.08.2006, Bull. № 6. 24 p.
2. Smesitel' nepreryvnogo dejstviya dlya zhidkostej [Continuous mixer for liquids] RU 2280499. № 2005100135/15 / Garanin L.P., Kolosov G.G., Kucenko G.V., Agapova T.V., Prihod'ko V.A., Sibgatullin R.G. declared on 11.01.2005; published on 27.07.2006, Bull. № 5. 18 p.
3. Smesitel' dlya zhidkosti [Liquid mixer] RU 1591242. № 4479395/26 / Bystryh V.F., Zaizhenyj A.M., Shechetkin YU.V. declared on 01.09.1988; published on 20.12.2001, Bull. № 12. 38 p.
4. Inzhektornyj smesitel' [Injector mixer] RU 97105175. № 97105175/25 / Kuvshinov O.M., Sycarkin A.F. declared on 10.04.1997; published on 20.01.1998, Bull. № 16. 24 p.
5. Smesitel' raznorodnyh zhidkostej [Mixer of dissimilar liquids] RU 94004575. № 94004575/06 / Balashov V.D. declared on 08.02.1994; published on 20.10.1995, Bull. № 2. 36 p.



6. Vedenyapin G.V. Obshchaya metodika eksperimental'nogo issledovaniya i obrabotki opytnyh dannyh. [General methods of experimental research and processing of experimental data]. М.: Kolos, 1973. 200 p.
7. Sidnyaev N.I. Teoriya planirovaniya eksperimenta i analiz statisticheskikh dannyh [The theory of experiment planning and analysis of statistical data]: study guide for masters. 2nd edition, revised and supplemented М.: Yurait, 2017. 495 p.
8. Kolesnikov A.S., Kazakov K.V. Dozator-smesitel' mnogokomponentnyh zhidkostej dlya polucheniya koncentrata nizkomolekulyarnyh kislot [Batcher mixer multicomponent liquids to obtain a concentrate of low molecular weight acids] // New science: problems and prospects. Sterlitamak: AMI, 2017. №1-2. Pp.140-143.
9. Smesitel' zhidkostej [Liquid mixer] RU 2250799. № 2004105898/15 / Bulavin S.A., Kazakov K.V., Kolesnikov A.S., SHaposhnik A.I. declared on 27.02.2004; published on 27.04.2005, Bull. № 12. 7 p.
10. Kolesnikov A., Pastukhov A., Vodolazskaya N., Minasyan A. Research in parameters of working process of interfusing in batcher mixer (Исследование параметров рабочего процесса смешивания в дозаторе-смесителе) // Engineering for rural development./ Proceedings, Vol/ 18, : Publisher /Latvia University of Life Sciences and Technologies/ – Jelgava, 2019– P. 487 – 492. ISSN 1691-5976, DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N033.

#### **Сведения об авторах**

Колесников Александр Станиславович, кандидат технических наук, доцент кафедры технической механики и конструирования машин ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, тел. 8-908-783-88-92, e-mail: a.c.kolesnikov@mail.ru.

#### **Information about authors**

Kolesnikov Aleksandr Stanislavovich candidate of technical Sciences, associate Professor of Department of technical mechanics and machinery design, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», str. Vavilova 1, Maiskiy, Belgorod region, Russia, 308503, tel. 8-908-783-88-92, e-mail: a.c.kolesnikov@mail.ru.

УДК 621.793.74:621.929.38:63

*И.Н. Кравченко, А.В. Коломейченко, Б.А. Богачев, М.А. Глинский*

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПЛАЗМЕННЫХ МЕТОДОВ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ В ПРОЦЕССАХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

**Аннотация.** В статье предложен комплекс мероприятий по совершенствованию технологических процессов восстановления и упрочнения быстроизнашивающихся деталей перерабатывающего оборудования АПК с научно-обоснованным выбором параметров и оптимизацией режимов плазменного нанесения износостойких покрытий с заданными физико-механическими и эксплуатационными свойствами. Для решения задачи формирования свойств покрытий получены аналитические зависимости технологических режимов плазменного напыления с учетом влияния температуры и скорости частиц. Это позволяет управлять, регулируя в определенных пределах, режимами нанесения покрытий путем выбора значимых факторов, существенно влияющих на их свойства. Разработана математическая модель, устанавливающая зависимость прочности сцепления покрытия с подложкой от параметров расхода и давления плазмообразующего газа, тока дуги, качества подготовленной поверхности, дистанции напыления и размеров частиц напыляемого материала. На основании предложенной модели разработана система расчетов рациональных технологических режимов плазменного напыления с использованием специализированных баз данных. Внедрение ресурсосберегающих технологий восстановления и упрочнения быстроизнашивающихся элементов перерабатывающего оборудования (шнекового конвейера декантерных центрифуг, рабочих органов типа лопатка-скребок, подшипников скольжения и др.), а также деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин плазменными методами нанесения износостойких покрытий позволяет снизить на 30–40% трудоемкость и стоимость их восстановления, увеличить ресурс восстановленных деталей в 2,2–2,8 раза и повысить производительность ремонта оборудования перерабатывающих отраслей АПК более чем в 3 раза.

**Ключевые слова:** плазменное напыление, покрытие, модель оптимизации, метод группового учета, критериальная оценка.

## IMPROVING OF PLASMA COATING METHODS IN THE PROCESSES OF RECONDITIONING AND HARDENING OF AGROINDUSTRIAL PROCESSING EQUIPMENT PARTS

**Abstract.** In the article is proposed a set of arrangements improving the technological processes of reconditioning and hardening of agroindustrial complex processing equipment wear parts with a scientifically-based selection of parameters and optimization of plasma coating modes for wear-resistant coatings with predefined physical, mechanical and performance properties. To solve the problem of forming the coating's properties, the analytical dependences of the plasma spraying technological regimes are obtained, considering the effect of temperature and velocity of particles. This allows to control, adjusting within certain limits, the coating modes by selecting crucial factors that significantly affect coating's properties. A mathematical model has been developed that establishes the dependence of the coating's adhesion strength with the substrate on the flow and pressure parameters of the plasma-forming gas, arc current, quality of the prepared surface, spraying distance and particles size of the sprayed material. Based on the proposed model, a system has been developed for calculating rational technological modes of plasma spraying using specialized databases. Implementation of the resource-saving reconditioning and hardening technologies of the processing equipment wearing parts (conveyors of decanter centrifuges, blade-scraper-type working bodies, sliding bearings, etc.), as well as parts of working bodies of tillage machines using plasma wear-resistant coating methods reduces by 30–40% complexity and cost of their reconditioning, increase the resource of restored parts 2.2–2.8 times and increase the repair productivity of the agricultural sector processing industries equipment more than 3 times.

**Keywords:** plasma spraying, optimization model, coating, group accounting method, criterial evaluation.

**Введение.** Обеспечение устойчивого развития сельского хозяйства России зависит от технического и технологического оснащения предприятий перерабатывающих отраслей агропромышленного комплекса (АПК). При этом работоспособное состояние машин и оборудования определяется уровнем технологий и технических средств реализуемого в их отношении технического сервиса [1–5].

Принимая во внимание, что значительная часть существующего парка перерабатывающих технологических машин в АПК – это импортное оборудование, не имеющее прямых аналогов в России и доля которого продолжает непрерывно расти, особенно остро встает вопрос разработки новых ресурсосберегающих технологий восстановления и упрочнения изношенных деталей, позволяющих избежать замены импортных деталей, узлов и агрегатов. Среди ремонтных технологий одно из основных мест занимают плазменные методы нанесения по-

крытий [6-8], поскольку по техническим и технологическим признакам являются наиболее перспективными. Таким образом, разработка методов нанесения плазменных покрытий для восстановления изношенных деталей технологического оборудования перерабатывающих отраслей АПК является актуальной задачей.

Проектирование технологического процесса плазменного напыления сопряжено рядом сложных наукоемких задач. Так, совершенствование конструкции плазмотрона, математического моделирования и стабильности процесса нанесения покрытий требуют большого количества испытаний. Поэтому дальнейшее повышение эффективности использования плазменных методов связано с разработкой моделей, методов и средств оптимизации технологических процессов и режимов напыления.

**Цель исследований** заключается в разработке математической модели оптимизации контролируемых параметров технологического процесса на основе методов планирования эксперимента. Задача выбора контролируемых параметров состоит в определении значимых факторов, определяющих ход данного технологического процесса с целью последующего управления свойствами полученных покрытий.

**Моделирование и обоснование оптимальных режимов нанесения плазменных покрытий.** Как показывают проведенные исследования [9, 10], изменение скорости частиц в пределах 40–100 м/с незначительно влияют на свойства покрытий. При этом наибольшую зависимость от среднemasсовой температуры напыляемых частиц имеют пористость  $\Pi$  (рисунок 1, *a*), прочность сцепления покрытия с основой  $\sigma_{сц}$  (рисунок 1, *б*) и коэффициент использования материала *КИМ* (рисунок 1, *в*). В свою очередь прочность сцепления также существенно зависит от диаметра частиц порошка и дистанции напыления (рисунок 2).

С повышением температуры наблюдается плавное изменение пористости, прочности сцепления и коэффициента использования материала. Полученные аналитические зависимости устанавливают взаимосвязь технологических режимов напыления с температурой и скоростью частиц, что позволяет управлять свойствами покрытий.

Температура частиц, пористость покрытия и коэффициент использования материала применены в качестве входных параметров при моделировании и поиске оптимальных режимов нанесения покрытий.

Для исследования влияния режимов напыления на свойства покрытий проведены экспериментальные исследования по определению прочности сцепления.

Дифференцированный анализ взаимосвязи каждого фактора и многочисленных свойств покрытий чрезвычайно сложен. В связи с этим сформированы основные группы факторов, определяющие комплекс параметров и свойств:

- первая группа факторов (энергетические) характеризует состояние плазменной струи – ток дуги  $I$  и состав плазмообразующего газа  $C$ ;
- вторая группа факторов – расход плазмообразующего газа  $g_1$  и расход напыляемого материала  $g_2$ ;
- третья группа факторов – конус распыла плазменной струи, который зависит от конструкции плазмотрона и дистанции напыления  $L$ ;
- четвёртая группа – факторы, определяющие взаимодействие напыляемых частиц с обработанной поверхностью через размер частиц  $D$  и степень подготовки поверхности под напыление, характеризуемую величиной  $R_z \cdot n$ .

Прочность сцепления покрытия с основой можно представить в виде некоторой функции управляемых факторов процесса нанесения покрытий:

$$\sigma_{сц} = f(R_z, n, I, g_1, g_2, C, L, D). \quad (1)$$

Для прогнозирования направления градиента при обработке результатов экспериментальных исследований выбрана степенная зависимость, обладающая возможностью варьирования значений коэффициентов и показателей для отдельных интервалов.

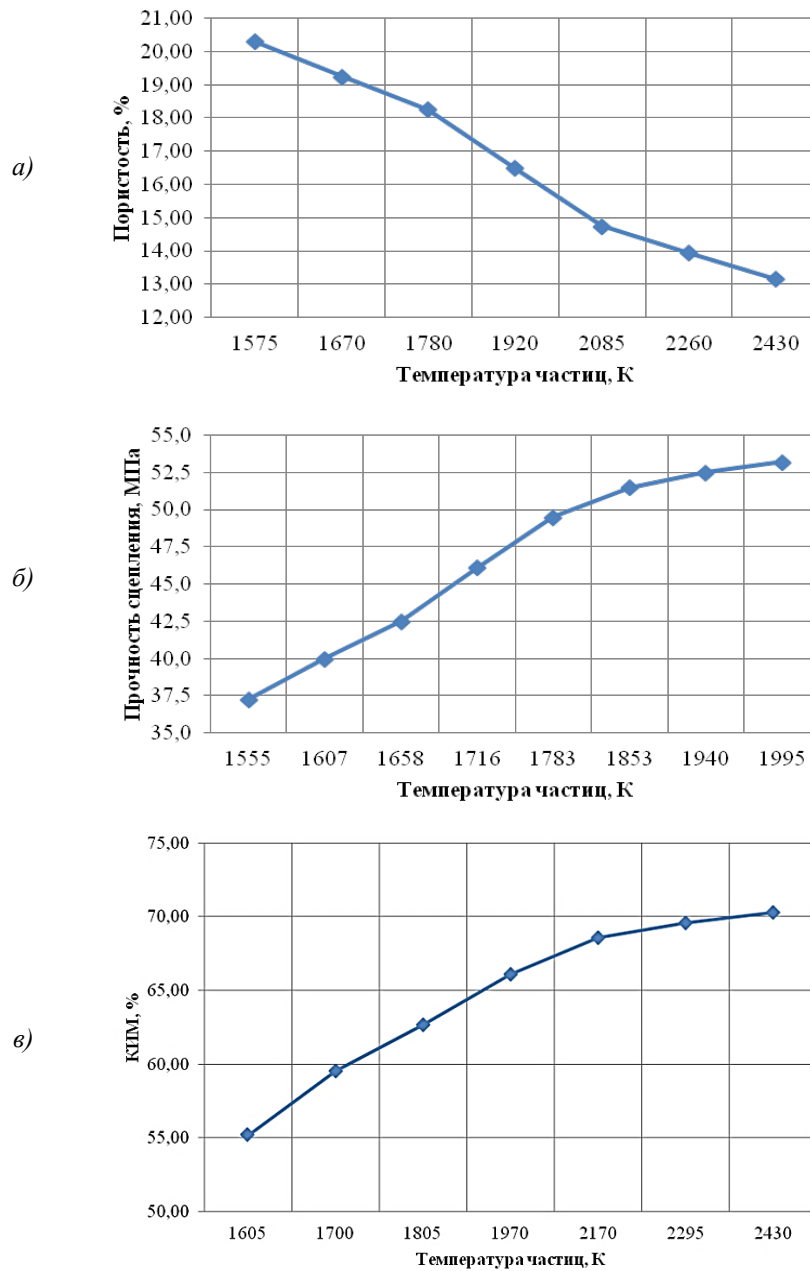


Рис. 1. Зависимости пористости  $\Pi$  (а), прочности сцепления (б) и коэффициента использования материала КИМ (в) от температуры напыляемых частиц

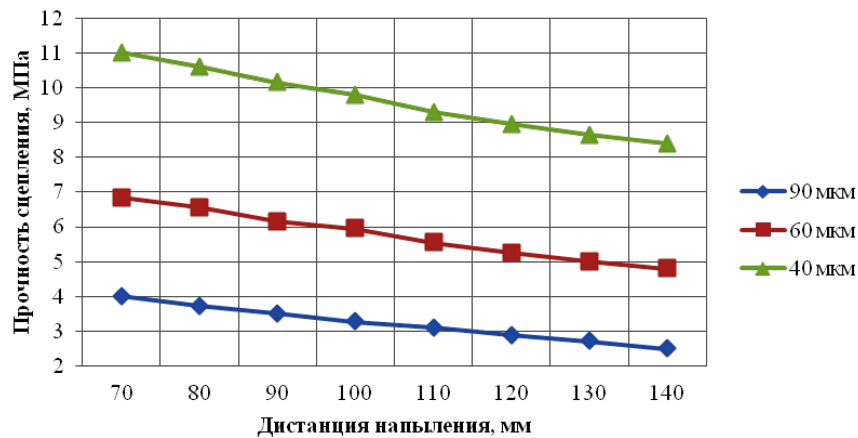


Рис. 2. Зависимости прочности сцепления от дистанции напыления при диаметре частиц 40, 60 и 90 мкм

В выбранную степенную форму введены критерии неполного подобия, полученные из анализа размерностей управляемых факторов процесса:

$$\Pi_1 = I; \Pi_2 = \frac{g_1}{g_2}; \Pi_3 = C; \Pi_4 = L; \Pi_5 = \frac{d}{R_2 n}.$$

Исходя из этого представления функцию прочности сцепления покрытия представим в виде степенной зависимости:

$$\sigma_{сц} = a_o \cdot \Pi_1^{a_1} \cdot \Pi_2^{a_2} \cdot \Pi_3^{a_3} \cdot \Pi_4^{a_4} \cdot \Pi_5^{a_5}, \quad (2)$$

где  $a_o$  – постоянная величина, отражающая влияние неучтенных факторов на процесс;  $a_1$ – $a_5$  – коэффициенты, определяемые экспериментальным путем.

После преобразований выражение (2) можно свести к уравнению, которое совпадает с линейной частью уравнения регрессии при использовании методов факторного планирования. Логарифмическая форма такого уравнения примет следующий вид:

$$\ln \sigma_{сц} = \ln a_o + a_1 \ln \Pi_1 + a_2 \ln \Pi_2 + a_3 \ln \Pi_3 + a_4 \ln \Pi_4 + a_5 \ln \Pi_5. \quad (3)$$

После введения обозначений  $y = \ln \sigma_{сц}$ ;  $x_i = \ln \Pi_i$ ;  $A_o = \ln a_o$ , уравнение (3) приобретает вид:

$$Y = A_o + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4 + a_5 x_5. \quad (4)$$

Выражение (4) представляет собой уравнение регрессии, особенность которого заключается в том, что мы имеем дело не с отдельными факторами, а с обобщёнными. Следовательно, применение традиционных экспериментально-статистических методов [2, 11], основанных на результатах наблюдений, не вызывает затруднений, так как вместо регистрации отдельных факторов регистрируются значения критерия подобия.

Функцию отклика для прочности сцепления определим в виде полинома второго порядка:

$$\hat{Y} = A_o + \sum_{i=1}^5 a_i x_i + \sum_{\substack{ij=1 \\ i \neq j}}^5 a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^5 a_{ij} x_i^2. \quad (5)$$

Тогда функция отклика для прочности сцепления примет вид:

$$\hat{Y} = a_o x_1^{a_1} \cdot x_2^{a_2} \cdot x_3^{a_3} \cdot x_4^{a_4} \cdot x_5^{a_5}. \quad (6)$$

Для построения регрессионной модели использовали симметричный некомпозиционный план Бокса-Бенкена типа неполного факторного эксперимента  $3^n$ , позволяющего обеспечить объективный выбор контролируемых параметров технологического процесса [12].

Для выбранного плана подсчитаны вспомогательные константы  $C_i$  (таблица 1), позволяющие рассчитать коэффициенты математической модели и их дисперсии. В соответствии с данным планом при исследовании зависимости прочности сцепления от режимов плазменного нанесения покрытий выбраны условия проведения опытов (таблица 2).

Таблица 1 – Вспомогательные константы для плана Бокса-Бенкена

$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
0,16667	0,08333	0,06250	0,25000	0,08333
$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$
0,03125	0,40825	0,25000	0,50000	0,33850

По результатам предварительных исследований установлены интервалы и уровни варьирования факторов (таблица 3). Значения натуральных и кодовых уровней факторов представлены в таблице 4.

**Таблица 2 – Области изменения технологических и энергетических параметров процесса плазменного напыления покрытий**

Составляющие комплексов	Факторы процесса плазменного напыления покрытий						
	Ток дуги $I$ , А	Расход плазмообразующего газа $g_1$ , г/с	Расход напыляемого материала $g_2$ , г/с	Состав плазмообразующего газа $C$	Дистанция напыления $L$ , мм	Средний размер напыляемых частиц $D$ , мкм	Шероховатость поверхности $R_z$ , мкм
Область изменения параметров плазменного напыления при определении $\sigma_{сц}$	400–500	0,9–2,0	0,2–0,3	воздух	70–140	30–85	19–51

**Таблица 3 – Уровни факторов и интервалы варьирования**

Уровни факторов	Факторы процесса в единицах измерения						
	Ток дуги, А	Расход		Состав плазмообразующего газа	Дистанция напыления, мм	Средний размер напыляемых частиц, мкм	Шероховатость поверхности, мкм
		плазмообразующего газа, г/с	напыляемого материала (порошка), г/с				
	$I$	$g_1$	$g_2$	$C$	$L$	$D$	$R_z$
Верхний уровень	500	2,0	0,30	воздух	140	85	51
Основной уровень	450	1,45	0,25		105	57,5	35
Нижний уровень	400	0,9	0,20		70	30	19
Интервал варьирования $\Delta X_i$	50	0,55	0,05		35	22,5	16
Кодовые обозначения факторов	$X_1$	$X_2$		$X_3$	$X_4$	$X_5$	

**Таблица 4 – Исследуемые факторы в действительных значениях**

Обозначение фактора	Вид комплекса	Натуральные значения факторов для уровней			Интервал варьирования $\Delta X_i$	Кодовое обозначение факторов
		верхнего	основного	нижнего		
$x_1 = \ln P_1$	$P_1 = I$	6,215	6,103	5,991	0,112	$X_1$
$x_2 = \ln P_2$	$P_2 = \frac{g_1}{g_2}$	2,944	2,022	1,099	0,923	$X_2$
$x_3 = \ln P_3$	$P_3 = C$	2,197	1,648	1,099	0,549	$X_3$
$x_4 = \ln P_4$	$P_4 = L$	4,942	4,595	4,248	0,347	$X_4$
$x_5 = \ln P_5$	$P_5 = \frac{D}{R_z \cdot n}$	4,043	3,827	3,611	0,216	$X_5$

**Результаты исследований и их обсуждение.** Обработку результатов экспериментальных исследований, построение математической модели процесса и проверку ее адекватности проводили в известной последовательности [13, 14] с использованием ПЭВМ.

На основе полученных экспериментальных данных рассчитаны средние значения параметра оптимизации  $\hat{Y}$  и дисперсии параллельных измерений. Проверку гипотезы однородности

ности полученных дисперсий проводили по критерию Кохрена [12], который основан на законе распределения отношения максимальной дисперсии к сумме всех дисперсий.

С учетом значимости коэффициентов регрессии, определенных по критерию Стьюдента на 5 %-м уровне значимости, получена математическая модель в виде уравнения регрессии, адекватно описывающая исследуемый процесс (зависимость прочности сцепления покрытий от технологических режимов напыления):

$$\hat{Y} = 3,936 + 0,101\tilde{X}_1 + 0,215\tilde{X}_2 - 0,126\tilde{X}_4 - 0,288\tilde{X}_5. \quad (7)$$

Переход от кодированных значений к натуральным значениям осуществлялся по следующим зависимостям:

$$\tilde{X}_1 = \frac{x_1 - 6,103}{0,112}; \quad \tilde{X}_2 = \frac{x_2 - 2,022}{0,923}; \quad \tilde{X}_4 = \frac{x_4 - 4,595}{0,347}; \quad \tilde{X}_5 = \frac{x_5 - 3,827}{0,216}.$$

После преобразования уравнение регрессии в натуральном масштабе примет вид:

$$\hat{Y} = 4,731 + 0,901x_1 + 0,232x_2 - 0,363x_4 - 1,333x_5. \quad (8)$$

Анализ полученного уравнения (8) с учетом значимости коэффициентов регрессии и коэффициентов влияния факторов показал, что в выбранном диапазоне изменения независимых параметров факторы  $x_1$  и  $x_5$  оказывают наибольшее влияние на показатель параметра оптимизации по сравнению с факторами  $x_2$  и  $x_4$ .

При контроле необходимо значительное внимание уделять фактору  $x_1$ , так как он более чувствителен к изменению процесса. В то же время состав плазмообразующего газа (фактор  $x_3$ ) в выбранном диапазоне изменения существенного влияния на параметр оптимизации не оказывает.

Следовательно, значения факторов  $x_4$  и  $x_5$  следует уменьшать (коэффициенты регрессии отрицательные), а значения факторов  $x_1$  и  $x_2$  – увеличивать (коэффициенты регрессии положительные).

После преобразования уравнения (8) и подстановки натуральных значений факторов получим

$$\sigma_{сц} = 113 \cdot I^{0,901} \cdot \left(\frac{g_1}{g_2}\right)^{0,232} \cdot L^{-0,363} \cdot \left(\frac{D}{R_z n}\right)^{-1,333}. \quad (9)$$

Графическая интерпретация полученной зависимости прочности сцепления от различных параметров представлена на рисунке 3.

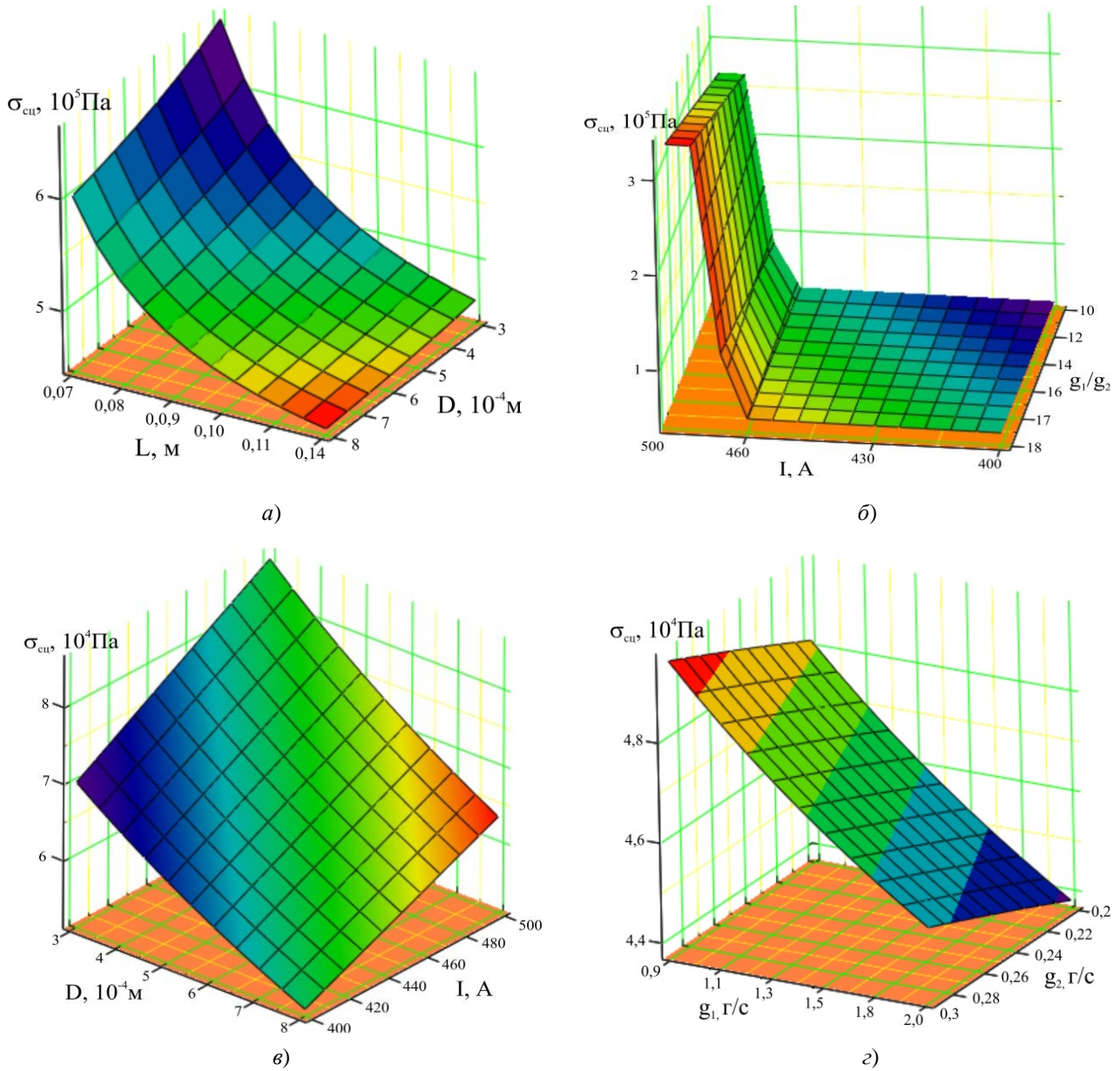
Результаты анализа экспериментальных зависимостей показывают, что наибольшее влияние на параметр оптимизации  $\sigma_{сц}$  в выбранных интервалах варьирования оказывает сила тока дуги  $I$ . Качество подготовки поверхности под напыление  $R_z n$ , размеры частиц напыляемого материала  $D$  и дистанция напыления  $L$  являются также весомыми факторами.

Менее значимыми факторами в процессе плазменного напыления оказались расход  $g_2$  материала и расход  $g_1$  плазмообразующего газа. По-видимому, это вызвано тем, что в принятом диапазоне варьирования  $x_2$  происходит достаточно полная защита при остывании напыленного порошка от окисления. Состав плазмообразующего газа в исследованной области изменения фактора  $x_3$  оказался также незначительным для данного параметра оптимизации. Поскольку прочность сцепления покрытия обусловлена в основном механическим зацеплением напыляемых частиц с микронеровностями поверхности, то с ростом высоты пиков и их числа наблюдается повышение  $\sigma_{сц}$ .

Необходимо отметить, что степень заполнения микронеровностей зависит от скорости соударения частиц с основой (подложкой) и её состояния в момент соударения. При одинаковых прочих условиях мелкие частицы лучше проплавлены, что даёт существенное увеличение прочности сцепления.

С ростом дистанции напыления в исследованном диапазоне происходит снижение прочности сцепления (рисунок 3, а), что является следствием падения скорости частиц по длине струи, приводящим к падению ударного давления. Уменьшение дистанции напыления в рассматриваемом диапазоне приводит к меньшей окисляемости частиц напыляемого мате-

риала, а также к более медленному их остыванию в связи с сокращением времени полета, что, в свою очередь, позволяет получить качественные менее напряженные покрытия и повысить их прочность сцепления с основой.



**Рис. 3. Зависимости прочности сцепления  $\sigma_{сц}$  от различных параметров:**  
**а)** дистанции напыления  $L$  и диаметра частиц  $D$ ; **б)** тока дуги  $I$  и соотношения  $(g_1/g_2)$  массовых расходов плазмообразующего газа и порошка; **в)** диаметра частиц  $D$  и тока дуги  $I$ ; **з)** расхода плазмообразующего газа  $g_1$  и порошка  $g_2$

Степень проплавления частиц зависит от состояния плазменной струи (ток дуги и расход плазмообразующего газа). Кроме того, с увеличением энтальпии плазменной струи наблюдается увеличение прочности сцепления (рисунок 3, б).

Размер частиц оказывает более сложное влияние на свойства получаемых покрытий (рисунок 3, в). Прочность сцепления резко снижается с увеличением среднего размера напыляемых частиц, что обусловлено ухудшением прогрева частиц с большим диаметром при поддержании других параметров процесса плазменного напыления на неизменном уровне. Уменьшение размера частиц в выбранном диапазоне ведет к повышению прочности сцепления. Следовательно, применение порошков мелких фракций позволит вести процесс напыле-



ния на более точном режиме и наряду с большей однородностью покрытия по структуре добиться снижения разброса величины прочности сцепления.

Предложенная математическая модель (9) позволяет объяснить наблюдаемый при испытаниях разброс значений прочности сцепления покрытий  $\sigma_{сц}$ , являющийся следствием использования для напыления порошков фракций от 10 до 100 мкм.

Необходимо также заметить, что на величину прочности сцепления оказывает влияние и расход напыляемого материала. Результаты экспериментальных исследований показали, что при минимальном расходе порошка получается более прочное покрытие (рисунок 3, 2). С ростом концентрации частиц в плазменной струе процесс теплообмена становится менее интенсивным, и средняя температура напыляемых частиц падает, что приводит к снижению прочности сцепления и качества покрытия в целом.

Для поддержания величины прочности сцепления на заданном уровне необходимо одновременно с увеличением расхода напыляемого материала  $g_2$  увеличивать ток дуги плазмотрона  $I$  или расход плазмообразующего газа  $g_1$ . Следовательно, эти параметры будут являться изменяемыми в заданном интервале прочности сцепления. Для нахождения оптимального соотношения указанных параметров и определения их зависимости применен метод группового учета аргументов [1, 2].

При проведении эксперимента параметры силы тока использовались как постоянные величины. После обработки результатов исследований получена система регрессионных уравнений, адекватность которых подтверждена статистической проверкой:

$$\begin{cases} Y = X_1; \\ X_1 = 2 \cdot (g_1 - 0,77) / 1,36 - 1; \\ X_2 = 2 \cdot (L - 52,28) / 99,08 - 1; \\ Y = 2 \cdot (g_2 - 0,13) / 0,27 - 1. \end{cases} \quad (10)$$

Результаты анализа системы регрессионных уравнений (10) показывают, что параметр расхода плазмообразующего газа коррелирует только с параметром расхода напыляемого порошка, взаимосвязь которых описывается следующим уравнением:

$$g_1 = \frac{1,36(g_2 - 0,13) + 0,2079}{0,27}. \quad (11)$$

Тогда математическую модель оптимизации (9) с учетом выражения (11) правомерно представить в виде:

$$\sigma_{сц} = 113 \cdot I^{0,901} \cdot \left( \frac{1,36(g_2 - 0,13) + 0,2079}{0,27 g_2} \right)^{0,232} \cdot L^{-0,363} \cdot \left( \frac{D}{R_z n} \right)^{-1,333}. \quad (12)$$

Анализ полученной модели (12) показывает, что при поиске наилучшего решения прочность сцепления  $\sigma_{сц}$  будет максимизироваться, а  $g_2$  – минимизироваться при постоянных значениях остальных параметров. Для нахождения оптимальных решений предложена интеллектуальная система автоматизированного проектирования (САЕ-система) технологических процессов плазменного напыления покрытий [15-17]. Реализуемый в рамках созданной системы программный комплекс позволяет проводить вычислительные эксперименты для моделирования получаемых покрытий различного функционального назначения, а также определять рациональные технологические режимы их нанесения с использованием разработанных специализированных баз данных.

Полученные результаты нашли широкое применение в составе комплекса мероприятий по восстановлению и упрочнению быстроизнашивающихся элементов перерабатывающего оборудования (шнекового конвейера декантерных центрифуг, рабочих органов типа лопатка-скребок», подшипников скольжения и др.) и деталей рабочих органов почвообрабатывающей и дорожно-строительной техники (зубьев и коронок ковшей экскаваторов, ножей бульдозеров, автогрейдеров и т.д.) плазменными методами нанесения износостойких покрытий. При этом научно-обоснованный выбор и оптимизация технологических параметров

предложенного способа позволяют управлять его режимами путем выбора наиболее значимых показателей.

**Выводы.** На основании представленных выше соображений можно сделать следующие выводы.

1. Обоснованы и определены рациональные параметры режимов нанесения плазменных покрытий порошковыми твердыми сплавами в различных защитных газовых средах. Установлены рациональные режимы плазменного нанесения износостойких покрытий, которые позволяют проектировать конкретный технологический процесс восстановления и упрочнения изношенных деталей.

2. Получена математическая модель оптимизации, позволяющая определять значения критерия оптимизации и обеспечивать наибольшую прочность сцепления покрытий  $\sigma_{сц}=62-67$  МПа, твердость 58-62 HRC при минимальном расходе материалов.

3. Внедрение ресурсосберегающих плазменных технологий восстановления и упрочнения изнашиваемых деталей позволяет снизить трудовые, материальные и энергетические затраты, а также повысить производительность труда и эффективность ремонта машин и технологического оборудования.

### Библиография

1. Кравченко И.Н. Методология обеспечения долговечности рабочих элементов строительных машин и технологического оборудования при возведении объектов специального назначения: Дис. ... докт. техн. наук. Балашиха, 2008. 353 с.
2. Инженерные методы обеспечения долговечности и надежности машин и технологического оборудования в промышленности: монография / И.Н. Кравченко, А.Ф. Пузряков, М.Н. Ерофеев [и др.]; под ред. И.Н. Кравченко. М.: Эко-Пресс, 2011. 424 с.
3. Пастухов А.Г., Тимашов Е.П. Экспертная оценка работоспособности сельскохозяйственной техники. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2011. № 4. С. 25-27.
4. Технологические процессы в техническом сервисе машин и оборудования / И.Н. Кравченко, А.Ф. Пузряков, В.М. Корнеев, А.Г. Пастухов, А.В. Коломейченко [и др.]. М.: ИНФРА-М, 2017. 346 с.
5. Pastukhov A., Sharaya O., Vodolazskaya N., Minasyan A. Hardening of parts of agricultural machinery with laser micro alloying // Engineering for rural development. Proceedings, Vol. 17, Latvia University of Life Sciences and Technologies. Jelgava, 2018. P. 1360-1365.
6. Кравченко И.Н., Пузряков А.Ф., Бобряшов Е.М., Пузряков А.А. Плазменные методы упрочнения и восстановления рабочих органов дорожно-строительных и почвообрабатывающих машин: монография. М.: Эко-Пресс, 2013. 328 с.
7. Кравченко И.Н., Глинский М.А., Ерофеев М.Н. Перспективные направления исследований и использования плазменных технологий в машиностроении // Трибология – машиностроению: Труды XII Международной научно-технической конференции, посвященной 80-летию ИМАШ РАН. М.: Институт компьютерных технологий, 2018. С. 253-256.
8. Кравченко И.Н., Коломейченко А.А., Глинский М.А. Разработка технологии восстановления пальцев пневматических сеялок John Deere методом плазменного напыления покрытий повышенной толщины // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2018. № 2(18). С. 28-37.
9. Кравченко И.Н., Гладков В.Ю. Оптимизация параметров технологического процесса восстановления деталей плазменным напылением покрытий // Строительные и дорожные машины. 2005. №1. С. 31-35.
10. Modification of plasma-sprayed TiO<sub>2</sub> coatings characteristics via controlling the In-flight temperature and velocity of the powder particles / J. Cizek, I. Dlouhy, F. Siska [et al.] // Journal of Thermal Spray Technology. 2014. Volume 23. Issue 8. P. 1339-1349.
11. Исследование свойств плазменных покрытий на основе применения регрессионного анализа / А.Ф. Пузряков, И.Н. Кравченко, А.В. Коломейченко [и др.] // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2015. № 10. С. 28-32.
12. Методика выбора и оптимизации контролируемых параметров технологических процессов. М.: Изд-во стандартов, 1978. 63 с.
13. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.А. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 280 с.
14. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение, 1981. 184 с.
15. Глинский М.А., Кравченко И.Н., Пузряков А.Ф. Разработка САЕ-системы проектирования технологических процессов упрочнения и восстановления деталей машин с использованием плазменных методов // Технология машиностроения. 2012. № 2. С. 55-59.

16. Информационные системы управления качеством в автоматизированных и автоматических производствах / А.Л. Галиновский, С.В. Бочкарев, И.Н. Кравченко [и др.]; под ред. А.Л. Галиновского. М.: ИНФРА-М, 2018. 284 с.

17. Глинский М.А. Разработка метода нанесения плазменных покрытий для восстановления деталей перерабатывающего оборудования АПК: Дис. ... канд. техн. наук. М., 2018. 239 с.

### References

1. Kravchenko I.N. Metodologiya obespecheniya dolgovechnosti rabochikh elementov stroitel'nykh mashin i tekhnologicheskogo oborudovaniya pri vozvedenii ob"yektov spetsial'nogo naznacheniya [Methodology of ensuring the durability of the working elements of construction machines and technological equipment during the construction of special-purpose objects]. DSc (Eng) thesis. Balashikha, 2008. 353 p.

2. Inzhenernyye metody obespecheniya dolgovechnosti i nadezhnosti mashin i tekhnologicheskogo oborudovaniya v promyshlennosti: Monografiya [Engineering methods for ensuring the durability and reliability of machines and technological equipment in industry]. / Kravchenko I.N., Puzryakov A.F., Erofeev M.N. [et al.]. Ed.by. I.N. Kravchenko. M.: Eko-Press, 2011. 424 p.

3. Pastukhov A. G., Timashov E.P. Ekspertnaia otsenka rabotosposobnosti selskokhoziaistvennoi tekhniki [Expert assessment of efficiency of agricultural machinery]. Mechanization and electrification of agriculture. 2011. No. 4. Pp. 25-27.

4. Tekhnologicheskiye protsessy v tekhnicheskoy servise mashin i oborudovaniya [Technological processes in the technical service of machines and equipment]. / Kravchenko I.N., Puzryakov A.F., Korneev V.M., Pastukhov A.G., Kolomeichenko A.V. [et al.]. M.: INFRA-M, 2017. 346 p.

5. Pastukhov A., Sharaya O., Vodolazskaya N., Minasyan A. Hardening of parts of agricultural machinery with laser micro alloying // Engineering for rural development. Proceedings, Vol. 17, Latvia University of Life Sciences and Technologies. Jelgava, 2018, P. 1360–1365.

6. Kravchenko I.N., Puzryakov A.F., Bobryashov E.M., Puzryakov A.A. Plazmennyye metody uprochneniya i vosstanovleniya rabochikh organov dorozhno-stroitel'nykh i pochvoobrabatyvayushchikh mashin: Monografiya [Plasma methods of strengthening and reconditioning of the working bodies of road-building and tillage machines]. M.: Eko-Press, 2013. 328 p.

7. Kravchenko I.N., Glinskiy M.A., Erofeev M.N. Perspektivnyye napravleniya issledovaniy i ispol'zovaniya plazmennyykh tekhnologiy v mashinostroyenii [Prospective areas of research and the use of plasma technology in mechanical engineering] // Tribology - Mechanical Engineering: Proceedings of the XII International Scientific and Technical Conference dedicated to the 80th anniversary of the IMASH RAS. M.: Institute of Computer Technologies, 2018. Pp. 253-256.

8. Kravchenko I.N., Kolomeichenko A.A., Glinsky M.A. Razrabotka tekhnologii vosstanovleniya pal'tsev pnevmaticheskikh seylok John Deere metodom plazmennogo napyleniya pokrytiy povyshennoy tolshchiny [Development of pneumatical seeding-machine pins recondition technology by high thickness coatings plasma spraying with residual stresses regulation]. Innovations in the agro-industrial complex: problems and prospects, 2018, No 2 (18). Pp. 28-37.

9. Kravchenko I.N., Gladkov V.Yu. Optimizatsiya parametrov tekhnologicheskogo protsessa vosstanovleniya detaley plazmennym napyleniyem pokrytiy [Optimization of the technological process parameters of parts restoration by plasma spraying of coatings]. Construction and road machines, 2005, No 1. Pp. 31–35.

10. Cizek J., Dlouhy I., Siska F. [et al.]. Modification of plasma-sprayed TiO<sub>2</sub> coatings characteristics via controlling the In-flight temperature and velocity of the powder particles. Journal of Thermal Spray Technology, 2014, Vol. 23, Issue 8. Pp. 1339-1349.

11. Issledovaniye svoystv plazmennyykh pokrytiy na osnove primeneniya regressionnogo analiza [Study of the properties of plasma coatings based on the regression analysis use]. / Puzryakov A.F., Kravchenko I.N., Kolomeichenko A.V. [et al.]. // Repairs. Recovery. Modernization., 2015, No 10. Pp. 28-32.

12. Metodika vybora i optimizatsii kontroliruyemykh parametrov tekhnologicheskikh protsessov [Methods of selection and optimization of controlled parameters of technological processes]. M.: Standards Publishing, 1978, 63 p.

13. Adler Yu.P., Markova EV, Granovskiy Yu.A. Planirovaniye eksperimenta pri poiske optimal'nykh usloviy [Planning an experiment while searching for optimal conditions]. M.: Science, 1976, 280 p.

14. Spiridonov A.A. Planirovaniye eksperimenta pri issledovanii tekhnologicheskikh protsessov [Planning an experiment in the study of technological processes.]. M.: Engineering, 1981, 184 p.

15. Glinskiy M.A., Kravchenko I.N., Puzryakov A.F. Razrabotka SAE-sistemy proyektirovaniya tekhnologicheskikh protsessov uprochneniya i vosstanovleniya detaley mashin s ispol'zovaniyem plazmennyykh metodov [Development of the CAE-system for the design of technological processes of machine parts hardening and reconditioning using plasma methods]. // Engineering technology, 2012, No 2. Pp. 55-59.

16. Informatsionnyye sistemy upravleniya kachestvom v avtomatizirovannykh i avtomaticheskikh proizvodstvakh [Information systems of quality management in automated and automatic production]. / Galinovskiy A.L., Bochkarev S.V., Kravchenko I.N. [et al.]. Ed.by A.L. Galinovskiy. M.: INFRA-M, 2018, 284 p.

17. Glinskiy M.A. Razrabotka metoda naneseniya plazmennyykh pokrytiy dlya vosstanovleniya detaley pererabatyvayushchego oborudovaniya APK [Development of a method of plasma coating for restoring agroindustrial complex processing equipment's parts reconditioning]. PhD (Eng) thesis. Moscow, 2018, 239 p.

### **Сведения об авторах**

Кравченко Игорь Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры технического сервиса машин и оборудования, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», ул. Тимирязевская, д. 49, г. Москва, Россия, 127550, тел.: +7 (985) 994-02-20, e-mail: [kravchenko-in71@yandex.ru](mailto:kravchenko-in71@yandex.ru).

Коломейченко Александр Викторович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Надежность и ремонт машин», ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», ул. Генерала Родина, д. 69, г. Орел, Россия, 302019, тел.: +7 (910) 300-02-32, e-mail: [kolom\\_sasha@inbox.ru](mailto:kolom_sasha@inbox.ru).

Богачев Борис Александрович, кандидат технических наук, профессор кафедры технического сервиса машин и оборудования, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», ул. Тимирязевская, д. 49, г. Москва, Россия, 127550, тел.: +7 (916) 619-56-04, e-mail: [bogachev@mail.ru](mailto:bogachev@mail.ru)

Глинский Максим Александрович, аспирант кафедры технического сервиса машин и оборудования, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», ул. Тимирязевская, д. 49, г. Москва, Россия, 127550, тел.: +7 (915) 245-62-91, e-mail: [maximagl@yandex.ru](mailto:maximagl@yandex.ru).

### **Information about authors**

Kravchenko Igor Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor of the department of technical service of machinery and equipment, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy», Timiryazevskaya Str., 49, 127550, Moscow, Russian Federation, tel. +7 (985) 994-02-20, e-mail: [kravchenko-in71@yandex.ru](mailto:kravchenko-in71@yandex.ru).

Kolomeichenko Alexander Viktorovich, doctor of technical sciences, professor, head of the department of reliability and repair of Machines, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin», Generala Rodina Str., 69, 302019, Orel, Russian Federation, tel. +7 (910) 300-02-32, e-mail: [kolom\\_sasha@inbox.ru](mailto:kolom_sasha@inbox.ru).

Bogachev Boris Alexandrovich, candidate of technical sciences, professor of the department of technical service of machinery and equipment, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy», Timiryazevskaya Str., 49, 127550, Moscow, Russian Federation, tel. +7 (916) 619-56-04, e-mail: [bogachev@mail.ru](mailto:bogachev@mail.ru).

Glinsky Maxim Alexandrovich, postgraduate student of the department of technical service of machinery and equipment, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy», Timiryazevskaya Str., 49, 127550, Moscow, Russian Federation, tel. +7 (915) 245-62-91, e-mail: [maximagl@yandex.ru](mailto:maximagl@yandex.ru).

УДК 621.24

*О.А. Леонов, У.Ю. Антонова*

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СЕЛЕКТИВНОЙ СБОРКИ СОЕДИНЕНИЯ «ЦИЛИНДР – ПОРШЕНЬ» ДЛЯ УСЛОВИЙ МЕЛКОСЕРИЙНОГО РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Аннотация.** Известно, что технологические процессы в единичном и мелкосерийном машиностроительном производстве значительно отличаются от массового по качеству. Особенно это касается ремонтного производства, где формируемая надежность и долговечность объекта ремонта в разы меньше из-за изношенности, коробления и старения базовых элементов агрегатов. Гарантированный период безотказной работы соединений формируется созданием износостойких поверхностей и заданной точностью деталей. Повышение долговечности соединений при ремонте техники является важнейшим фактором обеспечения качества ремонта. Селективная сборка цилиндро-поршневой группы, применяемая при массовом производстве, может быть заменена при ремонте машин на более точный, метод обеспечения групповой взаимозаменяемости, когда пары трения будут отсортированы в 2 раза точнее с помощью универсальных средств измерений без создания новых дорогих контрольных и сортировочных автоматов. Рассчитано, что при использовании десяти групп селекции вместо пяти для двигателей ЗМЗ, появляется дополнительный запас на износ, равный 12 мкм, что ведет не только к повышению долговечности соединений, но и положительно отражается на таких параметрах, как расход масла на угар, компрессия, мощность, шумность работы и т.д. Применение технологии двукратного уменьшения группового допуска также позволит значительно уменьшить или полностью исключить незавершенное производство, в связи с тем, что при таком подходе становится возможным применение технологии межгрупповой взаимозаменяемости когда рационально соединять валы с отверстиями из соседних групп. Несмотря на ряд трудностей, привносимых в производство групповой сортировкой, она оправдывает себя, так как небольшие затраты на контроль окупаются высоким качеством соединений.

**Ключевые слова:** качество, соединение, взаимозаменяемость, групповой допуск, долговечность.

### PERFECTION OF THE SELECTIVE ASSEMBLY OF THE CONNECTION «CYLINDER – PISTON» FOR THE CONDITIONS OF MINOR-SERIES REPAIR MANUFACTURE

**Abstract.** It is known that technological processes in single and small-scale machine-building production are significantly different from the mass in quality. Especially it concerns repair production, where the formed reliability and durability of the object of repair is several times less due to deterioration, warping and aging of the basic elements of the units. The guaranteed period of trouble-free operation of the joints is formed by the creation of wear-resistant surfaces and a given accuracy of parts. Improving the durability of the compounds in the repair of machinery is an essential factor in ensuring the quality of repairs. Selective assembly of a cylinder-piston group used in mass production can be replaced with a more accurate machine repair, a method of ensuring group interchangeability, when friction pairs are sorted twice as accurate using universal measuring instruments without creating new expensive control and sorting machines. It is calculated that when using ten selection groups instead of five for ZMZ engines, there is an additional margin for wear equal to 12 microns, which leads not only to an increase in the durability of joints, but also positively affects such parameters as oil consumption for waste, compression, power, noisy work, etc. The use of technology of double reduction of group tolerance will also significantly reduce or completely eliminate work in progress, due to the fact that with this approach it becomes possible to use the technology of intergroup interchangeability when it is rational to connect the shafts with holes from neighboring groups. Despite a number of difficulties introduced in the production of group sorting, it justifies itself, since small costs for control pay off with high quality connections.

**Keywords:** quality, connection, interchangeability, group tolerance, durability.

**Введение.** Повышение долговечности соединений при ремонте техники является важнейшим фактором обеспечения качества ремонта [1, 2], сохранения параметров производственной надежности ответственных соединений в заданных пределах [3, 4], и это влияет не только на снижение времени простоев и повышение производительности агрегатов, но и на экономию при их эксплуатации [5]. Гарантированный период безотказной работы соединений формируется созданием износостойких поверхностей и заданной точностью деталей. Влияние параметров точности на долговечность соединений исследовано в современных научных трудах [6, 7]. Применение расчетных методов при определении допуска посадки, назначении зазоров или натягов приводит к значительному увеличению срока службы соединений [8].

Расчет допусков и посадок возможен только при наличии теоретических и практических сведений о нагрузке, частоте вращения, материале деталей, смазки и других параметров функционирования [9, 10]. Особое внимание следует уделить выбору стандартных посадок в результате расчета предельных зазоров [11, 12]. В России не так много высокоточного металлорежущего финишного оборудования, даже при массовом производстве на заводе – изготовителе. При отсутствии технологической возможности обеспечить заданную точность используют методы неполной взаимозаменяемости, одним из которых является групповая взаимозаменяемость или, как ее еще называют – селективная сборка.

**Объекты исследований.** Селективная сборка применяется, во-первых, когда требуется повысить точность соединений без уменьшения допусков на обработку соединяемых деталей, и, во-вторых, когда требуется расширить допуски на обработку до экономически целесообразных при сохранении заданной точности [13].

Сущность метода групповой взаимозаменяемости заключается в том, что детали соединения, изготовленные в пределах технологически возможного допуска, сортируют перед сборкой на несколько групп [14], а затем производят сборку деталей по группам. В результате такой групповой сборки получаются соединения с меньшим колебанием зазора или натяга, т. е. более точные, и, следовательно, обеспечивается заданная долговечность.

Метод групповой взаимозаменяемости широко распространен в ремонтных предприятиях АПК. Это объясняется тем фактом, что на ремонтное производство уже поступают детали и запасные части с завода – изготовителя, где уже были использованы методы селективной сборки для конкретных соединений, где требуется высокая точность. Для предприятий, ремонтирующих двигатели – это поршни, гильзы цилиндров или блоки цилиндров, поршневые пальцы и другие детали.

Чем больше групп селекции, тем точнее требуются средства измерений для контроля сортировки деталей на группы. Их следует выбирать из заданной номенклатуры и по специальным методикам [15]. При неправильном выборе средств измерений растет количество потерь от неправильного забракования и принятия деталей [16]. Это отражается на внутренних потерях и общих затратах на качество. Поэтому метрологическое обеспечение качества сборки – один из критериев ограничения получения заданной точности сборки.

**Результаты исследований.** Пример селективной сборки соединения «поршень – гильза цилиндров» двигателей ЗМЗ рассмотрен на рисунке 1.

Из рисунка 1 видно, что величина наименьшего зазора в сопряжении составляет  $S_{ep\ min}=0,024$  мм и служит для компенсации возможных тепловых деформаций поршня и гильзы цилиндров, которые изготовлены из разных материалов. Если величина этого зазора станет меньше, то вероятно заклинивание поршня при выходе на рабочую температуру. Величина наибольшего зазора составляет  $S_{ep\ max}=0,048$  мм и должна быть как можно меньше, теоретически вплоть до  $S_{ep\ min}=0,024$  мм, что обеспечит наибольшую долговечность соединения. При использовании пяти групп селекции допуски на изготовление гильзы и поршня равны  $T_d=T_D=0,06$  мм (таблица 1).

Если не применять селективную сборку, то наибольший начальный зазор в посадке будет равен:

$$S_{max}=S_{min}+T_d+T_D, \quad (1)$$

тогда после подстановки значений получим:

$$S_{max}=0,024+0,06+0,06=0,144 \text{ мм.}$$

Дополнительный запас на износ, который обеспечивается методом разбиения на пять групп при использовании селективной сборки, равен:

$$I_0=S_{max}-S_{ep\ max}, \quad (2)$$

откуда получаем:

$$I_0=0,144-0,048=0,096 \text{ мм.}$$

Величина группового допуска определяется путем деления технологического допуска на количество групп селекции, поэтому для нашего случая получаем:

$$T_{ep\ d}=T_{ep\ D}=0,06/5=0,012 \text{ мм.}$$

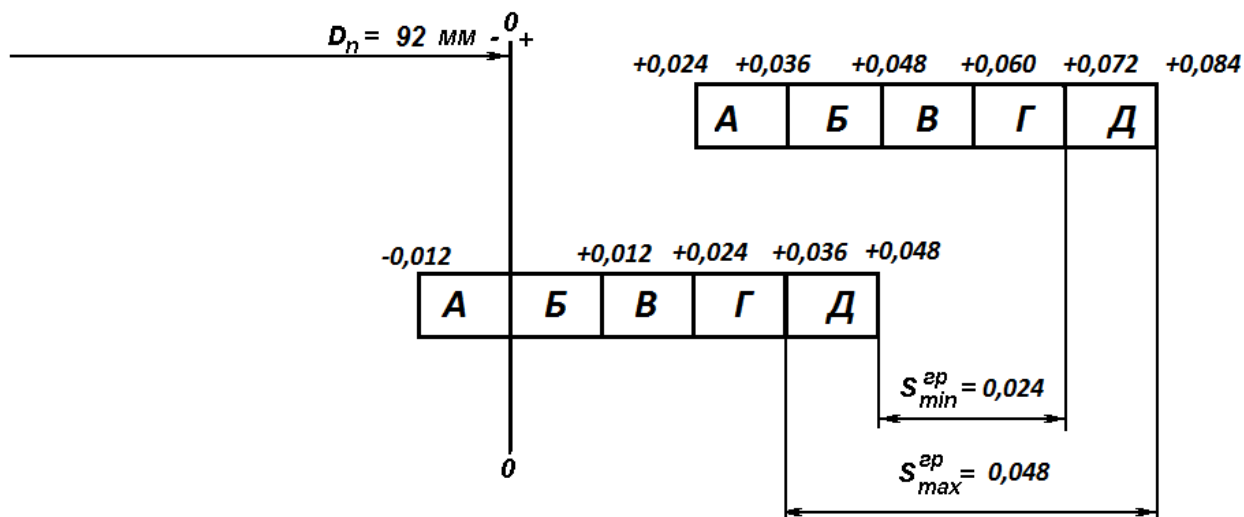


Рис. 1. Селективная сборка соединений «гильза цилиндра – поршень» двигателей ЗМЗ по пяти группам

Таблица 1 – Сборка гильз цилиндров с поршнями двигателей ЗМЗ по 5 группам

Обозначение группы	Диаметр отверстия гильзы цилиндров, мм	Диаметр поршня, мм	Предельные групповые зазоры, мкм
А	$92^{+0,036}_{+0,024}$	$92_{-0,012}$	$S_{gp\ min}=24$ $S_{gp\ max}=48$
Б	$92^{+0,048}_{+0,036}$	$92^{+0,012}$	
В	$92^{+0,060}_{+0,048}$	$92^{+0,024}_{+0,012}$	
Г	$92^{+0,072}_{+0,060}$	$92^{+0,036}_{+0,024}$	
Д	$92^{+0,084}_{+0,072}$	$92^{+0,048}_{+0,036}$	

Данная величина в 12 мкм с метрологической точки зрения является контролепригодной с использованием универсальных средств измерений, у которых погрешности измерений обеспечиваются вплоть до 1 мкм. С позиции того, что средство измерений должно иметь погрешность в 3...10 раз точнее, чем контролируемая величина допуска, можно уменьшить групповой допуск в два раза, до 6 мкм, тогда потребуются средства измерений с погрешностью 2...0,6 мкм, что вполне вписывается в номенклатуру высокоточных универсальных средств измерений, использование которых при единичном и мелкосерийном производстве экономически целесообразно (рисунок 2) [17]. Для поршня это - рычажная скоба, микрокалор, оптиметр. Для гильзы это – нутромер с головкой повышенной точности с ценой деления 1 и 0,5 мкм.

При использовании 10 групп селекции групповые допуски будут равны (таблица 2):

$$T'_{gp\ d}=T'_{gp\ D}=0,06/10=0,006\text{ мм,}$$

$$S'_{gp\ max}=S'_{gp\ min}+T'_{gp\ d}+T'_{gp\ D}=0,024+0,006+0,06=0,036\text{ мм.}$$

Тогда дополнительный запас на износ:

$$И_{\delta}=S_{gp\ max}-S'_{gp\ max}=0,048-0,036=0,012\text{ мм.}$$

С точки зрения типа производства, то при массовом производстве, которое реализовано на заводе–изготовителе, такое разбиение нецелесообразно, так как требуются высокоточные контрольные автоматы для сортировки деталей на группы. Для условий мелкосерийного производства, где не требуется высокая производительность контроля, возможна не только селективная сборка, но и индивидуальный подбор пар трения.

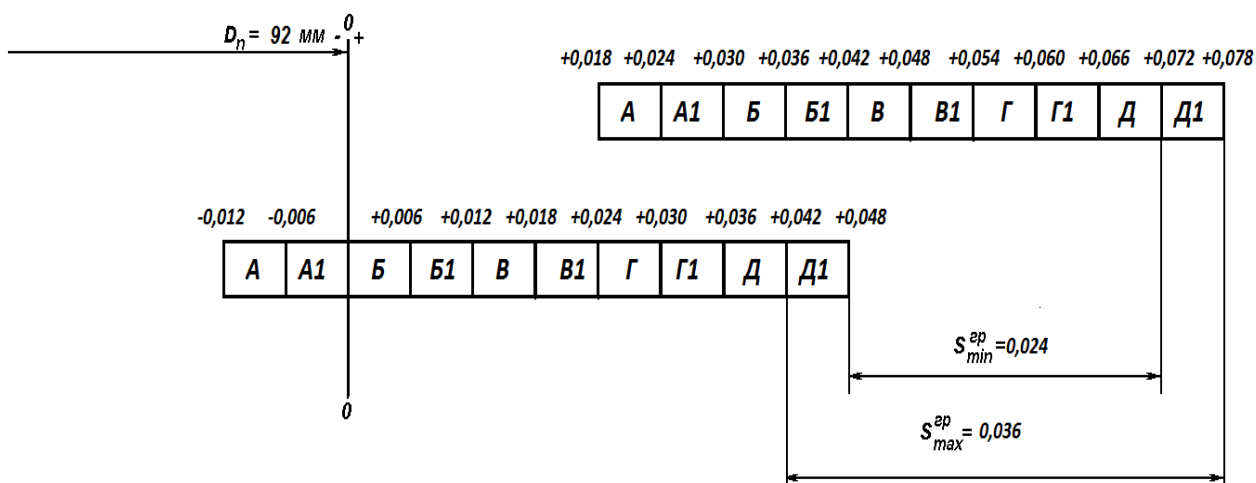


Рис. 2. Селективная сборка соединений «гильза цилиндра – поршень» двигателей ЗМЗ по десяти группам

Таблица 2 – Сборка гильз цилиндров с поршнями двигателей ЗМЗ по 10-ти группам

Обозначение группы	Диаметр отверстия гильзы цилиндров, мм	Диаметр поршня, мм	Предельные групповые зазоры, мкм
А	92 <sup>+0,030</sup> <sub>+0,024</sub>	92 <sup>-0,006</sup> <sub>-0,012</sub>	S <sub>гp min</sub> =24 S <sub>гp max</sub> =36
А1	92 <sup>+0,036</sup> <sub>+0,030</sub>	92 <sup>-0,006</sup>	
Б	92 <sup>+0,042</sup> <sub>+0,036</sub>	92 <sup>+0,006</sup>	
Б1	92 <sup>+0,048</sup> <sub>+0,042</sub>	92 <sup>+0,012</sup> <sub>+0,006</sub>	
В	92 <sup>+0,054</sup> <sub>+0,048</sub>	92 <sup>+0,018</sup> <sub>+0,012</sub>	
В1	92 <sup>+0,060</sup> <sub>+0,054</sub>	92 <sup>+0,024</sup> <sub>+0,018</sub>	
Г	92 <sup>+0,066</sup> <sub>+0,060</sub>	92 <sup>+0,030</sup> <sub>+0,024</sub>	
Г1	92 <sup>+0,072</sup> <sub>+0,066</sub>	92 <sup>+0,036</sup> <sub>+0,030</sub>	
Д	92 <sup>+0,078</sup> <sub>+0,072</sub>	92 <sup>+0,042</sup> <sub>+0,036</sub>	
Д1	92 <sup>+0,084</sup> <sub>+0,078</sub>	92 <sup>+0,048</sup> <sub>+0,042</sub>	

Применение технологии двухкратного уменьшения группового допуска позволит значительно уменьшить или полностью исключить незавершенное производство, так как можно применить технологию межгрупповой взаимозаменяемости [18]. Здесь получается, что не нарушая базовые условия сборки, с целью уменьшения количества незавершенного производства, можно собирать детали, как показано на рисунке 3 на примере группы Д и Д1. Гильзу цилиндров из группы Д можно собрать с поршнем из группы Д и Д1, а гильзу цилиндров Д1 также можно собрать с поршнем из группы Д и Д1.



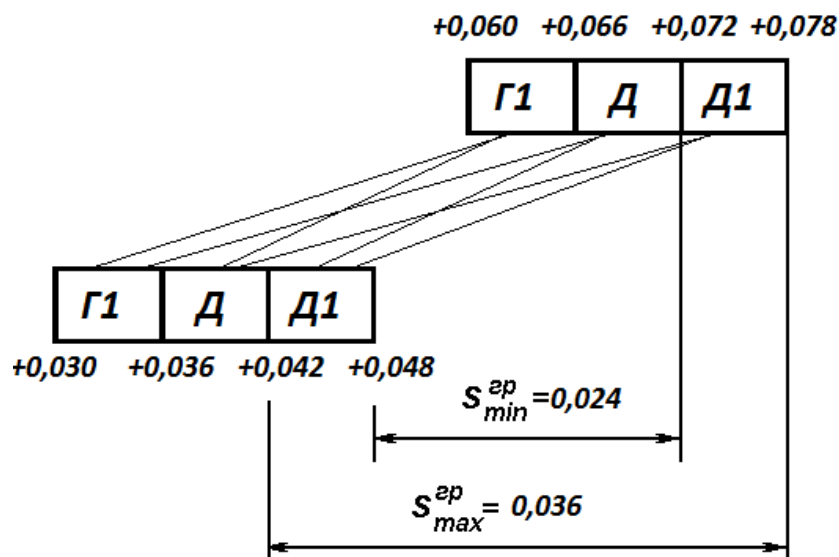


Рис. 3. Возможности межгрупповой сборки

**Выводы.** Таким образом, при дополнительном дроблении пяти групп селекции и получении 10 групп, возникает запас точности в соединении и формируется запас на износ, который равен 12 мкм для двигателей ЗМЗ, при этом возрастает стабильность зазоров в посадке, эксплуатация соединения начинается практически с наименьшего зазора, что снижает шум, расход масла на угар, повышает компрессию, мощность двигателя и, самое главное, долговечность соединения.

#### Библиография

1. Ерохин М.Н. Ремонт сельскохозяйственной техники с позиции обеспечения качества // Экология и сельскохозяйственная техника. Материалы 4-й научно-практической конференции. СПб.: 2005. С. 234-238.
2. Пастухов А.Г. Методика оценки качества сборочных единиц по функциональным параметрам. Все материалы. // Энциклопедический справочник. 2014. № 3. С. 9-16.
3. Ерохин М.Н. Взаимосвязь точности и надежности соединений при ремонте сельскохозяйственной техники // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2006. № 2. С. 22-25.
4. Пастухов А.Г. Оценка совершенства агрегатов механических трансмиссий // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2008. № 4. С. 40-44.
5. Ерохин М.Н. Особенности обеспечения качества ремонта сельскохозяйственной техники на современном этапе // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2005. № 1. С. 9-12.
6. Вергазова Ю.Г. Влияние точностных и технологических параметров на долговечность соединения «вал - втулка» // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2014. № 3. С. 17-19.
7. Вергазова Ю.Г. Точность и долговечность отремонтированных соединений «вал - втулка» со шпонкой // Наука и практика в управлении качеством, метрологии и сертификации. Сб. науч. ст. М.: 2014. С. 161-165.
8. Леонов О.А., Вергазова Ю.Г. Расчет посадок соединений со шпонками для сельскохозяйственной техники // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2014. № 2. С. 13.
9. Расчет точностных параметров сельскохозяйственной техники / Белов В.М. [и др.] М.: МИИСП, 1990. 125 с.
10. Сборник задач по метрологии, стандартизации и сертификации / Белов В.М. [и др.] М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2001. 140 с.
11. Метрология, стандартизация, квалиметрия. Стандартизация норм взаимозаменяемости / Белов В.М. [и др.] М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 1999. 140 с.
12. Курсовое проектирование по метрологии, стандартизации и квалиметрии / Белов В.М. [и др.] М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2000. 136 с.
13. Леонов О.А. Обеспечение качества ремонта унифицированных соединений сельскохозяйственной техники методами расчета точностных параметров: Дис. ... докт. техн. наук М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2004. 324 с.
14. Леонов О.А., Вергазова Ю.Г. Основы взаимозаменяемости. М.: РГАУ-МСХА, 2017. 180 с.
15. Шкаруба Н.Ж. Техничко-экономические критерии выбора универсальных средств измерений при ремонте сельскохозяйственной техники: монография. М.: МГАУ, 2009. 118 с.
16. Вергазова Ю.Г. Расчет потерь при допусковом контроле изделий // Наука и практика в управлении качеством, метрологии и сертификации. Сб. науч. ст. М.: 2014. С. 152-154.

17. Леонов О.А., Антонова У.Ю. Выбор универсальных средств измерений для контроля гильз цилиндров при селективной сборке // Тракторы и сельхозмашины, 2017. №6. С. 52-57.
18. Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н. Формализация метода межгрупповой взаимозаменяемости при реализации селективной сборки изделий // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2011. № 8. С. 75-82.

#### References

1. Erokhin M.N. Remont sel'skokhoziaistvennoi tekhniki s pozitsii obespecheniia kachestva [Repair of agricultural equipment from the position of quality assurance] // Ecology and agricultural machinery. Materials of the 4th scientific-practical conference. SPb., 2005. Pp. 234-238.
2. Pastukhov A.G. Metodika otsenki kachestva sborochnykh edinitz po funktsionalnym parametram. [Methodology for assessing the quality of assembly units by functional parameters]. Vse materialy // Encyclopedic reference, 2014. No 3. Pp. 9-16.
3. Erokhin M.N. Vzaimosviaz' tochnosti i nadezhnosti soedinenii pri remonte sel'skokhoziaistvennoi tekhniki [The relationship between the accuracy and the reliability of connections in the repair of agricultural machinery] // Bulletin of the FSEI HPE MSAU, 2006. No 2. Pp. 22-25.
4. Pastukhov A.G. Otsenka sovershenstva agregatov mekhanicheskikh transmissiy [Evaluation of the excellence of assemblies of mechanical transmissions] // Tractors and agricultural machinery. 2008. No 4. Pp. 40-44.
5. Erokhin M.N. Osobennosti obespecheniia kachestva remonta sel'skokhoziaistvennoi tekhniki na sovremennom etape [Features of ensuring quality of repair of agricultural machinery at the present stage] // Bulletin of the FSEI HPE MSAU, 2005. No 1. Pp. 9-12.
6. Vergazova Iu.G. Vliianie tochnostnykh i tekhnologicheskikh parametrov na dolgovechnost' soedineniia «val - vtulka» [Influence of precision and technological parameters on the durability of the "shaft – bushing" connection] // Bulletin of the FSEI HPE MSAU, 2014. No 3. Pp. 17-19.
7. Vergazova Iu.G. Tochnost' i dolgovechnost' otremonirovannykh soedinenii «val - vtulka» so shponkoi [The accuracy and durability of the repaired joints "shaft - bushing" with the key.] // Science and practice in quality management, metrology and certification. Collection of scientific articles, M.: 2014. Pp. 161-165.
8. Leonov O.A., Vergazova Iu.G. Raschet posadok soedinenii so shponkami dlia sel'skokhoziaistvennoi tekhniki [The calculation of landings joints, cotters for farm machinery] // Bulletin of the FSEI HPE MSAU, 2014. No 2. p. 13.
9. Raschet tochnostnykh parametrov sel'skokhoziaistvennoi tekhniki [Calculation of precision parameters of agricultural machinery]./ Belov V.M., etc. M.:MIISP, 1990. 125 p.
10. Sbornik zadach po metrologii, standartizatsii i sertifikatsii [Collection of tasks on Metrology, standardization and certification]. / Belov V.M., etc. M.: FSEI HPE MSAU, 2001. 140 p.
11. Metrologiia, standartizatsiia, kvalimetriia. Standartizatsiia norm vzaimozameniaemosti [Metrology, standardization, qualimetry. Standardization of norms of interchangeability]. / Belov V.M., etc. M.: FSEI HPE MSAU, 1999. 140 p.
12. Kursovoe proektirovanie po metrologii, standartizatsii i kvalimetrii [Course design in Metrology, standardization and qualimetry]. / Belov V.M., etc. M.: FSEI HPE MSAU, 2000. 136 p.
13. Leonov O.A. Obespechenie kachestva remonta unifitsirovannykh soedinenii sel'skokhoziaistvennoi tekhniki metodami rascheta tochnostnykh parametrov [Quality assurance of repair of unified connections of agricultural machinery by methods of calculation of accuracy parameters]: Dis. ... dokt. tekhn. Nauk. M.: FSEI HPE MSAU, 2004. 324 p.
14. Leonov O.A., Vergazova Iu.G. Osnovy vzaimozameniaemosti [Basics of interchangeability]. M.: RSAU - MAA, 2017. 180 p.
15. Shkaruba N.Zh. Tekhniko-ekonomicheskie kriterii vybora universal'nykh sredstv izmerenii pri remonte sel'skokhoziaistvennoi tekhniki [Technical and economic criteria for the selection of universal measuring instruments for the repair of agricultural machinery]: monografiia. M.: FSEI HPE MSAU, 2009. 118 p.
16. Vergazova Iu.G. Raschet poter' pri dopuskovom kontrole izdelii [Calculation of losses at tolerance control of products.] // Science and practice in quality management, metrology and certification. Collection of scientific articles. M.: 2014. Pp. 152-154.
17. Leonov O.A., Antonova U.Iu. Vybore universal'nykh sredstv izmerenii dlia kontrolya gil'z tsilindrov pri selektivnoi sborke [Selection of universal measuring instruments for control of cylinder liners during selective assembly.] // Tractors and agricultural machinery, 2017. No 6. Pp. 52-57.
18. Sorokin M.N., Anurov Iu.N. Formalizatsiia metoda mezhgruppovoi vzaimozameniaemosti pri realizatsii selektivnoi sborki izdelii [Formalization of the method of intergroup interchangeability in the implementation of selective assembly of products] // Assembly in mechanical engineering, instrument making, 2011. No 8. Pp. 75-82.

#### Сведения об авторах

Леонов Олег Альбертович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой метрологии, стандартизации и управления качеством, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, д.49, г. Москва, Россия, 127550, тел. +74999764474, e-mail: [metr@rgau-msha.ru](mailto:metr@rgau-msha.ru)

Антонова Ульяна Юрьевна, аспирант кафедры метрологии, стандартизации и управления качеством, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, д.49, г. Москва, Россия, 127550, тел. +74999764474, e-mail: [metr@rgau-msha.ru](mailto:metr@rgau-msha.ru)

**Information about authors**

Leonov Oleg Al'bertovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Metrology, Standardization and Quality Management, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, ul. Timiriazevskaia, 49, 127550, Moscow, Russia, tel. +74999764474, e-mail: [metr@rgau-msha.ru](mailto:metr@rgau-msha.ru)

Antonova Ul'iana Iur'evna, graduate student of the third year of training of department of Metrology, Standardization and Quality Management, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, ul. Timiriazevskaia, 49, 127550, Moscow, Russia, tel. +74999764474, e-mail: [metr@rgau-msha.ru](mailto:metr@rgau-msha.ru)

УДК 633.11(470.325)

*А.Г. Пастухов, И.Ш. Бережная*

## МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ КРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ИНСТРУМЕНТА ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО НАРАЩИВАНИЯ

**Аннотация.** В статье проанализированы существующие методики критериальной оценки, на основании которых предложена оригинальная методика по подбору электрода для электроискрового восстановления деталей, изготовленных из нержавеющей стали. Такие детали применяются в оборудовании по переработке молочных продуктов и имеют непосредственный контакт с пищевыми продуктами. Методика основана на многокритериальной оценке с применением химического критерия, который характеризует химический состав наплавленного слоя и обеспечивающий не только коррозионную стойкость, но и гигиенические требования; прочностного критерия – характеризует прочностные характеристики наплавленного слоя и обеспечивающий долговечность и сопротивляемость износу нанесенного слоя; технологического критерия – характеризует применимость электродов к данному виду восстановления и обеспечивающий простоту и скорость обработки, прочностного и технологического критериев. Для более точного результата был применен многокритериальный подход с построением обобщающего радара, который позволяет оценить наиболее точно, выравнивая разномерные критерии. Данная методика позволяет осуществлять подбор необходимого инструмента-электрода для восстановления электроискровым наращиванием различных деталей в зависимости от предложенных критериев. По результатам работы был выбран электрод по десяти признакам всех трех критериев для восстановления цилиндрических деталей из стали 40X13, работающих в перерабатывающем оборудовании и имеющие непосредственный контакт с пищевыми продуктами, для последующего применения при электроискровом наращивании. В качестве аналога предложены электроды, которые по результатам исследований были признаны наиболее подходящими по соответствующим показателям. Выделили электроды, которые не рекомендуется применять из-за высоких содержаний примесей, а также по причине неудовлетворительных данных по прочностным характеристикам.

**Ключевые слова:** критерий, оценка, ранг, электрод, радар.

## TECHNIQUE AND RESULTS OF CRITERIA ESTIMATION OF THE ELECTRO-SPARK DEVELOPMENT TOOL

**Abstract.** The article analyzes the existing methods of criterion evaluation, on the basis of which the original method for the selection of the electrode for the electrospark restoration of parts made of stainless steel has been proposed. Such parts are used in equipment for the processing of dairy products and have direct contact with food. The method is based on a multi-criteria assessment using a chemical criterion that characterizes the chemical composition of the deposited layer and provides not only corrosion resistance, but also hygienic requirements; strength criterion - characterizes the strength characteristics of the deposited layer and ensures durability and resistance to wear of the applied layer; technological criterion - characterizes the applicability of the electrodes to this type of restoration and ensures the simplicity and speed of processing, strength and technological criteria. For a more accurate result, a multi-criteria approach was used with the construction of a generalizing radar, which allows us to estimate most accurately, aligning the various-dimensional criteria. This technique allows the selection of the necessary tool-electrode for the restoration of the electric-spark building of various parts, depending on the proposed criteria. According to the results of the work, an electrode was selected according to ten attributes of all three criteria for the restoration of cylindrical parts made of steel 40X13, working in processing equipment and having direct contact with food products, for subsequent use in the electric-spark building. As an analogue, electrodes were proposed, which, according to the results of research, were found to be the most suitable for the corresponding indicators. They identified electrodes that are not recommended for use due to high impurity contents, as well as due to unsatisfactory data on strength characteristics.

**Keywords:** the criterion evaluation, grade, electrode, radar

**Введение.** Для реализации Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы, в задачи которой входит создание и внедрение современных технологий производства, переработки и хранения сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия, необходимо обеспечить работоспособность оборудования перерабатывающих предприятий. В производственных процессах перерабатывающего молочного оборудования широко применяются цилиндрические детали из нержавеющей стали, от технического состояния которых существенно зависит качество продукции и ее себестоимость [1].

Из всего многообразия способов восстановления таких деталей [2] следует выделить электроискровое наращивание и упрочнение легированием, которое является наиболее пер-

спективным, простым и доступным для малооснащенных мастерских региональных предприятий способом восстановления и упрочнения деталей машин. Интенсивность формирования поверхностного слоя вплотную зависит от величины энергии разряда и среднего тока источника импульсов. Изменение данных параметров непосредственно влияет на толщину слоя, его микротвердость, пористость, шероховатость, толщину переходного слоя. К основным недостаткам электроискрового наращивания и упрочнения легированием необходимо отнести низкую производительность (до 4 см<sup>2</sup>/мин), ограниченную толщину (от 0,05 мм до 0,7 мм) наращивания и недостаточную изученность применения такого метода к восстановлению деталей применяемых в пищевой промышленности.

Электроискровая обработка заключается в легировании поверхностного слоя металла детали материалом электрода - инструмента. Механические характеристики нанесенного слоя зависят от материала электрода. При выборе материала электрода необходимо учитывать не только его механические характеристики, но и строго соблюдать санитарно-гигиенические требования, исключающие загрязнение пищевых продуктов.

**Анализ исследований по теме.** Как справедливо заметил Рой О.М. для принятия оптимального решения необходимо установить критерии, по которым будет оцениваться его эффективность, а также желательно критерии разделить по соответствующим характеристикам и установить параметры их оценки [3]. Лузан С.А. предложил использовать комплексный технико-экономический критерий и структуру технологического процесса [4].

Шадричев В. А. в своих исследованиях использовал несколько критериев, например применимости, долговечности и экономический. Но критерий применимости он использовал только как предварительный, и, практически, не влияющий на принятие решения [5].

Суслов В.П. в своих работах предлагал для определения количественной оценки критериев отождествлять их показатели с определенными служебными свойствами детали, изменяющиеся в процессе ее восстановления [6].

Полканов И. в свою очередь предлагал в основу образования всех оценочных показателей положить принцип сравнения с некоторым значением, принятым в качестве эталонного [7]. Причем если эталонная величина параметра является максимальной, то показатель определяется как отношение фактического значения параметра к эталонному и наоборот. В идеальном случае величина его должна равняться единице.

Петровский А.Б. исследовал применение многоэтапной технологии многокритериального выбора для случаев когда сравниваемых объектов мало (3-5), а их признаки многочисленны (десятки и сотни) [8]. Также модель многокритериального принятия решений использовал в своих работах Птускин А.С. предлагая использовать ранжирование по отдельным показателям технологического критерия [9]. Затем оцениваются доступность с экономической точки зрения и безопасность с экологической. В итоге принимается решение по выбору оптимальной технологической альтернативы, наилучшим образом обеспечивающей желаемые значения набора критериев.

Данные разработки не могут быть применены для обоснованного подбора электрода, учитывающие не только специфику электроискровой обработки, но и характер работы восстанавливаемой детали и применение ее в оборудовании, имеющем контакт с пищевой продукцией, а также особенность химического состава данной детали.

**Цель и задачи.** Цель настоящей работы – разработать методику критериальной оценки подбора электрода для электроискровой обработки.

Для достижения поставленной цели следует решить задачи:

- 1) проанализировать известные способы критериальной оценки;
- 2) выбрать критерии, влияющие на качество электроискровой обработки;
- 3) обосновать подбор инструмента-электрода для электроискровой обработки.

**Результаты исследований.** Рассмотрим подбор электрода для электроискрового наращивания цилиндрической детали из нержавеющей стали на примере плунжера, изготовленного из стали 40Х13. Данная деталь работает в оборудовании по переработке молока и молочных продуктов и имеет контакт с пищевыми продуктами. В процессе работы образуется

износ малой величины [10] (не более 0,5 мм на диаметр), который проявляется в потере правильной геометрической формы, а именно овальности в рабочей зоне (разница между диаметрами вписанной и описанной окружности поперечного сечения в среднем не более 65 мкм) и характеризуется продольными канавками различной глубины [11].

В качестве инструмента выбраны электроды по ГОСТ 10052-75 следующих марок (таблица 1) [12].

**Таблица 1 – Марки электродов и их аналогов**

№ п/п	Электрод	Аналог	Материал	Покрытие электродов
1	330М (ОЗЛ-6)	ОЗЛ-6, ОК 62.53	10Х25Н13Г2	основное
2	2ОК 61.30	Е 308L-17	04Х20Н9	рутилово-кислый
3	AG Е 308L-16	ОЗЛ-8, ОК 61.25	Э02Х20Н10Г2	рутилово-основное
4	ЦЛ-11	ОК 61.85, ОК 61.81	08Х20Н9Г2Б	основное
5	ЭА-395/9	ОК 69.33, ОК 69.63	07Х16Н25М6АГ2	основное

Данные электроды предназначены для сваривания изделий из коррозионно-стойких сталей и отвечают требованиям безопасности для применения в оборудовании пищевого производства [13].

На основании критериального подхода рациональность оценивается с помощью критериев:

- 1) химический – характеризует химический состав наплавленного слоя и обеспечивающий не только коррозионную стойкость, но и гигиенические требования;
- 2) прочностной – характеризует прочностные характеристики наплавленного слоя и обеспечивающий долговечность и сопротивляемость износу нанесенного слоя;
- 3) технологический – характеризует применимость электродов к данному виду восстановления и обеспечивающий простоту и скорость обработки.

Для химического критерия проанализируем химический состав выбранных электродов (таблица 2) [14]. На основании анализа можно выделить четыре признака.

1. Процентное содержание хрома, являющейся основным для восстанавливаемой детали.
2. Примеси (кремний, марганец, и никель), которые положительно влияют на коррозионную устойчивость материала.
3. Примеси (например, молибден, никель, иобий и т.п.), наличие которых допускают единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к материалам и изделиям, изготовленным из металлов, синтетических и других материалов, разрешенных для контакта с пищевыми продуктами.
4. Наличие нежелательных примесей (такие как фосфор и сера), которых не избежать при производстве, но рекомендуется свести их к минимуму.

**Таблица 2 – Химический состав электродов, %**

№ п/п	Электрод	Хром Cr		Рекомендуемые примеси Si, Mn, Ni		Допускаемые примеси C, Nb, Mo, N		Нежелательные примеси S, P		Сумма рангов
		%	Ранг	%	Ранг	%	Ранг	%	Ранг	
1	330М (ОЗЛ-6)	25,50	1	4,83	2	0,03	3	0,025	5	8
2	ОК 61.30	19,30	3	3,87	5	0,01	2	0,023	2	10
3	AG Е 308L-16	19,20	4	4,51	3	0,01	1	0,022	1	8
4	ЦЛ-11	20,00	2	3,90	4	0,28	4	0,025	4	10
5	ЭА-395/9	19,00	5	9,00	1	1,23	5	0,023	3	9

В зависимости от химического состава (таблица 2) распределим ранг в соответствии с общим количеством содержания элементов, причем для хрома и рекомендуемых примесей

минимальный ранг присваивается максимальному значению соответствующего параметра, а для допускаемых и нежелательных – минимальному.

Из таблицы 2 видно, что электроды марок AG E 308L-16 и 330M (ОЗЛ-6) по суммарным значениям рангов набрали наименьшее количество баллов, а это значит, что данные электроды по выбранным признакам показали лучшие значения. Причем необходимо отметить, что электрод марки AG E 308L-16, по двум признакам набрал минимальный ранг, что показано выделением соответствующих ячеек, а 330M (ОЗЛ-6) только по одному признаку.

По полученным данным построим диаграмму ранжирования химического критерия (рисунок 1).

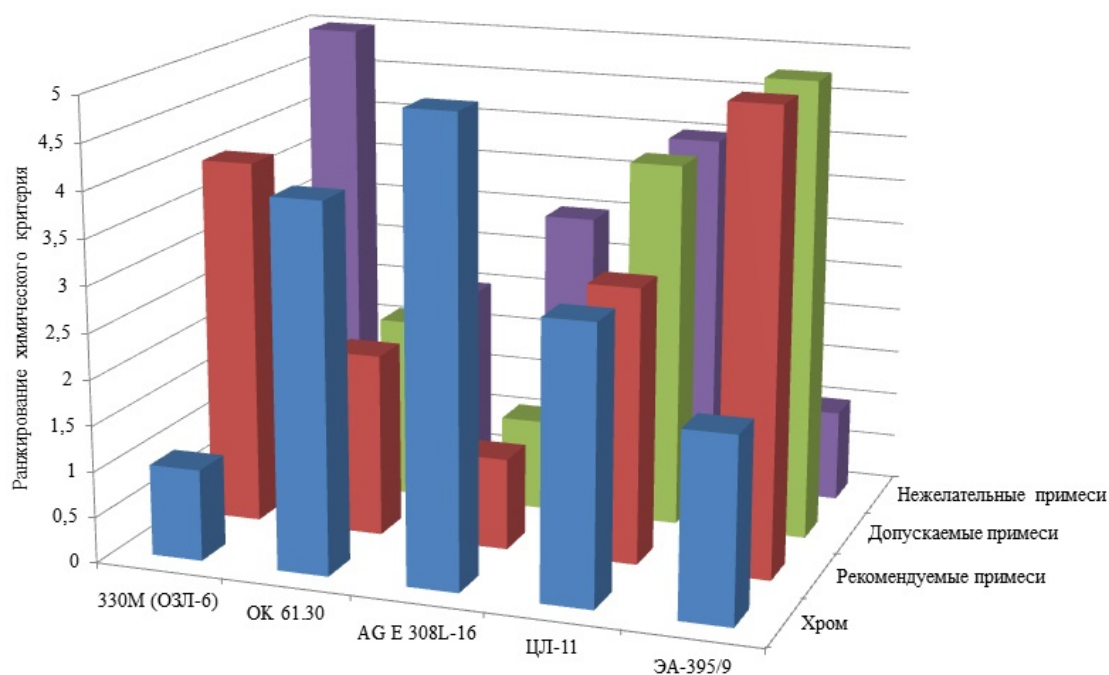


Рис. 1. Графическая интерпретация ранжирования химического критерия

Полученные данные показывают, что наиболее равномерное распределение рангов показывает только электрод марки ЦЛ-11. Остальные электроды показывают достаточно противоречивые данные, т.е. по одному признаку ранг минимальный, а по другому – максимальный. Для повышения наглядности построим диаграмму значений суммы присвоенных рангов для каждого электрода (рисунок 2).

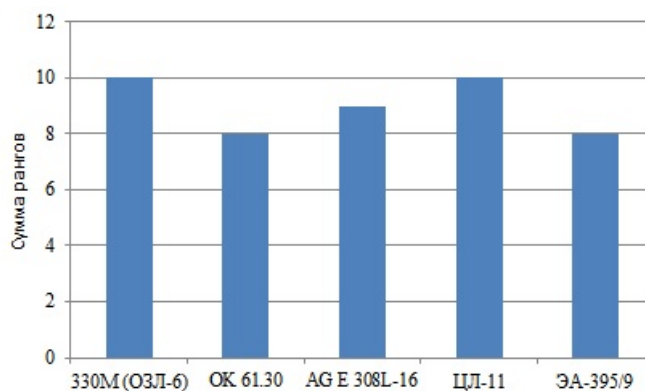


Рис. 2. Графическая интерпретация суммы рангов химического критерия

Анализируя полученную диаграмму (рисунок 2) получим следующий порядок: 1) AG E 308L-16 и 330M; 2) ЭА-395/9; 3) ЦЛ-11 и ОК 61.30. Из этого следует, что по одному критерию нет возможности определить наиболее подходящий электрод, поэтому рекоменду-

ется провести дополнительную критериальную оценку всех электродов по дополнительным показателям, таким как механические свойства.

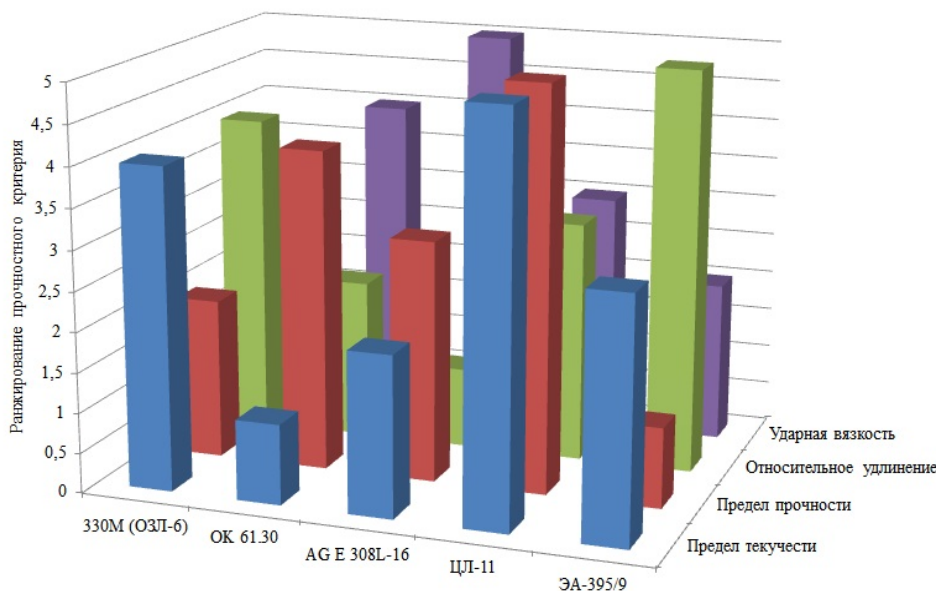
Прочностной критерий характеризует механические свойства наплавляемого материала (таблица 3). Механические свойства можно разделить на четыре признака: 1) предел текучести – характеризует напряжение, при котором деформации продолжают расти без увеличения нагрузки; 2) предел прочности – характеристику материала указывающую величину механических напряжений соответствующую разрыву при испытаниях на растяжение; 3) относительное удлинение – характеризует пластичность материала; 4) ударная вязкость – характеризует способность сопротивляться хрупкому разрушению.

**Таблица 3 – Механические свойства наплавляемого материала электродов**

№ п/п	Электрод	Предел текучести		Предел прочности		Относительное удлинение		Ударная вязкость		Сумма рангов
		МПа	Ранг	МПа	Ранг	%	Ранг	Дж/см <sup>2</sup>	Ранг	
1	330М (ОЗЛ-6)	340	4	570	2	33	4	150	1	10
2	ОК 61.30	430	1	560	4	43	2	88	4	7
3	AG E 308L-16	420	2	561	3	44	1	80	5	6
4	ЦЛ-11	310	5	540	5	40	3	90	3	13
5	ЭА-395/9	410	3	590	1	25	5	100	2	9

В зависимости от прочностных характеристик электродов (таблица 3) распределим ранг в соответствии с величиной каждого параметра, максимальному значению присваивается минимальный ранг.

Из таблицы 3 видно, что минимальный ранг по каждому признаку у разных электродов, это показано выделением соответствующих ячеек, поэтому проанализируем полученные данные, построив диаграмму ранжирования прочностного критерия (рисунок 3).



**Рис. 3. Графическая интерпретация ранжирования прочностного критерия**

Полученные данные (рисунок 3) показывают, что все электроды показывают достаточно противоречивые данные, т.е. по одному признаку ранг минимальный, а по другому – максимальный. Для повышения наглядности построим диаграмму значений суммы присвоенных рангов для каждого электрода (рисунок 4).



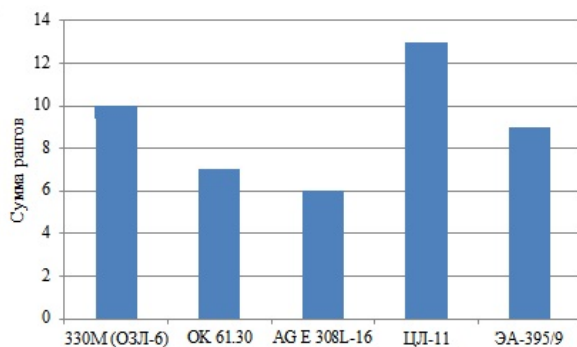


Рис. 4. Графическая интерпретация суммы рангов прочностного критерия

Анализируя полученную диаграмму (рисунок 4) получим следующий порядок: 1) AG E 308L-16; 2) OK 61.30; 3) 330M; 4) ЭА-395/9; 5) ЦЛ-11. Для более точного выбора рекомендуется провести дополнительную критериальную оценку всех электродов по дополнительным показателям технологического процесса.

Технологический критерий характеризует применимость данных электродов [8], скорость и производительность наплавки (таблица 4), из которого можно выделить два признака: 1) коэффициент наплавки – показывает допускаемое количество расплавленного металла электрода, который пошел непосредственно на формирование шва, без потерь, в зависимости от пропущенного через дугу тока за единицу времени; 2) усредненное значение силы тока при сварке – определяет характер шва и продуктивность обработки в общем.

Таблица 4 – Технологические характеристики выбранных электродов

№ п/п	Электрод	Коэффициент наплавки		Сила тока при сварке		Сумма рангов
		г/Ач	Ранг	А	Ранг	
1	330M (OZL-6)	11,5	4	70,5	3	7
2	OK 61.30	13	2	72,5	2	4
3	AG E 308L-16	14	1	56,5	5	6
4	ЦЛ-11	12	3	70	4	7
5	ЭА-395/9	11	5	75	1	6

В зависимости от технологических характеристик электродов (таблица 4) распределим ранг в соответствии с величиной каждого параметра, максимальному значению присваивается минимальный ранг.

Из таблицы 4 видно, что минимальный ранг присвоен разным электродам, это показано выделением соответствующих ячеек, но по суммарным значениям рангов электрод марки OK 61.30 набрал наименьшее количество баллов, а это значит, что данный электроды по выбранным признакам показал лучшие значения. Из полученных данных построим диаграмму ранжирования технологического критерия (рисунок 5).

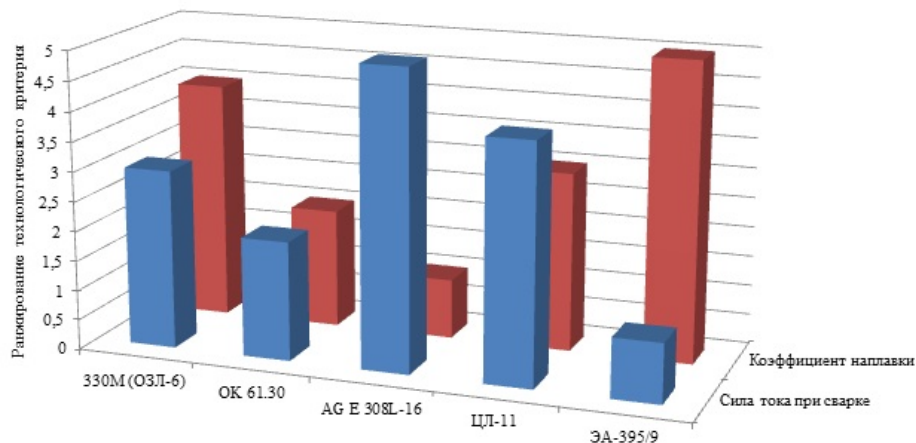


Рис. 5. Графическая интерпретация ранжирования технологического критерия

Полученные данные (рисунок 5) показывают, что электрод марки ОК 61.30 набрал равное количество баллов по выбранным признакам, а электроды марок 330М и ЦЛ-11 показывают более равномерное распределение рангов, в отличие от электродов марок AG E 308L-16 и ЭА-395/9, у которых по одному признаку ранг минимальный, а по другому – максимальный. Построим диаграмму значений суммы присвоенных рангов для каждого электрода (рисунок 6).

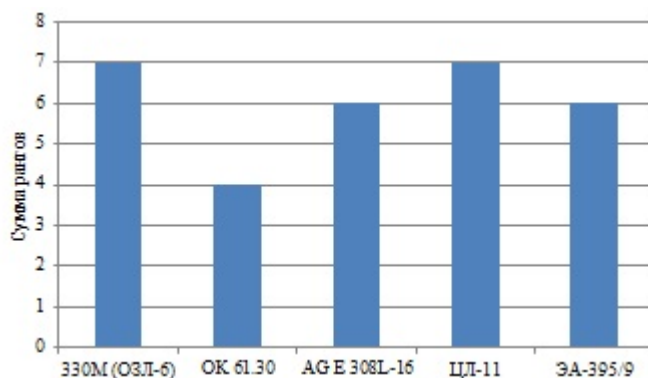


Рис. 6. Графическая интерпретация суммы рангов технологического критерия

Анализируя полученную диаграмму (рисунок 6) получим следующее распределение: 1) ОК 61.30; 2) AG E 308L-16 и ЭА-395/9; 3) 330М и ЦЛ-11. Из этого следует, что по данному критерию нет возможности однозначно определить наиболее подходящий электрод.

Для окончательного подбора электрода проведем обобщенную многокритериальную оценку. Для этого сведем результаты ранжирования всех признаков химического, прочностного и технологического критериев в таблицу 5.

Таблица 5 – Обобщенная оценка электродов по всем критериям

Электрод	№ признака	Критерий химический				Критерий механический				Критерий технологический		Сумма
		1 признак	2 признак	3 признак	4 признак	1 признак	2 признак	3 признак	4 признак	1 признак	2 признак	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
330М (ОЗЛ-6)		1	4	5	3	4	2	4	1	3	4	29
ОК 61.30		4	2	2	2	1	4	2	4	4	2	27
AG E 308L-16		5	1	3	1	2	3	1	5	1	1	26
ЦЛ-11		3	3	4	4	5	5	3	3	2	3	37
ЭА-395/9		2	5	1	5	3	1	5	2	5	5	31

Анализируя полученную таблицу 6 получим следующий порядок: 1) AG E 308L-16; 2) ОК 61.30; 3) 330М; 4) ЭА-395/9; 5) ЦЛ-11. С учетом полученных данных для повышения достоверности полученных данных сведем полученные данные в единый радар [15], который построен по всем признакам выбранных критериев с соблюдением следующих принципов (рисунок 7):

- круг радара делится радиальными оценочными шкалами на равные сектора, количество которых равно числу признаков;
- по мере приближения к центру круга значения показателей улучшаются;
- признаки оцениваются по бальной шкале в соответствии с рангом;
- нумерация показателей осуществляется по принципу часовой шкалы времени.

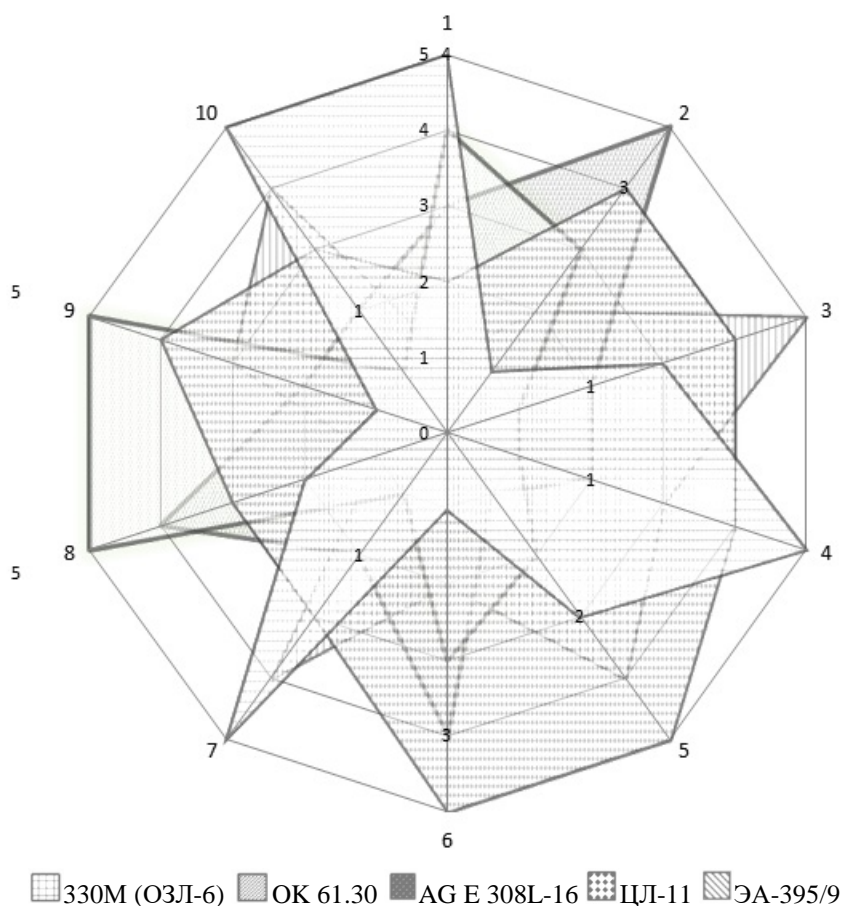


Рис. 7. Обобщающий радар по предложенным признакам

Для вычисления площади полученных фигур (рисунок 7) разделим каждую фигуру по оценочным шкалам на треугольники в соответствии с формулой

$$S_{\Phi} = \sum_{i=1}^{10} S_i = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_9 + S_{10}, \quad (1)$$

где  $S_1, S_2, S_3 \dots S_9, S_{10}$ , – площади треугольников, образованных оценочными шкалами, определяемые по формуле

$$S_i = \frac{1}{2} a_i \cdot b_i \cdot \sin \alpha, \quad (2)$$

где  $a_i$  и  $b_i$  – стороны треугольника, определяемые как количество баллов соответствующего показателя,

$\alpha$  – угол между оценочными шкалами.

Полученные результаты сведем в таблицу 6.

Таблица 6 – Расчетные значения площадей фигуры

Признак \ Электрод	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	сумма
330М (ОЗЛ-6)	0,59	2,94	4,41	3,53	2,35	2,35	1,18	0,88	3,53	1,18	22,92
ОК 61.30	4,41	2,94	1,18	0,59	1,18	2,35	2,35	2,35	1,18	1,76	20,28
AG E 308L-16	3,53	0,88	0,29	0,59	1,76	0,88	1,47	7,35	1,47	1,18	19,40
ЦЛ-11	2,35	4,70	4,70	5,88	7,35	4,41	2,65	3,53	3,53	1,76	40,85
ЭА-395/9	1,47	0,88	4,41	4,41	0,88	1,47	2,94	0,59	1,47	7,35	25,86

Далее в соответствии с полученными данными определимся с окончательным выбором электрода. Для этого необходимо выбрать фигуру, занимающую наименьшую площадь, так как это будет означать, что данный электрод заработал минимальные значения рангов по большинству показателей.

Для повышения наглядности выполним графическую интерпретацию полученных итоговых значений площадей (рисунок 8)

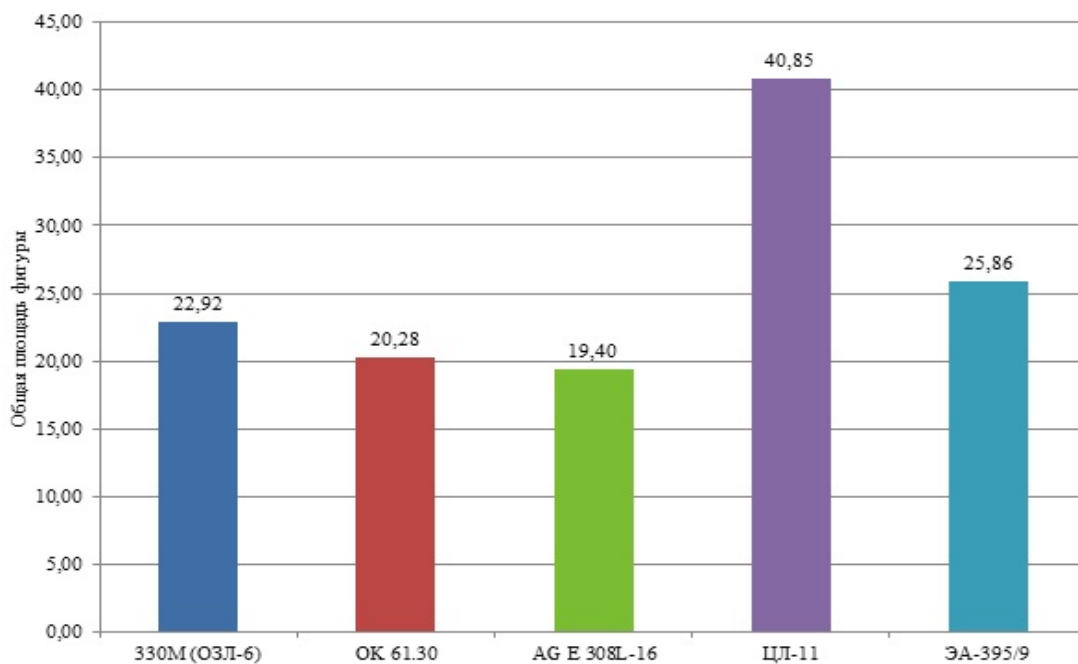


Рис. 8. Графическая интерпретация площадей фигур

Анализируя полученную диаграмму (рисунок 8) получаем следующий порядок применимости: наиболее подходящим является электрод марки AG E 308L-16 с минимально занимаемой площадью 19,40 принимаемой за эталонную, далее следует электрод ОК 61.30, площадь которого составляет 20,28 и превышает эталонную на 4 процента. Электроды марок 330M и ЭА-395/9 занимают площади 22,92 и 25,86 соответственно, что больше площади принятой за эталонную на 18 и 33 процента, это позволит признать возможность применения данных электродов для восстановления электроискровым способом. Площадь фигуры, получаемой электродом ЦЛ-11, превышает эталонную более чем в 2 раза, а это означает, что электрод данной марки можно признать не подходящим для данных работ.

#### Выводы.

1. По итогам анализа электродов по десяти признакам химического, прочностного и технологического критериев для восстановления цилиндрических деталей из стали 40X13, работающих в перерабатывающем оборудовании и имеющие непосредственный контакт с пищевыми продуктами, рекомендуется применять электроды марки AG E 308L-16.

2. В качестве аналога-заменителя можно применять электроды марок ОК 61.30, 330M и ЭА-395/9.

3. Электроды марки ЦЛ-11 не рекомендуется применять из-за высокого содержания примесей, а также по причине неудовлетворительных данных по прочностным характеристикам.

4. Для окончательного подбора режимов восстановления цилиндрических деталей электроискровым способом требуется провести экспериментальную отработку выбранных электродов.

#### Библиография

1. Об утверждении Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017 - 2025 годы : постановление Правительства Российской Федерации от 25 августа 2017 г. № 996 // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2017. – № 36. – ст. 5421.

2. Пастухов А. Г., Бережная И. Ш. Экспериментальные исследования работоспособности соединения «плунжер-уплотнение» гомогенизатора молока // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2018. No 1(17). С. 42 –58.

3. Рой О.М. Критерии выбора эффективных решений [Электронный ресурс] // Центр дистанционного образования «Элитариум»: [сайт]. – Санкт-Петербург, 2007. – Режим доступа: <http://www.elitarium.ru/prinyatie-resheniya-alternativa-risk-ocenka-kriterij-variant-vybor-plan-veroyatnost-razrabotka-ispolnenie/> – Загл. с экрана (дата обращения: 20.03.2019).
4. Шадричев В. А. Основы технологии автостроения и ремонта автомобилей / Шадричев В. А. –Л.: Машиностроение, 1976. –560 с.
5. Лузан С. А. Критерий выбора способа восстановления деталей машин // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві. 2017. Вип. 183. С. 45-56
6. Суслов В.П. Шамко В.К. Выбор рациональных технологий восстановления деталей // Техника в сельском хозяйстве.-1984 - №1 С.46-48
7. Полканов И., Пискунов Ю., Сорокин Л. Оценочные показатели способов восстановления деталей // Техника в сельском хозяйстве.-1976 - №5 С.77-78
8. Петровский А.Б., Ройзензон Г.В. Многокритериальный выбор с уменьшением размерности пространства признаков: многоэтапная технология ПАКС.//Искусственный интеллект и принятие решений, 2012 С.88-103
9. Птускин А.С., Левнер Е., Жукова Ю.М. Многокритериальная модель определения наилучшей доступной технологии при нечетких исходных данных // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2016. № 6. С. 105–127. DOI: 10.18698/0236-3941-2016-6-105-127
10. Pastukhov A.G., Sharay O.A., Berezhnaya I.Sh. Assessment of wear of a work face of a plunger of a homogenizer of milk // Development directions of tractors and renewable energy resources: сборник статей XXII Scientific meeting, 4 декабря 2015 г. / Faculty of Agriculture Novi Sad – Сербия, 2015.- С 6-11
11. Пастухов А. Г., Шарая О. А., Бережная И. Ш., Жуков Е. М. Оценка износа рабочей поверхности плунжера гомогенизатора молока // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 124. No 1 . С. 130-137.
12. ГОСТ 10052-75. Electrodes covered with metal for manual arc welding of high alloyed steels with special properties. Types. – Введ. 1977- 01- 01. – М.: Госстандарт России : Изд-во стандартов, 2004. 10 с.
13. РТМ 27-72-15-82 Перечень материалов, изделий и оборудования, допущенных для контакта с пищевыми продуктами. Часть 1 / Министерство здравоохранения Российской Федерации. – Введ. 1983- 01- 01. - М.: Минздрав РФ; ФГУП "ИнтерСЭН", 2002 год
14. Статьи сварочной тематики. [Электронный ресурс] // Генеральный дистрибьютер ООО "Московский опытный сварочный завод СпецЭлектрод" (МОСЗ): [сайт]. – Москва, 2018. – Режим доступа: <http://www.spetselectrode.ru/catalog.htm/>. – Загл. с экрана (дата обращения: 23.02.2019).
15. Кравченко И.Н., Пузряков А.Ф., Корнеев В.М. и др. Технологические процессы в техническом сервисе машин и оборудования : учеб. пособие / И.Н. Кравченко, А.Ф. Пузряков, В.М. Корнеев [и др.]. — М.: ИНФРА-М, 2018. — 346 с.

## References

1. Ob utverzhdenii Federal'noj nauchno-tehnicheskoy programmy razvitiya sel'skogo hozyajstva na 2017 - 2025 gody [On approval of the Federal Scientific and Technical Program for the Development of Agriculture for 2017-2025]: Decree of the Government of the Russian Federation of August 25, 2017 No. 996 // Collection of the legislation of the Russian Federation. - 2017. - No. 36. - Art. 5421.
2. Pastukhov, A. G., Berezhnaya, I. Sh. Eksperimental'nye issledovaniya rabotosposobnosti soedineniya «plunzher-uplotnenie» gomogenizatora moloka [Experimental studies of the performance of the plunger-seal connection of a milk homogenizer] // Innovations in the agroindustrial complex: problems and prospects. 2018. No 1 (17). Pp. 42-58.
3. Roy OM Kriterii vybora effektivnyh reshenij [Criteria for choosing effective solutions] [Electronic resource] // Center for Distance Education "Elitarium": [site]. - St. Petersburg, 2007. - Mode of access: <http://www.elitarium.ru/prinyatie-resheniya-alternativa-risk-ocenka-kriterij-variant-vybor-plan-veroyatnost-razrabotka-ispolnenie/> - Upl. from the screen (appeal date: 03/20/2019).
4. Shadrichev V.A. Osnovy tekhnologii avtostroeniya i remonta avtomobilej [Fundamentals of the technology of autobuilding and car repair] / Shadrichev V.A. –L.: Mechanical Engineering, 1976. –560 p.
5. Luzan S.A. Kriterij vybora sposoba vosstanovleniya detalej mashin [A criterion for choosing the method of restoring machine parts] // Newsletter KNTUSG im. P. Vasilenko. Resource management technologies, materials and equipment at the repair shop. 2017. Vip. 183. p. 45-56
6. Suslov V.P. Shamko V.K. Vybora racional'nyh tekhnologij vosstanovleniya detalej [The choice of rational technologies for the restoration of parts] // Technique in agriculture.-1984 - №1 С.46-48
7. Polkanov I., Piskunov Yu., Sorokin L. Ochenochnye pokazateli sposobov vosstanovlenie detalej [Estimated indicators of methods for restoring parts] // Technics in agriculture.-1976 - №5 S.77-78
8. Petrovsky, A. B., Roizenzon, G.V. Mnogokriterial'nyj vybor s umen'sheniem razmernosti prostranstva priznakov: mnogoetapnaya tekhnologiya PAKS [Multi-criteria choice with decreasing dimension of feature space: PAX multi-stage technology] // Artificial Intelligence and Decision Making, 2012 P.88-103
9. Ptuskin, AS, Levner, E., Zhukova, Yu.M. Mnogokriterial'naya model' opredeleniya nailuchshej dostupnoj tekhnologii pri nechetkikh iskhodnyh dannyh [Multi-criteria model for determining the best available technology with

fuzzy source data] // Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Ser. Engineering. 2016. No. 6. С. 105–127. DOI: 10.18698 / 0236-3941-2016-6-105-127

10. Pastukhov A.G., Sharay O.A., Berezhnaya I.Sh. Assessment of wear of a work face of a plunger of a homogenizer of milk // Development directions of tractors and renewable energy resources: сборник статей XXII Scientific meeting, 4 декабря 2015 г. / Faculty of Agriculture Novi Sad – Сербия, 2015.- С 6-11

11. Pastukhov A. G., Sharaya O. A., Berezhnaya I. Sh., Zhukov E. M. Ocenka iznosa rabochej poverhnosti plunzhera gomogenizatora moloka [Assessment of wear of the working surface of the plunger of a milk homogenizer] // Proceedings of GOSNITI. 2016. T.124. No 1. Pp. 130-137.

12. GOST 10052-75. Elektrody pokrytye metallicheskie dlya ruchnoj dugovoj svarki vysokolegированных сталей s osobymi svojstvami. Tipy. [Metal covered electrodes for manual arc welding of high-alloyed steel with special properties. Types] Enter. 1977- 01- 01. – Moscow : state standard of Russia : Publishing house of standards, 2004. 10 PP.

13. RTM 27-72-15-82 Perechen' materialov, izdelij i oborudovaniya, dopushchennyh dlya kontakta s pishchevymi produktami. CHast' 1 [RTM 27-72-15-82 List of materials, products and equipment approved for contact with food. Part 1] / Ministry of Health of the Russian Federation. - Enter 1983-01-01. - М.: Ministry of Health of the Russian Federation; FSUE "InterSEN", 2002

14. Stat'i svarochnoj tematiki [Welding articles.] [Electronic resource] // General distributor of LLC Moscow Experimental Welding Plant SpetsElektrod (MOSZ): [website]. - Moscow, 2018. - Access mode: <http://www.spetselectrode.ru/catalog.htm/>. - Title from the screen (appeal date: 02/23/2019).

15. Kravchenko I.N., Puzryakov A.F., Korneev V.M. etc. Tekhnologicheskie processy v tekhnicheskom servise mashin i oborudovaniya [Technological processes in the technical service of machinery and equipment]: studies. allowance / I.N. Kravchenko, A.F. Puzryakov, V.M. Korneyev [et al.]. - М.: INFRA-M, 2018. - 346 p.

#### **Сведения об авторах**

Пастухов Александр Геннадиевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технической механики и конструирования машин ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, [pastuhov\\_ag@bsaa.edu.ru](mailto:pastuhov_ag@bsaa.edu.ru).

Бережная Ирина Шамилиевна, старший преподаватель кафедры технической механики и конструирования машин ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, [berejnaya\\_i@bsaa.edu.ru](mailto:berejnaya_i@bsaa.edu.ru).

#### **Information about authors**

Pastukhov Aleksandr Gennadievich, doctor of engineering, Professor, head of the Department of technical mechanics and construction of machines FSBEI HE Belgorod SAU, Vavilova str., 1, p. Mayskiy, Belgorod district, Belgorod region, Russia, 308503, [pastuhov\\_ag@bsaa.edu.ru](mailto:pastuhov_ag@bsaa.edu.ru).

Berezhnaya Irina Shamiliyevna, senior lecturer of the Department of technical mechanics and construction of machines FSBEI HE Belgorod SAU, Vavilova str., 1, p. Mayskiy, Belgorod district, Belgorod region, Russia, 308503, [berejnaya\\_i@bsaa.edu.ru](mailto:berejnaya_i@bsaa.edu.ru).

УДК 631.348.45:62-77

*А.П. Слободюк, А.В. Бондарев, С.В. Стребков, А.Ф. Мазнев*

## ОБОСНОВАНИЕ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ ОПРЫСКИВАТЕЛЯ ОП-2000

**Аннотация.** Работа посвящена поиску причин отказов рамы опрыскивателя ОП-2000 с применением САЕ-системы APM WinMachine и разработке конструктивной схемы, предотвращающей такие отказы. Цель исследования - выявление причин разрушений и остаточных деформаций лонжеронов рамы и поиск конструктивных решений для предотвращения обнаруженных отказов. Задача решается путем построения конечно-элементной модели проблемной конструкции и анализа её напряженно-деформированного состояния при различных условиях нагружения с использованием расчетного модуля Structure 3D САЕ-системы APM WinMachine и сравнения полученных результатов с анализом натуральных образцов. Для определения геометрических параметров ключевых элементов конструкции, а также адекватного моделирования закреплений рассматриваемого изделия и правильного распределения нагрузки была использована построенная 3D модель рамы опрыскивателя. Для численных экспериментов была разработана сложная пластинчато-стержневая модель, позволяющая максимально точно отразить особенности геометрии конструкции и расположение опорных поверхностей, а параметры сетки разбиения подбирались таким образом, чтобы адекватно смоделировать приложение нагрузок. В результате проведенных расчетов установлено, что причиной разрушения лонжеронов рамы является недостаточный запас прочности и устойчивости в условиях динамического нагружения, которое моделировалось ускорением свободного падения по вертикальной оси с учетом собственной массы всех элементов модели. Сравнение картины расчетного напряженно-деформированного состояния конструкции с натурным объектом показывает достаточную сходимость результатов. Области с максимальными значениями напряжений и деформаций совпадают с реальными зонами разрушения и остаточных деформаций рамы опрыскивателя. Для разработки инженерных решений, направленных на предотвращение выявленных отказов, проведена серия численных экспериментов, в которой определена оптимальная конфигурация ремонтной конструктивной схемы. В ходе этих расчетов были приняты решения по форме и месту установки дополнительных конструктивных элементов, повышающих прочность, жесткость и устойчивость рамы. Опытная эксплуатация отремонтированного по предложенной конструктивной схеме опрыскивателя в условиях хозяйства, где ранее наблюдались отказы, в полевые сезоны 2017 и 2018 годов новых отказов не выявила.

**Ключевые слова:** отказ, рама, 3D модель, метод конечных элементов, предотвращение отказов.

### JUSTIFICATION OF THE MODERNIZED CONSTRUCTIVE SCHEME OF THE SPRAYER OP-2000

**Abstract.** The work is devoted to the search for the causes of failures of the OP-2000 sprayer frame with the use of CAE-system APM WinMachine and the development of a constructive scheme to prevent such failures. The aim of the study was to identify causes of damage and residual deformations of the side members of the frame and finding constructive solutions to avoid detected failures. The problem is solved by constructing a finite element model of the problem structure and analyzing its stress-strain state under different loading conditions using the structure 3D CAE module-APM WinMachine system and comparing the results with the analysis of full-scale samples. To determine the geometric parameters of the key structural elements, as well as adequate modeling of the fasteners of the product under consideration and the correct load distribution, a 3D model of the sprayer frame was used. For numerical experiments, a complex plate-rod model was developed, which allows to accurately reflect the features of the geometry of the structure and the location of the support surfaces, and the parameters of the partition grid were selected in such a way as to adequately simulate the application of loads. As a result of the calculations, it was found that the reason for the destruction of the frame spars is an insufficient margin of safety and stability under dynamic loading, which was modeled by the acceleration of gravity along the vertical axis taking into account the intrinsic mass of all elements of the model. Comparison of the calculated stress-strain state of the structure with a full-scale object shows sufficient convergence of the results. The areas with maximum stress and strain values coincide with the actual fracture zones and residual deformations of the sprayer frame. For the development of engineering solutions aimed at preventing the identified failures, a series of numerical experiments was conducted, in which the optimal configuration of the repair design scheme was determined. In the course of these calculations, decisions were made on the form and location of additional structural elements that increase the strength, stiffness and stability of the frame. Pilot operation of the sprayer repaired according to the proposed constructive scheme in the conditions of the economy, where failures were previously observed, in the field seasons of 2017 and 2018, no new failures were revealed.

**Keywords :** failure, frame, 3D model, finite element method, failure prevention.

**Постановка задачи.** Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур [1,2] предполагают широкое использование подкормки растений минеральными удобрениями, а также применение химических средств защиты растений. Уменьшение затрат на обработку почвы приводит к увеличению затрат на защиту растений и в этих условиях

надежная и безотказная работа штанговых опрыскивателей типа ОП-2000 является одним из реальных способов снижения издержек на производство.

Опыт эксплуатации данной техники позволяет охарактеризовать её как надежную и неприхотливую. Однако в процессе эксплуатации ОП-2000 в хозяйствах столкнулись с характерными отказами, связанными с разрушением и деформациями рамы опрыскивателя (рисунки 1, 2). Отказы наблюдаются после транспортировки полностью заправленного опрыскивателя до поля по полевым дорогам.



Рис.1. Разрушение лонжерона



Рис.2. Деформация рамы

Все выявленные дефекты являются критическими, т.е. их наличие исключает использование машины по назначению в соответствии с требованиями эксплуатационной документации.

Данные отказы устраняются в условиях хозяйства, но требуют полной разборки машины, что приводит к длительному простоя, нарушению агротехнических сроков, а, значит, к существенным потерям.

Таким образом, целью настоящей работы являлось определение причин разрушения рамы и разработка усовершенствованной конструкции, что позволит повысить надежность машины, снизить затраты на ремонт и уменьшить потери от простоя техники.

#### **Общая методика исследований**

Решение поставленной задачи осуществлялось в следующем порядке [3]:

- строилась конечно-элементная модель стойки рабочего органа и проводился ряд численных экспериментов по определению её напряженно-деформированного состояния при различных режимах нагружения;
- на основании результатов этих исследований и сравнения их с данными анализа натуральных образцов устанавливалась причина разрушения конструкции;
- проводилась новая серия расчетов по поиску конструктивной схемы, предотвращающей отказы в дальнейшем.

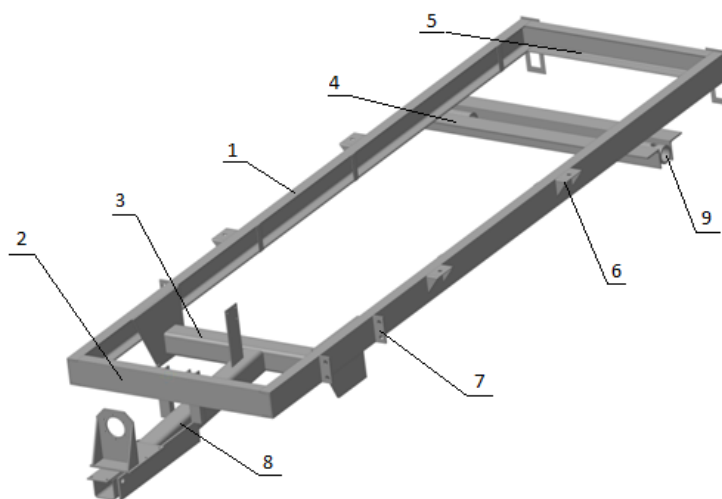
#### **Построение моделей нагружения и закрепления**

Рамная конструкция состоит из двух продольных лонжеронов и нескольких поперечин (также называемых «траверсами» [4]), а также креплений и кронштейнов для установки емкости, штанговой системы и агрегатов. Элементы конструкции выполнены из различных сортов профильного проката и соединены сваркой.

Первым этапом построения расчетных моделей является определение характерных точек нагружения конструкции и расположения опорных поверхностей. Для этого необходимо построение 3D модели, что позволит проанализировать конструкцию, существенно упростит создание ремонтной документации, а, главное, позволит построить адекватную конечно-элементную модель для анализа напряженно-деформированного состояния при различных видах нагружения.

Построение модели ведем в пакете КОМПАС 3D. Для этого по результатам обмеров натурального образца рамы создавались модели отдельных деталей, а затем полученные детали были объединены в сборку (рисунок 3).





1 – лонжерон; 2 – передняя траверса; 3- средняя траверса; 4 – траверса опорных колес;  
5 – задняя траверса; 6 – кронштейн крепления бака; 7 – кронштейн крепления площадки обслуживания;  
8 – балка дышла; 9 – обойма крепления полуоси колеса

**Рис. 3. 3D модель рамы опрыскивателя**

В результате анализа реальной конструкции, а также её 3D модели установили точки приложения нагрузок к раме, а также их величины. Нагрузки на раму складываются из силы тяжести от бака с полной заправкой (21840 Н), которая раскладывается на четыре площадки по верхней полке швеллера лонжерона 1. Опорные площадки расположены симметрично у щеки крепления средней траверсы 3 спереди и над передним уголком задней траверсы крепления опорных колес 4. По данным площадкам сила распределяется равномерно – по 5460Н на каждую. Площадки имеют длину 300 мм по полке швеллера, что установлено по отпечаткам опор бака на натурной конструкции.

Кроме этого, на боковых поверхностях лонжеронов закреплены кронштейны крепления бака 6 и кронштейны крепления площадки обслуживания 7, на которые также приходится нагружение. На кронштейны крепления бака действуют силы затяжки болтов хомутов, которыми опоясан бак. Эти силы направлены вверх и составляют 1500Н на каждый кронштейн. Усилия определены из момента затяжки гаек хомутов, приведенных в эксплуатационной документации [5].

На кронштейны площадки действуют вертикально вниз силы тяжести площадки обслуживания, составляющие 750 Н.

Задняя траверса 5 нагружена силой тяжести рамы навески штанг опрыскивателя. Эта нагрузка приходится посередине задней траверсы и составляет 2700 Н.

В качестве опор принимаем переднюю точку балки дышла 8 рамы опрыскивателя и две обоймы крепления полуосей колес 9 на задней траверсе крепления опорных колес.

Таким образом, путем анализа реальной конструкции, а также её 3D модели, нами сформирована схема нагружения и схема закрепления рамы опрыскивателя для расчета напряженно-деформированного состояния.

#### **Анализ напряженно-деформированного состояния рамы опрыскивателя**

Построение модели для расчета напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов [6] осуществляли в модуле Structure 3D пакета APM WinMachine.

Нами создана комбинированная пластинчато-стержневая конечно-элементная модель, позволяющая максимально точно отразить особенности конструкции и прикладывание к ней нагрузок (рисунок 4).

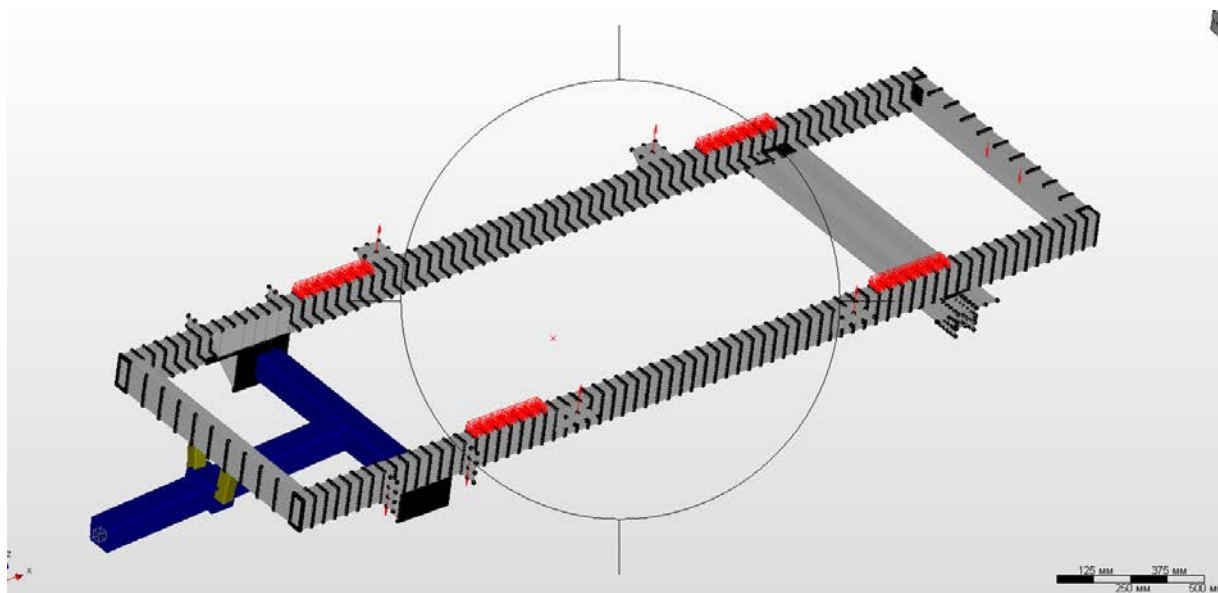


Рис. 4. Пластинчато-стержневая конечно-элементная модель

В данной модели лонжероны и траверсы (кроме передней) моделируются пластинчатыми элементами соответствующей толщины, разбитыми сеткой узлов на отдельные составляющие. Параметры сетки разбиения подбирались таким образом, чтобы впоследствии точнее смоделировать приложение нагрузок.

Передняя траверса и балка дышла моделировалась стержнями, т.к. это обусловлено особенностями нагружения и закрепления этих элементов.

На рисунке 4 также показаны смоделированные боковые кронштейны и приложенные к конструкции нагрузки в виде отдельных сил к узлам и распределенных по пластинам усилий.

Закрепления в виде шарнирно-неподвижных опор установлены на конце балки дышла и на концах траверсы крепления полуосей колес.

Поскольку из анализа отказов рамы известно, что они проявляются после транспортировки полностью снаряженного опрыскивателя по полевым дорогам, то в расчетное нагружение включали:

- действующие внешние нагрузки, перечисленные выше;
- учет собственного веса конструкции;
- дополнительную нагрузку в виде ускорения свободного падения по оси z (как составляющая нагружения от сил инерции, возникающих при движении по неровностям).

Расчет построенной конечно-элементной модели проводили в модуле Structure 3D пакета APM WinMachine [7]. Был выполнен статический расчет, расчет устойчивости и определение собственных частот конструкции.

В результате линейного статического расчета конструкции определено напряженно-деформированное состояние конструкции, анализ которого позволяет сделать вывод о том, что конструкция рамы не обеспечивает достаточного запаса прочности в условиях дополнительного нагружения за счет сил инерции.

Анализ полученной карты напряжений (рисунок 5) показывает, что максимальный уровень напряжений возникает в зоне крепления щеки средней траверсы, где и происходит в реальности разрушение рамы.

Максимальное значение возникающих главных напряжений в 240 МПа превышает допускаемое значение для стали 20, из которой изготовлен прокат рамы.

Обращает на себя внимание и характерная деформация рамы. При этом максимальное значение перемещения (рисунок 6) составляет 5 мм. Само по себе такое перемещение нельзя считать избыточным при заданных габаритах рамы, поэтому можно говорить, что если бы прочность обеспечивалась, то жесткость была бы достаточной.

Расчет на устойчивость нами проведен при статическом действии нагрузки (без учета сил инерции от ускорения свободного падения), когда прочность еще обеспечивается, хотя и с минимально допустимым коэффициентом запаса (1,14). При этом запас устойчивости также имеет весьма малое значение (1,08), а форма потери устойчивости соответствует картине деформации на рисунке 5. Таким образом, место потери устойчивости совпадает с фактическим местом остаточных деформаций на раме опрыскивателя (рисунок 2), что также подтверждает достоверность расчетов.

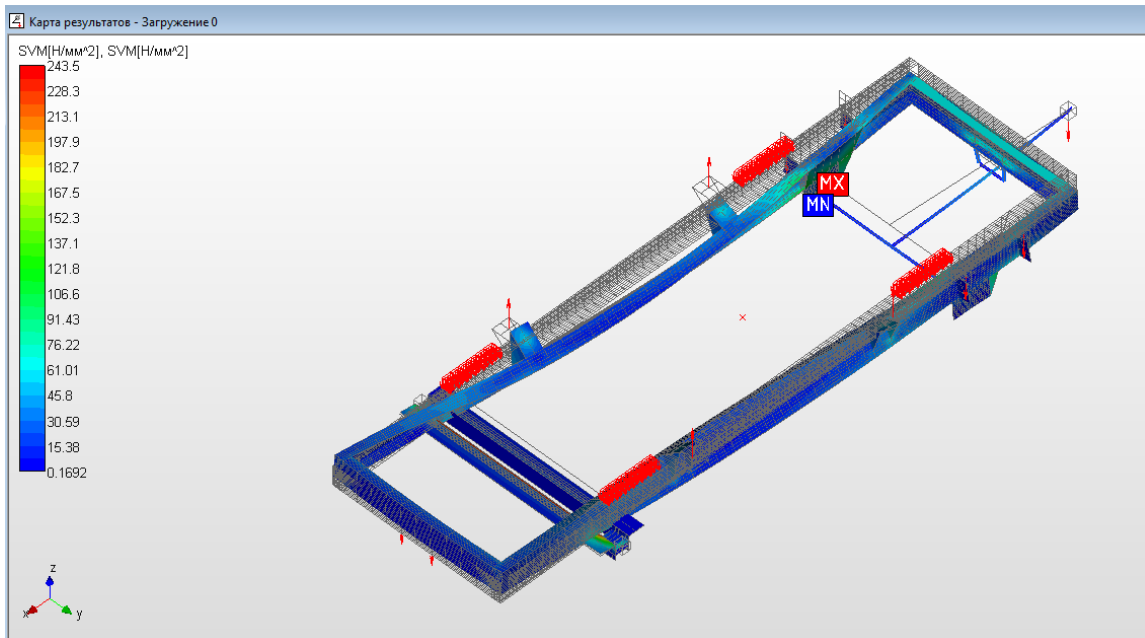


Рис. 5. Карта максимальных главных напряжений

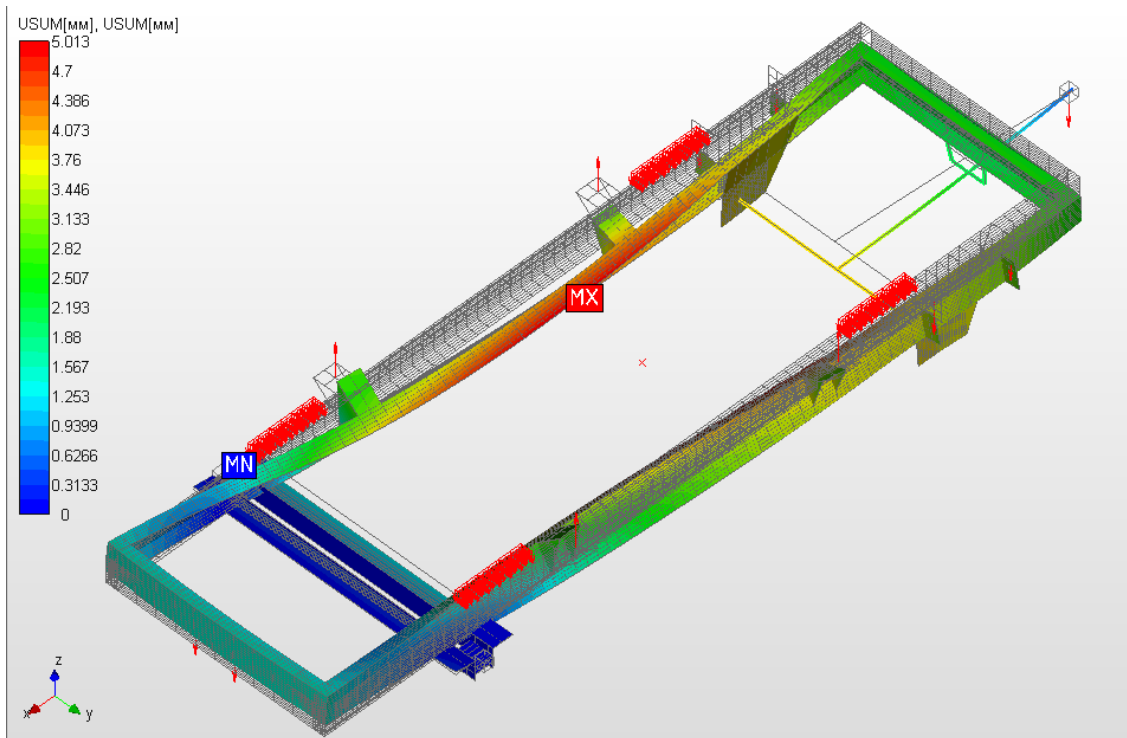


Рис. 6. Карта перемещений

Таким образом, сравнение полученных результатов с реальной картиной разрушения показывает хорошую сходимость результатов, что служит подтверждением адекватности построенной модели. Анализ картины напряженно-деформированного состояния показывает,

что конструкция не обеспечивает достаточный запас прочности в условиях дополнительного нагружения силами инерции при ускорении по вертикальной оси. Наблюдаемые остаточные деформации рамы опрыскивателя по результатам расчетов могут объясняться либо потерей устойчивости лонжеронов, либо попаданием конструкции в резонанс на частоте около 24Гц.

### Обоснование параметров модернизированной конструкции

Изучение полученных при расчете карты напряжений и карты перемещений показывает, что во многом наблюдаемая картина получается из-за реализуемой схемы нагружения, а именно, приложения нагрузки от заправленного бака по двум площадкам на верхнюю полку швеллера каждого лонжерона рамы. Также свою роль вносит не очень высокая жесткость рамы в среднем сечении при отсутствии там поперечных элементов (траверс).

Поэтому нами выдвинута гипотеза, предполагающая, что снизить максимальное возникающее в конструкции напряжения можно, если изменить схему приложения нагрузки [8].

Нами предложено в задней части рамы установить дополнительные площадки, на которые перераспределить часть давления от бака. При этом для того, чтобы снять часть нагрузки с лонжеронов и перенести её на траверсу крепления колес, под дополнительную площадку установили стойку, соединяющую площадку с траверсой (рисунок 7).

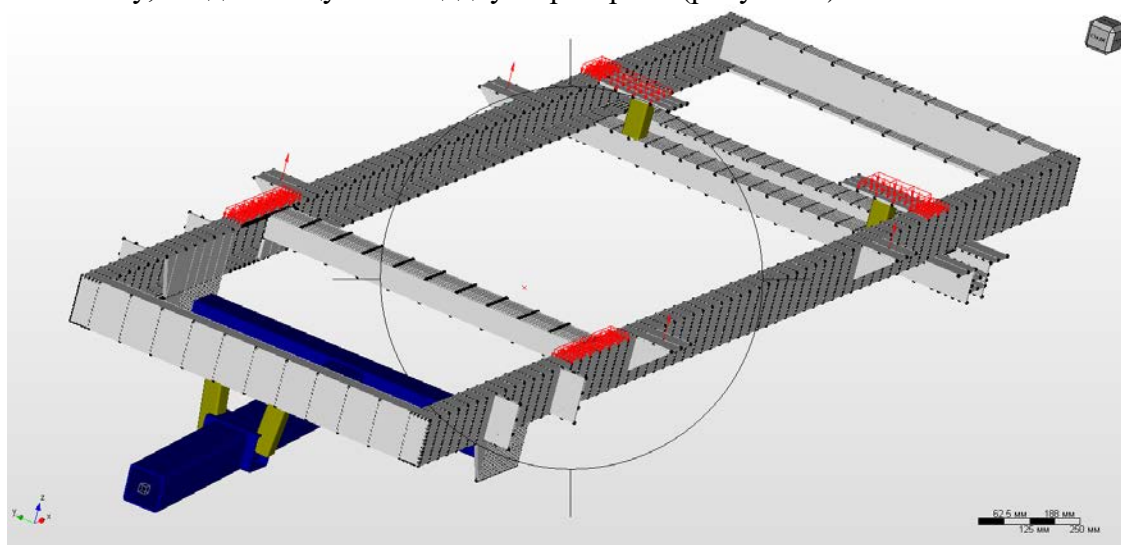


Рис. 7. Модель модернизированной рамы

Для увеличения жесткости рамы в среднем сечении предложено установить дополнительный поперечный элемент. Конструктивно установить дополнительную траверсу можно на участке лонжерона длиной 350 мм от места крепления щеки дышла. Такая длина участка обусловлена тем, что на расстоянии более 350 мм от места крепления щеки между лонжеронами рамы находятся элементы конструкции бака.

Чтобы определить оптимальные параметры новой конструкции, нами проведена серия расчетов, в которой последовательно перемещали дополнительную траверсу от места крепления щеки промежуточной траверсы с шагом 50 мм.

В ходе расчетов фиксировали максимальное значение главных напряжений в конструкции рамы и максимальное значение перемещений элементов рамы в зависимости от расстояния установки дополнительной траверсы от места крепления щеки.

Полученные зависимости представлены на рисунках 8 и 9.

Как видно из рисунков, сама установка дополнительных элементов на раму существенно снижает максимальный уровень действующих напряжений. При этом удаление дополнительной траверсы от места крепления щеки приводит сначала к некоторому повышению уровня максимального главного напряжения, а затем к его снижению до уровня 103...105 МПа. Максимальная деформация конструкции при этом монотонно снижается.

Таким образом, проведенными расчетами установлено, что оптимальным местом установки дополнительной траверсы является расстояние 200 мм от места крепления щеки промежуточной траверсы рамы опрыскивателя.

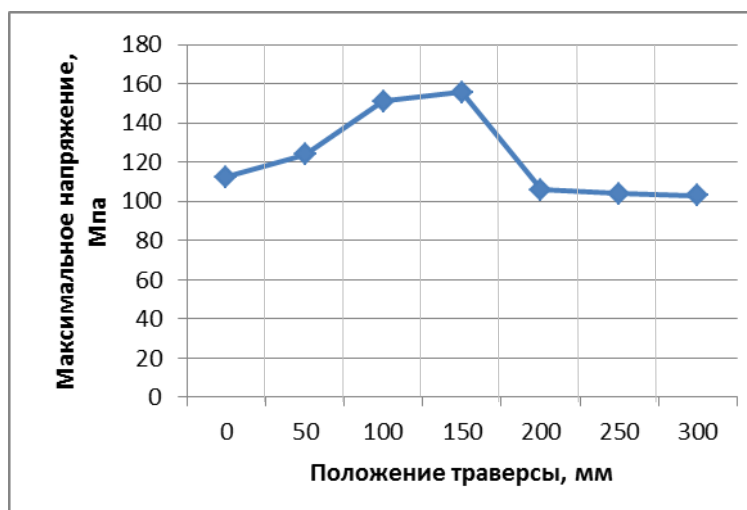


Рис. 8. Изменение максимального главного напряжения

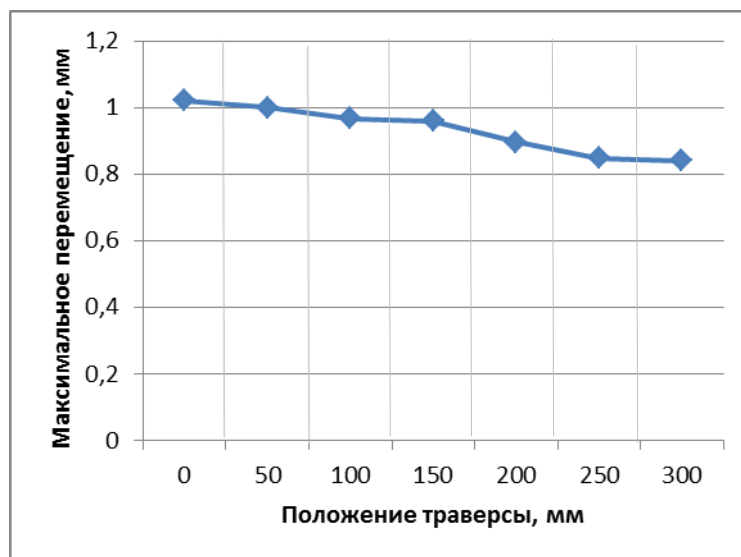


Рис. 9. Изменение максимального перемещения

### Практическая реализация предложенных мероприятий

В соответствии с разработанными мероприятиями по модернизации конструктивной схемы рамы опрыскивателя ОП-2000 в условиях КФХ «Мазнев» был проведен ремонт одной единицы указанной техники. После окончания полевых работ опрыскиватель был разобран. Дефектовка рамы выявила наличие отказа в виде остаточной деформации правого лонжерона. После правки рамы между лонжеронами в рассчитанном нами месте была сварена дополнительная промежуточная траверса (рисунок 10) из гнутого швеллера 140x80, а на неё наварины опорные плиты.

Далее, к правому и левому лонжеронам были приварены опорные площадки, а между ними и траверсой крепления колес сварены стойки (рисунок 11).

Во время эксплуатации модернизированного опрыскивателя в течение полевого сезона 2018 года в тех же режимах, что и до усиления конструкции, не зафиксировано ни одного отказа рамы по ранее наблюдаемым дефектам.



**Рис. 10. Установленная дополнительная траверса**



**Рис. 11. Установленная левая опорная площадка со стойкой**

#### **Библиография**

1. Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур: рекомендации / под общ. ред. К.В. Коледы, А.А. Дудука. Гродно: ГГАУ, 2010. 340 с. – ISBN 978-985-6784-71-5.
2. Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур: учебно-методическое пособие / под ред. И.П. Вильдфлуша, П.А. Саскевича. Горки: БГСХА, 2016. 383 с. – ISBN 978-985-467-610-4.
3. Slobodyuk A., Strebkov S., Bondarev A. Failure examination of disc header workpoints using CAE-system APM WINMACHINE // Engineering for rural development./ Proceedings, Vol/ 17, /Latvia University of Life Sciences and Technologies/ – Jelgava, 2018– P. 837 – 843. ISSN 1691-5976, DOI: 10.22616/ERDev2018. 17. №14.
4. Гришкевич А.И. Автомобили: Конструкция, конструирование и расчёт. Системы управления и ходовая часть. Мн.: Вышэйшая школа, 1987. 200 с.
5. Опрыскиватель ОП-18-2000. Техническое описание и инструкция по эксплуатации [Электронный ресурс] // ROSAGROMIR.RU: официальный сайт компании, 2016. URL: <http://www.rosagromir.ru/catalog/mashiny-dlya-vneseniya-udobreniy-i-zashchity-rasteniy>
6. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов: пер. с англ. / под ред. Б.Е. Победри. М.: Мир, 1979. 392 с.
7. Замрий А.А. Проектирование и расчет методом конечных элементов в среде APM Structure3D. М.: АПИМ, 2010. 376 с.

8. Мазнев А.Ф., Слободюк А.П. Анализ причин отказов рамы опрыскивателя ОП-2000. // Тезисы докл. междунар. студ. научн. конф. 7-8 февр. 2017г. Белгородский ГАУ. Т.2. Майский, 2017. С.41

### References

1. Sovremennye tekhnologii vozdel'yvaniya sel'skokozyajstvennykh kul'tur: rekomendacii [Modern technologies of agricultural crops cultivation: recommendations] / edited by K.V. Koledy, A.A. Duduka. Grodno: GGAU, 2010. 340 p. – ISBN 978-985-6784-71-5
2. Sovremennye tekhnologii vozdel'yvaniya sel'skokozyajstvennykh kul'tur: uchebno-metodicheskoe posobie [Modern technologies of agricultural crops cultivation: educational and methodical manual] / edited by I.R. Vil'd-flusha, P.A. Saskevicha. Gorki: BSAA, 2016. 383 p. – ISBN 978-985-467-610-4.
3. Slobodyuk A., Strebkov S., Bondarev A. Failure examination of disc header workpoints using CAE-system APM WINMACHINE // Engineering for rural development./ Proceedings, Vol/ 17, /Latvia University of Life Sciences and Technologies/ – Jelgava, 2018– P. 837 – 843. ISSN 1691-5976, DOI: 10.22616/ERDev2018. 17. №14.
4. Grishkevich A.I. Avtomobili: Konstrukciya, konstruirovaniye i raschyot. Sistemy upravleniya i hodovaya chast' [Cars: Design, construction and calculation. Control systems and chassis] Mn.: High School, 1987. 200 p.
5. Opryskivatel' OP-18-2000. Tekhnicheskoe opisanie i instrukciya po ekspluatatsii [Sprayer OP-18-2000. Technical description and operating instructions] [Electronic resource] // ROSAGROMIR.RU: official website of the company, 2016. URL: <http://www.rosagromir.ru/catalog/mashiny-dlya-vneseniya-udobreniy-i-zashchity-rasteniy>
6. Segerlind L. Primeneniye metoda konechnykh elementov: per. s angl. [Application of the finite element method: trans. from English]/ edited by B.E. Pobedri. M.: World, 1979. 392 p.
7. Zamrij A. A. Proektirovaniye i raschet metodom konechnykh elementov v srede APM Structure3D [Design and calculation by finite elements method in the environment APM Structure3D]. M.: APM, 2010. 376 p.
8. Maznev A.F., Slobodyuk A.P. Analiz prichin otkazov ramy opryskivatelya OP-2000 [Analysis of the causes of failures of the sprayer frame OP-2000] // Abstracts of international student scientific conference reports 7-8 Feb. 2017 Belgorod GAU T.2. Majskij, 2017. P.41

### Сведения об авторах

Слободюк Алексей Петрович, кандидат технических наук, доцент кафедры технической механики конструирования машин, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д.1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел.+74722 39-12-32, e-mail: [slobodyuk\\_ap@bsaa.edu.ru](mailto:slobodyuk_ap@bsaa.edu.ru)

Стребков Сергей Васильевич, кандидат технических наук, профессор, декан инженерного факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д.1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел.+74722 39-12-27, e-mail: [strebkov\\_sv@bsaa.edu.ru](mailto:strebkov_sv@bsaa.edu.ru)

Бондарев Андрей Владимирович, кандидат технических наук, и.о. заведующего кафедрой технического сервиса в АПК, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д.1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел.+74722 39-27-02, e-mail: [bondarev\\_av@bsaa.edu.ru](mailto:bondarev_av@bsaa.edu.ru)

Мазнев Александр Федорович, магистрант второго года обучения, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д.1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, e-mail: [sanchos7z7@rambler.ru](mailto:sanchos7z7@rambler.ru).

### Information about authors

Slobodyuk Alexey Petrovich, candidate of technical sciences, associate professor of the technical mechanics and design of machine, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V.Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, , tel. +74722 39-12-32, e-mail: [slobodyuk\\_ap@bsaa.edu.ru](mailto:slobodyuk_ap@bsaa.edu.ru)

Strebkov Sergey Vasilievich, candidate of technical sciences, professor, head of the engineering faculty, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V.Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, , tel. +74722 39-12-27, e-mail: [strebkov\\_sv@bsaa.edu.ru](mailto:strebkov_sv@bsaa.edu.ru)

Bondarev Andrey Vladimirovich, candidate of technical sciences, head of department of the technical services in agribusiness, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V.Gorin», ul.Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, , tel. +74722 39-27-02, e-mail: [bondarev\\_av@bsaa.edu.ru](mailto:bondarev_av@bsaa.edu.ru)

Maznev Alexander Fedorovich, second year master's student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V.Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, e-mail: [sanchos7z7@rambler.ru](mailto:sanchos7z7@rambler.ru).

УДК 631.3:621.825.6

*Е.П. Тимашов*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОДШИПНИКОВОГО УЗЛА КАРДАННОГО ШАРНИРА

**Аннотация.** Диагностика элементов трансмиссий транспортных и технологических машин остается актуальной проблемой вследствие объективных причин – возможности диагностики только при демонтаже узла или при приложении эксплуатационных нагрузок. Обособленную часть узлов трансмиссий занимают карданные валы с шарнирами неравных угловых скоростей. Диагностирование подшипниковых узлов карданных шарниров крайне затруднено, ввиду того, что каждая деталь подшипникового узла при работе не может быть неподвижна относительно шасси машины или любой ее детали. Диагностирование технического состояния подшипниковых узлов карданных шарниров целесообразно производить по параметрам сопутствующих процессов – например, температуры. В работе на основе системного подхода рассмотрена аналитическая модель температурного режима подшипникового узла карданного шарнира. Данная аналитическая модель позволяет рассчитывать температуру элементарного тепловыделяющего соединения подшипникового узла карданного шарнира в зависимости от нагрузочных характеристик (крутящий момент, частота вращения, угол излома). Применяя системный подход возможно полученную температурную модель использовать для моделирования тепловыделения поверхностей деталей карданного шарнира с целью оценки его технического состояния – проведения диагностики. С целью верификации полученной модели было произведено сопоставление с экспериментальными результатами испытаний карданных шарниров, произведенных с использованием стендового оборудования. В статье был применен метод конечных элементов для оценки распределения температуры между деталями карданного шарнира с использованием вычислительного модуля APM WinMashine. Также были произведены натурные тепловизионные наблюдения для оценки температурного режима карданных шарниров. Обосновано использования температурного режима карданного шарнира для оценки его технического состояния.

**Ключевые слова:** теплонпряженность, термодиагностика, карданный шарнир, диагностика, надежность, системный подход.

### MODELLING OF TEMPERATURE CONDITION OF BEARING KNOT OF THE CARDAN DRIVE

**Abstract.** Preliminary treatment of elements of transmissions of transport and technological machines remains current problem owing to the objective reasons – possibilities of preliminary treatment only when dismantling knot or at the application of operational loadings. The isolated part of knots of transmissions is occupied by propeller shafts with drive of unequal angular speeds. Diagnosing of bearing mount assemblies of cardan drive is extremely complicated in view of the fact that each detail of bearing mount assembly during the work can be mobile concerning the chassis of the car or any its detail. It is expedient to make diagnosing of technical condition of bearing mount assemblies of cardan drive in parameters of the accompanying processes – for example, temperatures. In work on the basis of system approach the analytical model of temperature condition of bearing mount assembly of the cardan drive is considered. This analytical model allows to count temperature of elementary heat-generating joint of bearing mount assembly of the cardan drive depending on load characteristics (torque, rotary speed, break corner). Applying system approach perhaps received temperature model to use for modeling of heat release of surfaces of details of the cardan drive for the purpose of assessment of its technical condition – carrying out preliminary treatment. For the purpose of verification of the received model comparison to experimental results of tests of the cardan drive made with use of the bench equipment has been made. In article the finite element method has been applied to assessment of distribution of temperature between details of the cardan drive with use of the computing APM WinMashine module. Also natural thermovision observations have been made for assessment of temperature condition of cardan drive. It is proved uses of temperature condition of the cardan drive for assessment of its technical condition.

**Keywords:** thermal stress, thermopreliminary treatment, cardan drive, preliminary treatment, reliability, system approach.

**Введение.** Широкое использование в трансмиссиях сельскохозяйственной техники карданных шарниров обуславливает актуальность исследования проблем надежности в части непрерывного диагностирования технического состояния карданных шарниров. В трансмиссиях современной сельскохозяйственной техники весь поток мощности от двигателя к рабочим органам может передаваться через карданные передачи. С учетом сезонности многих сельскохозяйственных работ растет значимость своевременного мониторинга надежности шарниров карданных передач [1-5].



Реализуемые методы диагностики шарниров карданных передач не позволяют диагностировать техническое состояние узла в процессе его работы. Мониторинг технического состояния карданных передач позволит минимизировать затраты на ремонт техники и убытки от ее простоя [6, 7]

Перспективным направлением решения проблемы видится применение метода диагностики по сопутствующему параметру – нагреву [8]. Работа сил трения в подшипниковых узлах карданных шарниров приводит к выделению тепловой энергии. По характерной температуре подшипникового узла можно судить о работе сил трения, а соответственно и о техническом состоянии подшипниковых узлов карданных шарниров. Реализация метода диагностики карданных шарниров по параметрам тепловыделения вызывает существенные затруднения. Выделяемое количество теплоты пропорционально работе трения в подшипниковых узлах карданного шарнира, и, на первый взгляд, позволяет судить об их техническом состоянии. Однако конструктивные, технологические и эксплуатационные характеристики карданных шарниров, а также сопряженных тепловыделяющих узлов не позволяют дать объективную оценку технического состояния карданных шарниров.

Для реализации метода термодиагностики карданных передач предлагается применение системного подхода для изучения температурного режима карданных шарниров на трех иерархических уровнях: температурный режим элементарных сопряжений карданного шарнира, температурный режим карданного шарнира и температурный режим карданного шарнира с учетом температурного режима сопряженных узлов. Для изучения процессов в подшипниковом узле карданного шарнира на первом иерархическом уровне можно применить аналитический метод, позволяющий моделировать тепловыделение элементарного сопряжения.

Полученная характеристика температурного режима элементарного сопряжения позволит использовать температурный режим карданного шарнира для реализации метода термодиагностики.

**Материал и методы.** Разрешение проблемы применения термодиагностики к карданным шарнирам возможно с использованием системного подхода, на первом этапе которого необходимо оценить значение температуры элементарного тепловыделяющего сопряжения подшипникового узла карданного шарнира.

Реализация метода диагностики карданных шарниров по параметрам тепловыделения вызывает существенные затруднения. Выделяемое количество теплоты пропорционально работе трения в подшипниковых узлах карданного шарнира, и, на первый взгляд, позволяет судить об их техническом состоянии. Однако конструктивные, технологические и эксплуатационные характеристики карданных шарниров, а также сопряженных тепловыделяющих узлов не позволяют дать объективную оценку технического состояния карданных шарниров. Сущность температурного эффекта при трении заключается в непрерывном превращении механической энергии в тепловую. Теплота распространяется из пятен контакта вглубь материала трущихся деталей. Затруднения в расчетах температурного поля возникают по причине теплоотдачи в окружающую среду и трудностью определения граничных условий.

Теоретическими и экспериментальными исследованиями температуры поверхностного слоя при трении занимались многие ученые.

Исследователи [9] выделяют несколько температур, характеризующих тепловыделение:

- температура трения (возникает в зоне трения);
- объемная температура (возникает ниже зоны деформаций);
- контактная температура (возникает в точках контакта);
- поверхностная температура (возникает на поверхности в точках, где нет контакта).

Поверхностная и контактная температура объединяются термином «граничная температура».

Одним из вариантов реализации метода термодиагностики является наблюдение за быстрым приращением температуры при механическом заедании и интенсивном износе.

Опытным путем было установлено, что при наступлении предельного состояния одного из подшипниковых узлов карданного шарнира температура доньшка стакана подшипникового узла составляет 80 °С, что соответствует температуре в зоне трения 200-250 °С [10].

Применительно к карданным шарнирам задачи теплонапряженности рассматривались в работе М.И. Лысова [11]. Автор предлагает оценку теплонапряженности на основании прироста температуры карданного шарнира относительно окружающей среды при условии установившегося теплового баланса карданного шарнира. В работе описывается значение предела температурной пропорциональности, как величины зависящей от одного из режимов работы кардана (крутящего момента, частоты вращения, угла излома), при котором наблюдается резкое повышение температуры. Приведенные в работе результаты испытаний позволяют использовать оценку температуры карданного шарнира для его диагностирования. Автором получены экспериментальные данные о температуре ниже зоны деформаций подшипникового узла карданного шарнира при различных режимах нагружения.

Используя метод конечно-элементного анализа необходимо установить взаимосвязь между температурой элементарного тепловыделяющего соединения и температурой поверхностей карданного шарнира, доступных для измерений. Кроме этого, необходимо произвести стендовые испытания карданных шарниров для сопоставления теоретических и эмпирических результатов исследования.

Цель исследования – получение аналитической модели для расчета температуры элементарного тепловыделяющего соединения карданного шарнира, пригодной для диагностирования его технического состояния.

**Результаты исследования и обсуждения.** Температурные модели граничной зоны при трении разрабатывались такими исследователями как Г. Блок, М.П. Левицкий, И.Я. Альшиц, И.В. Крагельский. А.Д. Дубининым была получена зависимость, по которой можно определить характерную температуру (температуру поверхностного слоя) для первого иерархического уровня [12, 13]:

$$\Theta_1 = \frac{\delta f K_\sigma V}{I \left( \lambda \sqrt{\frac{\alpha U}{\lambda S_c}} + k_n \rho c \cdot 2,6 \sqrt{\frac{a}{\lambda_d}} \sqrt{V} \right)}, \quad (1)$$

где  $\Theta_1$  – средняя температура нагрева поверхностного слоя, °С;  $\delta$  – коэффициент распределения теплоты между трущимися телами;  $f$  – коэффициент трения скольжения;  $K_\sigma$  – давление контакта, Н/м<sup>2</sup>;  $V$  – скорость скольжения, м/с;  $I$  – механический эквивалент теплоты;  $\lambda$  – теплопроводность, Вт/м°С;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи поверхности, Вт/м<sup>2</sup> °С;  $U$  – периметр сечения трущегося тела, м;  $S_c$  – площадь сечения трущегося тела, м<sup>2</sup>;  $k_n$  – коэффициент пропорциональности;  $\rho$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  $c$  – удельная теплоемкость, Дж/кг°С;  $a$  – коэффициент температуропроводности, м<sup>2</sup>/с;  $\lambda_d$  – длина волны неровностей на трущейся поверхности, м.

В первом приближении задачу определения температуры элементарного тепловыделяющего соединения будем решать, исходя из допущения, что игольчатый подшипник в эксплуатации работает как подшипник скольжения. В этом случае значения периметра сечения трущегося тела  $U$  и площади сечения трущегося тела  $S_c$  будем рассчитывать как параметры полуцилиндра радиусом  $r$  и высотой  $h$  (рисунок 1). Кроме этого, в зависимости (1) используется безразмерный коэффициент трения скольжения, а не коэффициент трения качения.

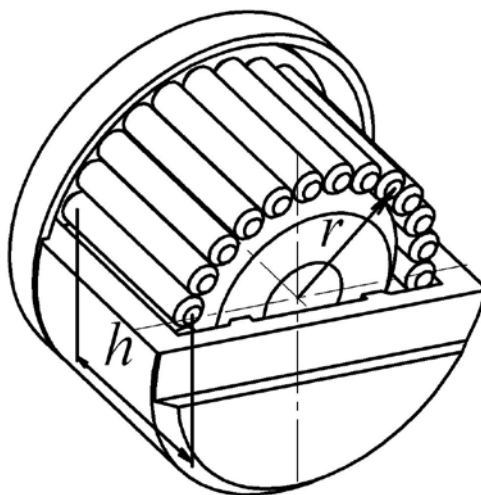


Рис. 1. Расчетная схема подшипникового узла карданного шарнира

Максимальная скорость скольжения трущихся тел в подшипниковых узлах карданного шарнира [10]:

$$V = \sin \gamma \cdot \omega \cdot r, \quad (2)$$

где  $r$  – радиус шипа крестовины карданного шарнира, м;  $\omega$  – угловая скорость, карданного шарнира, рад/с;  $\gamma$  – угол излома карданного шарнира, град.

Максимальное давление контакта [10]:

$$K_{\sigma} = \frac{M}{4 \cdot R \cdot r \cdot h \cdot \cos \gamma}, \quad (3)$$

где  $M$  – момент, передаваемый карданным шарниром, Нм;  $R$  – средний радиус вращения шипов карданного шарнира, м;  $h$  – рабочая высота шипа, м.

Характерная температура поверхностного слоя для подшипниковых узлов карданного шарнира на основании зависимостей (1, 2, 3):

$$\Theta_1 = \frac{\delta f M \omega t g \gamma}{4 R I \left( \lambda \sqrt{\frac{\alpha(2h + \pi r)}{\lambda \pi r h}} + k_n \rho c 2,6 \frac{\sqrt{a}}{\lambda_d} \sqrt{\sin \gamma \omega r} \right)}. \quad (4)$$

Анализ зависимости (4) позволяет разделить факторы, определяющие характерную температуру на три группы:

1) конструктивные:  $\delta$  – коэффициент распределения теплоты между трущимися телами;  $f$  – коэффициент трения;  $\lambda$  – теплопроводность;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи поверхности;  $r$  – радиус шипа крестовины;  $h$  – рабочая высота шипа крестовины;  $k_n$  – коэффициент пропорциональности;  $\rho$  – плотность материала;  $c$  – удельная теплоемкость;  $a$  – коэффициент температуропроводности;

2) технологические –  $\lambda_d$  – длина волны неровностей на трущейся поверхности;

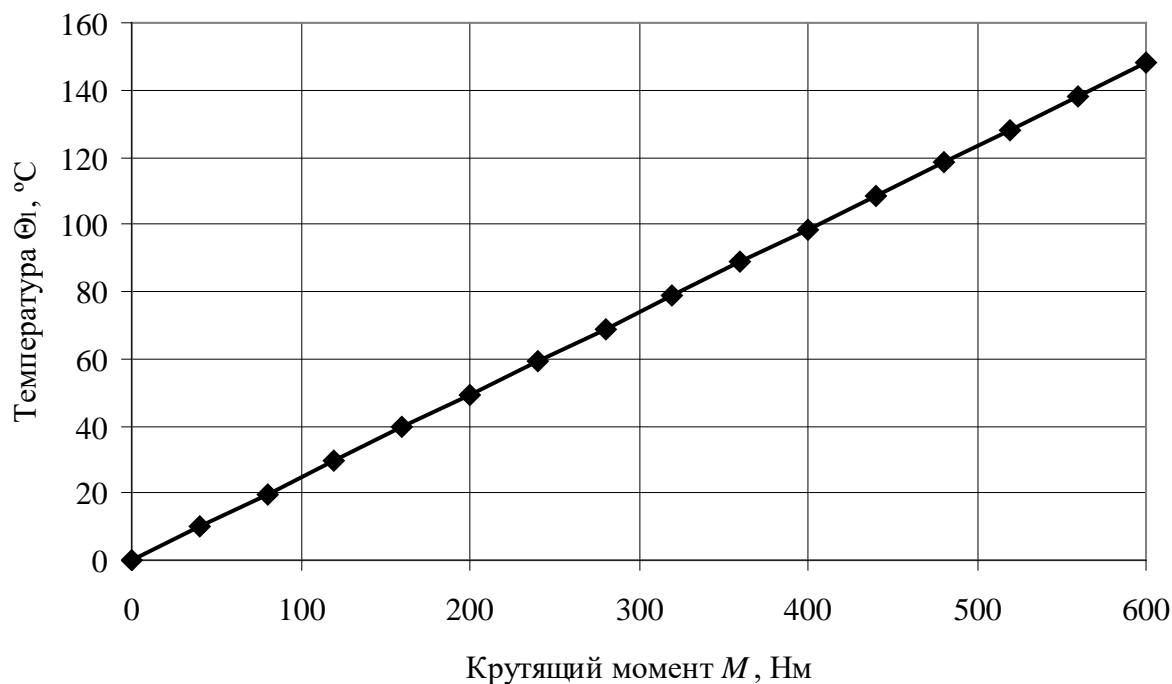
3) эксплуатационные –  $M$  – крутящий момент, передаваемый карданным шарниром;  $\omega$  – частота вращения карданного шарнира;  $\gamma$  – угол излома карданного шарнира.

Для изучения влияния эксплуатационных факторов на температуру элементарного тепловыделяющего соединения установим значения констант для уравнения (4). В качестве объекта исследования примем серийный карданный шарнир с крестовиной К 040 по ГОСТ 13758-89 «Валы карданные сельскохозяйственных машин. Технические условия». Перечень констант приведен в таблице 1. Переменные варьировались в следующих пределах: крутящий момент  $M=0 \dots 600$  Нм; угловая скорость  $\omega=0 \dots 104,7$  рад/с; угол излома  $\gamma=0 \dots 22^\circ$ .

**Таблица 1 – Константы для исследования аналитической модели температуры элементарного тепловыделяющего соединения карданного шарнира**

Наименование параметра	Единица измерения	Обозначение	Значение
Коэффициент распределения теплоты между трущимися телами	-	$\delta$	0,5
Коэффициент трения	-	$f$	0,075
Теплопроводность	Вт/м <sup>°C</sup>	$\lambda$	45,4
Коэффициент теплоотдачи поверхности	Вт/м <sup>2</sup> °C	$\alpha$	7,9
Коэффициент пропорциональности	-	$k_n$	1
Плотность материала	кг/м <sup>3</sup>	$\rho$	7800
Удельная теплоемкость	ДЖ/кг°С	$c$	0,115
Коэффициент температуропроводности	м <sup>2</sup> /с	$a$	0,00001172
Механический эквивалент теплоты	-	$I$	1
Длина волны неровностей на трущейся поверхности	м	$\lambda_D$	0,00001
Радиус шипа карданного шарнира	м	$r$	0,011
Средний радиус вращения шипов карданного шарнира	м	$R$	0,0395
Рабочая высота шипа	м	$h$	0,022

На рисунке 2 изображена зависимость температуры элементарного тепловыделяющего соединения от крутящего момента. Из рисунка видно, что зависимость имеет линейный характер, температура растет с увеличением крутящего момента, что соответствует принятой теории трения.



**Рис. 2. Зависимость температуры от крутящего момента при постоянных  $\omega=104,7$  рад/с,  $\gamma=22^\circ$**

На рисунках 3 и 4 представлены зависимости температуры от частоты вращения и угла излома карданного шарнира. Анализ зависимости от частоты вращения показывает, что функция имеет форму параболы, с увеличением частоты вращения скорость увеличения температуры уменьшается.

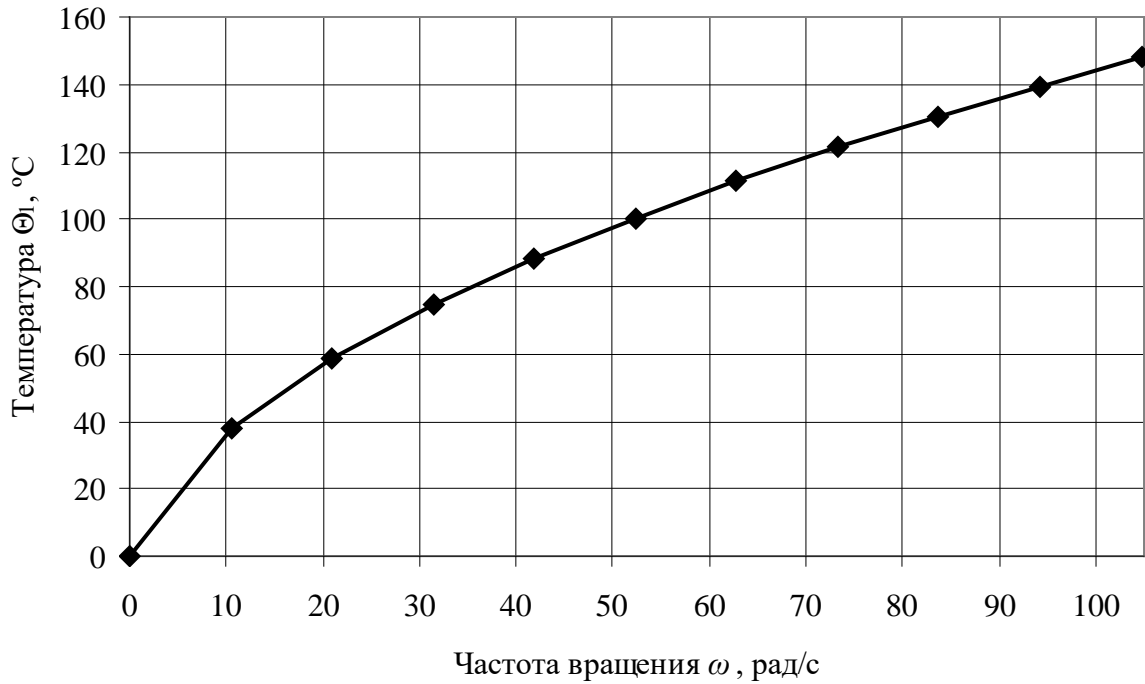


Рис. 3. Зависимость температуры от частоты вращения при постоянных  $M=600$  Нм,  $\gamma=22^\circ$

Особый интерес представляет зависимость температуры от угла излома карданного шарнира, которая практически не изучалась. Характерно, что с увеличением угла излома увеличивается и температура, а скорость увеличения температуры уменьшается, как и в случае с графиком зависимости от частоты вращения.

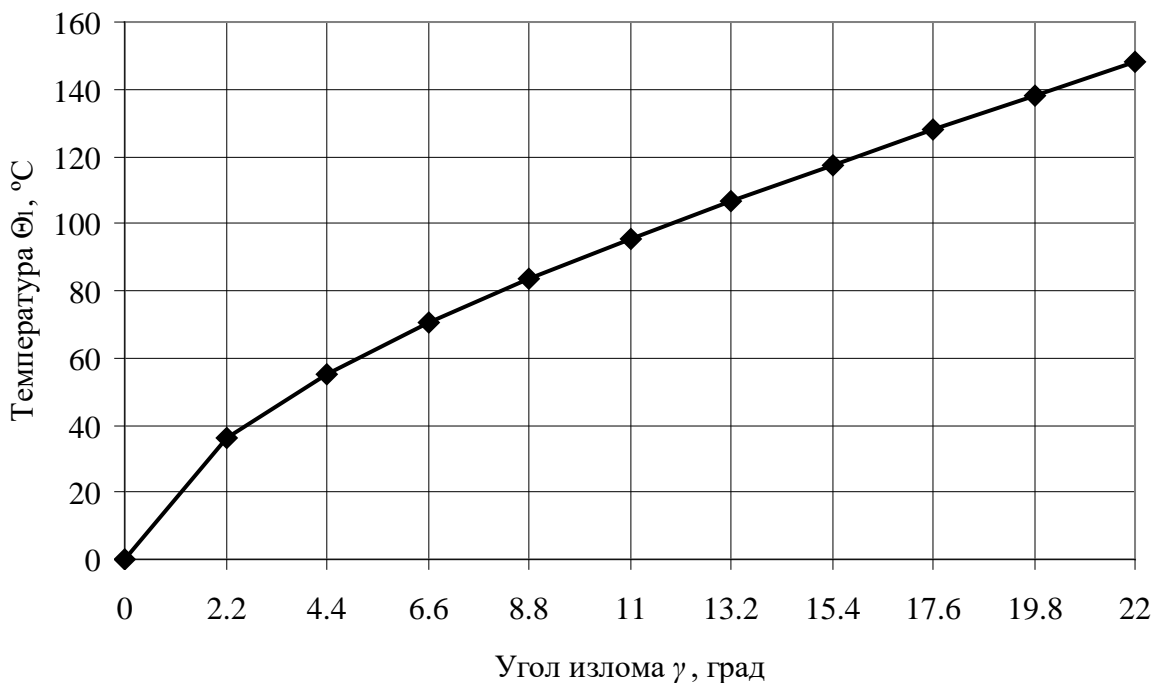


Рис. 4. Зависимость температуры от угла излома при постоянных  $M=600$  Нм,  $\omega=104,7$  рад/с

Так как зависимость температуры от крутящего момента линейна, то целесообразно изучить совместное влияние частоты вращения и угла излома карданного шарнира. Двухфакторная модель представлена на рисунке 5.

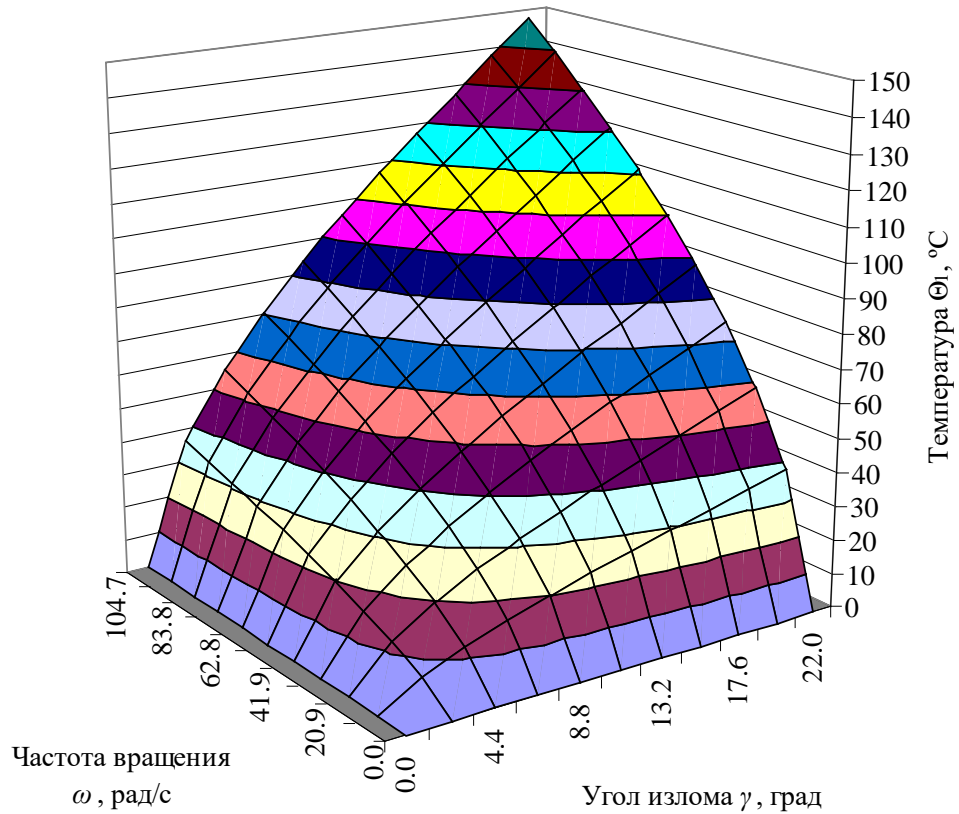


Рис. 5. Зависимость температуры от частоты вращения и угла излома при постоянном значении  $M=600$  Нм

Для определения значимости факторов полученной поверхности был произведен регрессионный анализ в среде MS Excel, в результате которого получено уравнение регрессии при постоянном значении крутящего момента  $M=600$  Нм:

$$\Theta_1^{600} = -9,85 + 0,678\omega + 2,9\gamma - 0,00376\omega^2 + 0,0426\omega\gamma - 0,0651\gamma^2. \quad (5)$$

Из проведенного регрессионного анализа можно сделать следующий вывод: наибольшей значимостью для модели температуры элементарного тепловыделяющего соединения подшипникового узла карданного шарнира обладает угол излома карданного шарнира, а также его угловая скорость.

Произведенное исследование позволяет производить расчет теплового режима карданного шарнира для второго и третьего иерархического уровня [14 – 19]. Полученная модель позволит производить расчет температурных режимов карданного шарнира в сборе, а также карданного шарнира в составе других тепловыделяющих элементов транспортных и технологических машин.

Второй иерархический уровень предполагает рассмотрение рабочих процессов карданного шарнира с оценкой комплекса тепловыделения с учетом количества рассеянной теплоты:

$$\Theta_2 = f(n; \Theta_1; W_p), \quad (6)$$

где  $\Theta_2$  – температура на внешних поверхностях карданного шарнира;  $n$  – количество тепловыделяющих сопряжений;  $W_p$  – рассеиваемая теплота.

На третьем иерархическом уровне рассматриваются рабочие процессы карданного шарнира, применяемого в карданной передаче, установленной в трансмиссиях транспортных и технологических машин. Третий иерархический уровень учитывает влияние тепловыделения сопряженных тепловыделяющих узлов:

$$\Theta_3 = f(\Theta_2; W_g), \quad (7)$$

где  $W_g$  – теплота от сопряженных узлов тепловыделения.

Характеристика тепловыделения узлов, сопряженных с карданным шарниром, может оказывать существенное влияние на результаты оценки температуры в зоне контакта, и вызывать затруднение при оценке технического состояния карданного шарнира. Принимая во внимание большое разнообразие конструкций карданных передач, а также тепловых режимов сопряженных элементов можно целесообразно использовать метод конечно-элементного анализа для построения картины распределения температурных полей в узлах карданного шарнира [20, 21].

Тепловой расчет карданного шарнира для второго иерархического уровня производился в среде КОМПАС-3D V 14 (ЗАО «АСКОН»), с использованием прикладной библиотеки АРМ FEM: прочностной анализ (НТЦ АПМ). Для анализа была построена модель подшипникового узла карданного шарнира, включающая фрагмент крестовины, стакан и игольчатые ролики (рисунок 6).

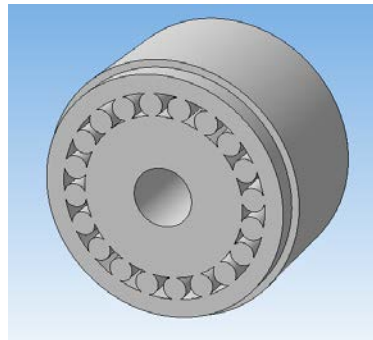
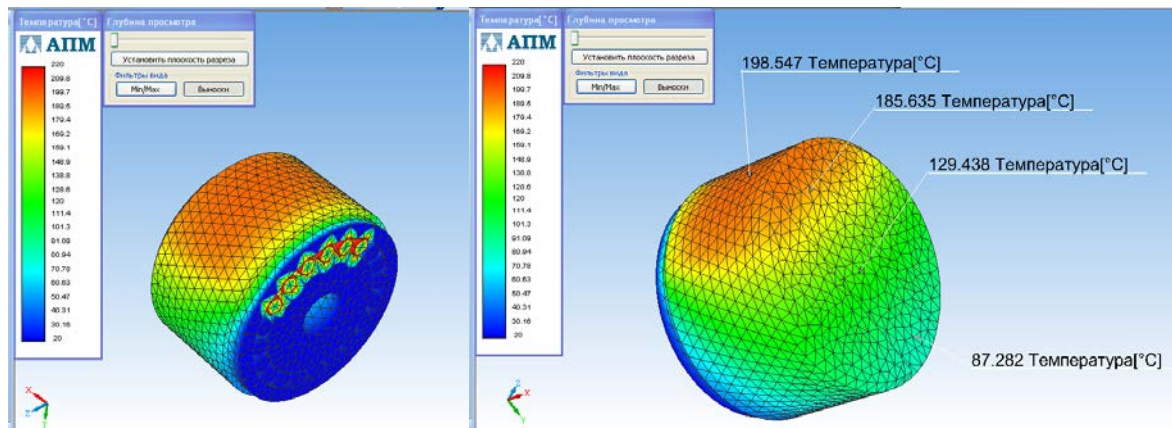


Рис. 6. Модель для теплового расчета

Температурная нагрузка (характерная температура) была приложена к нескольким игольчатым роликам, находящимся в рабочей зоне. Для произведения расчета модель была разбита на сетку конечных элементов. Результаты моделирования теплонапряженности для характерной температуры 200 °С представлены на рисунке 7.



а) карта температуры со стороны элементарных тепловыделяющих соединений

б) карта температуры со стороны, пригодной для диагностирования

Рис. 7. Результаты расчета температурного режима для подшипникового узла карданного шарнира

Анализ температурных полей деталей подшипникового узла карданного шарнира показал, что при характерной температуре в элементарном сопряжении  $\Theta_1=200$  °С, температура доньшка стакана подшипника составляет  $\Theta_1^Д=127$  °С. Полученная компьютерная модель позволила установить зависимость между температурой элементарного тепловыделяющего соединения  $\Theta_1$  и температурой доньшка подшипникового узла (диагностической температурой для первого иерархического уровня). На рисунке 8 представлена полученная зависимость.

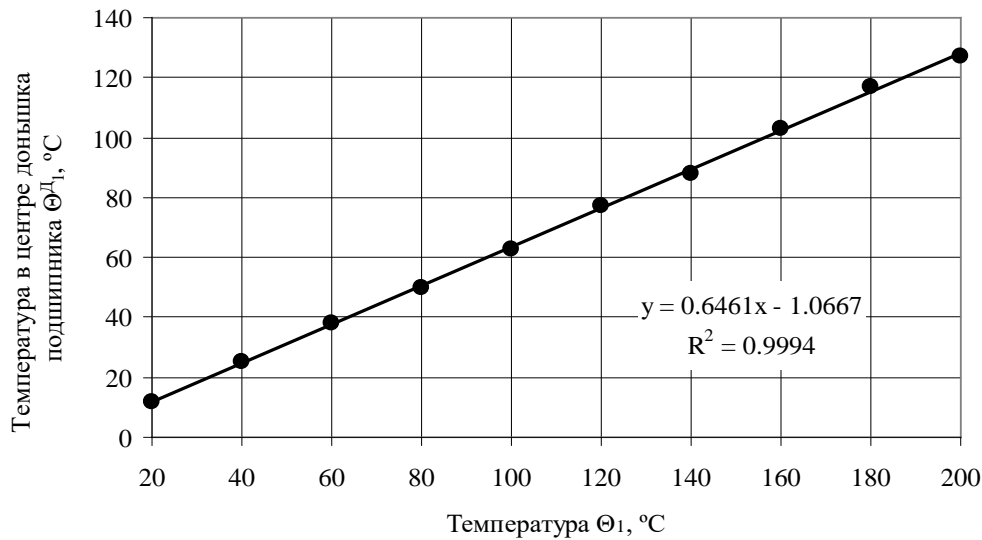
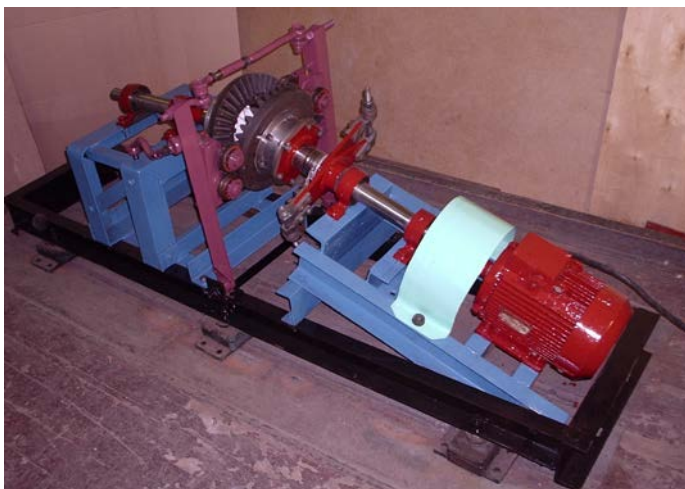


Рис. 8. Зависимость температуры в центре доннышка подшипника от температуры элементарного тепловыделяющего соединения

Полученная зависимость позволяет выделить коэффициент пропорциональности 0,646 для расчета диагностической температуры путем дополнения зависимости [4]. Таким образом, диагностическая температура для первого иерархического уровня  $\Theta_D^1$  определяется по следующей зависимости:

$$\Theta_D^1 = \frac{0,646 \delta f M \omega t \gamma}{4RI \left( \lambda \sqrt{\frac{\alpha(2h + \pi r)}{\lambda \pi r h}} + k_n \rho c 2,6 \frac{\sqrt{a}}{\lambda_D} \sqrt{\sin \gamma \omega r} \right)}. \quad (8)$$

Для проверки адекватности полученной модели были использованы результаты наблюдения за температурой подшипниковых узлов карданного шарнира при проведении стендовых ресурсных испытаний. Исходные установки: карданный шарнир с крестовиной К 040 по ГОСТ 13758-89, крутящий момент: 600 Нм; частота вращения: 104,7 с<sup>-1</sup>; угол излома: 9°. Экспериментальные исследования производились с использованием испытательного стенда, а измерение температуры производилось периодически при помощи контактного электронного термометра (рисунок 9).



а) общий вид испытательного стенда



б) измерение температуры подшипниковых узлов

Рис. 9. Испытательный стенд и измерение температуры подшипниковых узлов карданного шарнира

Расчет по зависимости (4) показал, что при указанных нагрузочных параметрах температура элементарного тепловыделяющего соединения составит  $\Theta_1=84,9$  °C, что по



уравнению (8) будет соответствовать температуре доньшка стакана игольчатого подшипника  $\Theta_{Д1}=54,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

На рисунке 10 представлены результаты наблюдения за динамикой изменения температуры подшипниковых узлов карданных шарниров и кривая тренда, обозначенная тонкой линией с регрессионным уравнением в верхней части графика. Форма полученного графика соответствует форме классической «кривой износа», вероятно связанной с процессами изнашивания поверхностей деталей подшипниковых узлов. Полученный график показывает три этапа, обозначенные на графике соответствующими цветами: желтая зона – интенсивное повышение температуры в начальный период испытаний; зеленая зона – период нормальной работы, характеризующийся наименьшей скоростью повышения температуры и красная зона – период интенсивного роста температуры, предшествующий выходу подшипника в предельное состояние. По каждому из приведенных этапов получены соответствующие линейные зависимости, с коэффициентами детерминации  $R^2$  – не менее 0,85. Температура последнего периода может служить диагностическим параметром для оценки технического состояния подшипникового узла карданного шарнира.

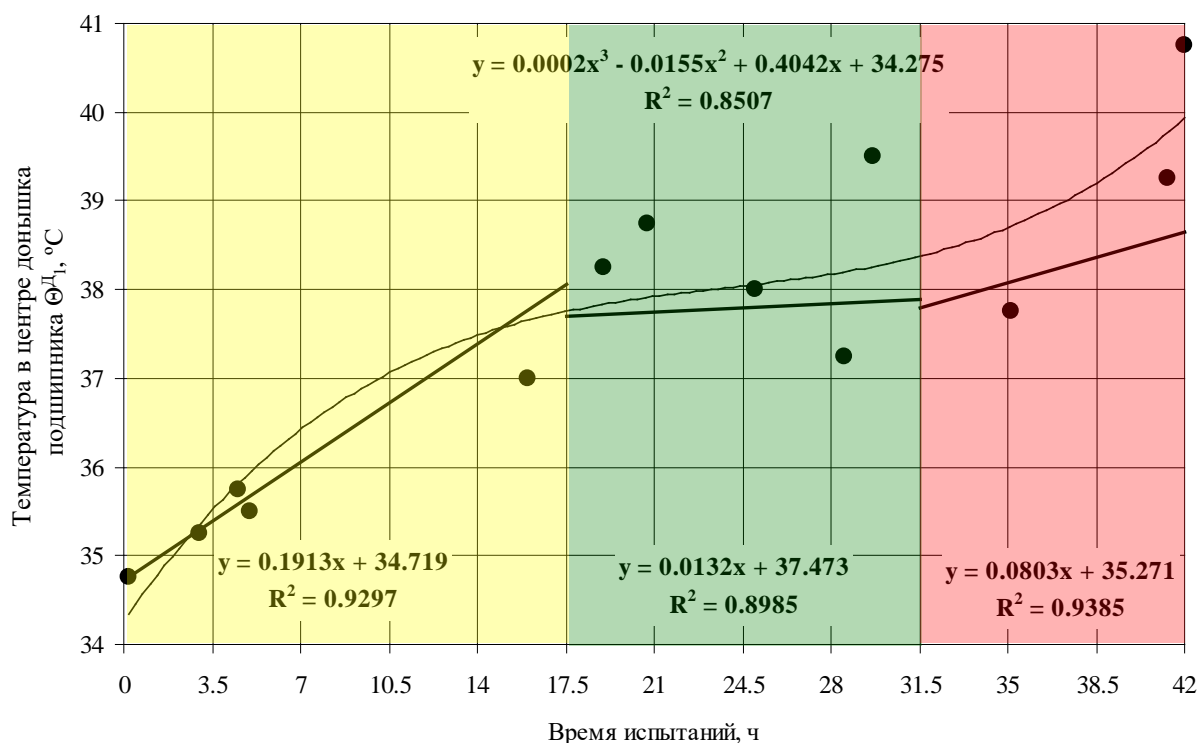


Рис. 10. Результаты наблюдений температуры карданного шарнира при стендовых испытаниях

Сравнение значений температур, полученных теоретическим методом  $\Theta_{Д1}=54,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , и в результате испытаний  $\Theta_{Д1}\approx 37,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , показывает на сопоставимость разработанной аналитической модели, но указывает на необходимость рассмотрения температурных режимов для карданного шарнира в сборе – то есть для второго иерархического уровня. Меньшее значение, полученное при испытаниях, подтверждает утверждение о функциональной зависимости температуры второго иерархического уровня от количества рассеиваемой теплоты поверхностями карданного шарнира. Моделирование температурного режима для второго иерархического уровня предполагается произвести с применением метода конечно-элементного анализа.

На рисунке 11 представлены результаты тепловизионных наблюдений карданного шарнира в эксплуатации, причем, температура его подшипниковых узлов  $\Theta_{Д1}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что подтверждает актуальность иерархического подхода к созданию модели теплонапряженности.

Картина распределения температур свидетельствует о значимости влияния тепловыделяющих агрегатов, сопряженных с карданным шарниром. Так, нагрев механизмов раздаточной коробки автомобиля до температуры в 47,6 °С, приводит к большему нагреву ведущей вилки  $\Theta_{Д1}=28$  °С чем ведомой  $\Theta_{Д1}=22,7$  °С. Эти результаты подкрепляют необходимость исследования влияния сопряженных тепловыделяющих узлов на температуру карданного шарнира на третьем иерархическом уровне.

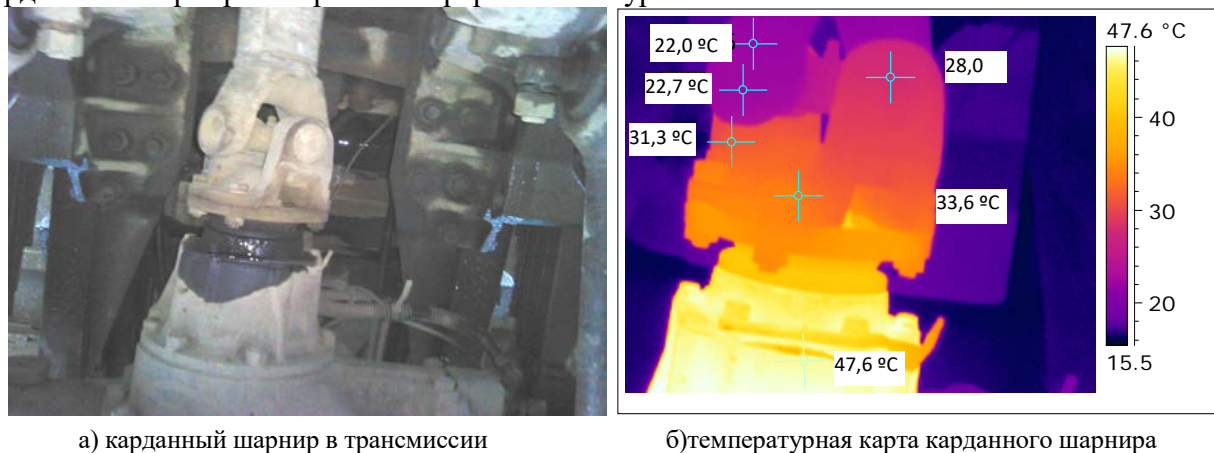


Рис. 11. Результаты тепловизионных наблюдений

### Выводы:

1. Установлено, что эксплуатационные факторы (крутящий момент, частота вращения, угол излома) оказывают значимое влияние на величину температуры элементарного тепловыделяющего соединения подшипникового узла карданного шарнира. Однако, для использования температуры в качестве диагностического параметра для карданных шарниров необходимо применить системный подход с теми иерархическими уровнями.

2. Для первого иерархического уровня – температуры элементарного тепловыделяющего соединения карданного шарнира получена аналитическая модель. Применение метода конечных элементов позволило дать оценку характеру распределения температуры в подшипниковом узле карданного шарнира и установить взаимосвязь между температурой тепловыделяющего соединения внутри подшипника и диагностической температурой для первого иерархического уровня.

3. Проведенные ресурсные стендовые испытания карданных шарниров позволили определить среднее значение температуры для установившегося режима работы карданного шарнира. Сопоставление значений температур, полученных теоретическим методом  $\Theta_{Д1}=54,9$  °С, и в результате испытаний  $\Theta_{Д1}\approx 37,7$  °С, указывает на адекватность разработанной аналитической модели, но требует рассмотрения температурных режимов для карданного шарнира в сборе – то есть для второго иерархического уровня.

4. Полученную модель теплонпряженности подшипниковых узлов карданных шарниров можно использовать для оценки их технического состояния – то есть для диагностирования в процессе эксплуатации по параметру температуры, поэтому задачей дальнейших исследований является моделирование температурных полей для карданного шарнира в сборе и дальнейшее уточнение аналитической модели для третьего иерархического уровня.

### Библиография

1. Ерохин М.Н., Пастухов А.Г. Надежность карданных передач трансмиссий сельскохозяйственной техники в эксплуатации : монография. Белгород.: Изд-во БелГСХА, 2008 160 с.
2. Пастухов А.Г. Повышение надежности карданных передач трансмиссий сельскохозяйственной техники: дисс. ... докт. техн. наук 05.20.03 / Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. Москва, 2008. 487 с.
3. Пастухов А.Г. Повышение надежности агрегатов механических трансмиссий сельскохозяйственной техники (на примере карданных передач) // Труды ГОСНИТИ. 2008. Т. 101. С. 60-63.

4. Пастухов А.Г. Повышение долговечности карданных шарниров // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007. № 4. С. 24-25.
5. Пастухов А.Г. Обеспечение эффективной эксплуатации грузовых автомобилей путем повышения надежности карданных передач // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2010. № 1 (22). С. 13-19.
6. Тимашов Е.П. Совершенствование процессов диагностики узлов трансмиссии автомобилей: монография. Белгород : АНО ВО Белгородский университет кооперации, экономики и права, 2018, 182 с.
7. Тимашов Е.П. Технические инновации сферы автомобильного сервиса: монография. Белгород : АНО ВО Белгородский университет кооперации, экономики и права, 2013, 103 с.
8. Pastukhov A.G., Timashov E.P. Method of diagnostics of cardan joints transport and technological machines // Tractors and power machines. 2013. T. 18. № 2. С. 29-35.
9. Крагельский И.В. Трение и износ. Изд. 2-е, перераб и доп. М.: Машиностроение. – 1968, 480 с.
10. Методика ускоренных испытаний карданных передач сельскохозяйственных машин. Руководящий технический материал РТМ 23.2.74-79. М.: ВИСХОМ, 1980. 40 с.
11. Лысов М.И. Карданные механизмы. М.: МАШГИЗ, 1945. 160 с.
12. Когаев В.П., Дроздов Ю.Н. Прочность и износостойкость деталей машин: Учеб. пособие для машиностр. спец. вузов. М.: Высш. шк., 1991. 319 с.
13. Дубинин А.Д. Энергетика трения и износа деталей машин. М.: МАШГИЗ. 1963, 138 с.
14. Терехов А.С. Системный подход к исследованию температурного режима агрегатов трансмиссии // Автомобильная промышленность. 1979. № 8. С. 21-23.
15. Pastukhov A.G., Timashov E.P., Parnikova T. Monitoring of reliability of agricultural machinery on the basis of methods of thermodiagnosics of drive lines // Tractors and power machines. 2017. T. 22. № 1-2. С. 31-38.
16. Pastukhov A.G., Timashov E.P. Analytical model of temperature condition elementary interface of the cardan joint // Tractors and power machines. 2018. T. 23. № 1-2. С. 43-50.
17. Pastukhov A.G., Timashov E.P., Parnikova T. System approach to assessment of thermal stress of units of transmissions // Applied Engineering Letters. 2017. T. 2. № 2. С. 65-68.
18. Пастухов А.Г., Тимашов Е.П. Оценка надежности карданных шарниров на основе аналитических моделей теплонапряженности // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. 2017. № 8. С. 43-48.
19. Пастухов А.Г., Тимашов Е.П. Оценка теплонапряженности агрегатов трансмиссий на основе системного подхода // Труды ГОСНИТИ. 2017. Т. 129. С. 73-78.
20. Richard H. Gallagher. Finite element analysis. Fundamentals. М.: Мир, 1984, - 429 с.
21. Пастухов А.Г., Тимашов Е.П. Метод конечных элементов в системе термодиагностики шарниров карданных передач // В сб.: Материалы Междунар. науч.-практ. конференции «Актуальные проблемы агроинженерии в XXI веке», посвященной 30-летию кафедры технической механики и конструирования машин. п. Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2018. С. 373-378.

#### References

1. Yerokhin M. N., Pastukhov A. G. Nadezhnost` kardanny`x peredach transmissij sel`skoxozyajstvennoj texniki v e`kspluatacii : monografiya. [Reliability of cardan transmissions of agricultural machinery in operation: monograph]. Belgorod: Publishing BSAA, 2008. 160 p.
2. Pastukhov A. G. Povy`shenie nadezhnosti kardanny`x peredach transmissij sel`skoxozyajstvennoj texniki: diss. ... dokt. texn. nauk 05.20.03 [Increase of reliability of cardan transmissions of agricultural machinery: Diss. ... Doct. Techn.] 05.20.03 / Moscow state Agroengineering University. V. P. Goryachkin. Moscow, 2008. 487 p.
3. Pastukhov A. G. Povy`shenie nadezhnosti agregatov mexanicheskix transmissij sel`skoxozyajstvennoj texniki (na primere kardanny`x peredach) [Increase of reliability of units of mechanical transmissions of agricultural machinery (on the example of gimbals)]. Proceedings of GOSNITI, 2008. No 101. Pp. 60-63.
4. Pastukhov A. G. Povy`shenie dolgovechnosti kardanny`x sharnirov [Increase of durability of cardan joints]. Mechanization and electrification of agriculture, 2007. No 4. Pp. 24-25.
5. Pastukhov A. G. Obespechenie e`ffektivnoj e`kspluatacii gruzovy`x avtomobilej putem povy`sheniya nadezhnosti kardanny`x peredach [Ensuring efficient operation of trucks by improving the reliability of gimbal transmission]. Bulletin of the Oryol State Agrarian University, 2010. No 1 (22). Pp. 13-19.
6. Timashov E. P. Sovershenstvovanie processov diagnostiki uzlov transmissii avtomobilej : monografiya. [Improvement of diagnostic processes of car transmission units : monograph]. Belgorod : ANO Belgorod University of cooperation, Economics and law, 2018. 182 p.
7. Timashov E. P. Texnicheskie innovacii sfery` avtomobil`nogo servisa: monografiya. [Technical innovations in the field of automotive service: monograph. Belgorod]. Belgorod: ANO Belgorod University of cooperation, Economics and law, 2013. 103 p.
8. Pastukhov A.G., Timashov E.P. Method of diagnostics of cardan joints transport and technological machines // Tractors and power machines. 2013. T. 18. No 2. Pp. 29-35.
9. Kragelsky I. V. Trenie i iznos. [Friction and wear]. М.: Engineering. 1968. 480 p.

10. Metodika uskoreny`x ispy`tanij kardanny`x peredach sel`skoxozyajstvenny`x mashin. Rukovodyashhij texnicheskij material RTM 23.2.74-79. [The method of accelerated tests cardan gear machines. The governing technical material RTM 23.2.74-79.]. M.: VISKHOM, 1980. 40 p.
11. Lysov, M. I. Kardanny`e mexanizmy` [Cardan mechanisms]. M.: MASHGIZ, 1945. 160 p.
12. Kogai V. P., Drozdov Yu. N. Prochnost` i iznosostojkost` detalej mashin: Ucheb. posobie dlya mashinostr. specz. vuzov. [The strength and durability of details of machines: Textbook. a manual for life.. spets. higher educational]. M.: High school, 1991. 319 p.
13. Dubinin A.D. E`nergetika treniya i iznosa detalej mashin [Energy of friction and wear of machine parts]. M: MASHGIZ, 1963. 138 p.
14. Terekhov, A. S. Sistemy`j podxod k issledovaniyu temperaturnogo rezhima agregatov transmissii. [System approach to the study of the temperature regime of transmission units]. Automotive industry, 1979. No 8. Pp. 21-23.
15. Pastukhov A.G., Timashov E.P., Parnikova T. Monitoring of reliability of agricultural machinery on the basis of methods of thermodiagnosics of drive lines // Tractors and power machines. 2017. T. 22. No 1-2. pp. 31-38.
16. Pastukhov A.G., Timashov E.P. Analytical model of temperature condition elementary interface of the cardan joint // Tractors and power machines. 2018. T. 23. No 1-2. Pp. 43-50.
17. Pastukhov A.G., Timashov E.P., Parnikova T. System approach to assessment of thermal stress of units of transmissions // Applied Engineering Letters. 2017. T. 2. No 2. Pp. 65-68.
18. Pastukhov A. G., Timashov E. P. Ocenka nadezhnosti kardanny`x sharnirov na osnove analiticheskix modelej teplonapryazhennosti. [Assessment of the reliability of universal joints on the basis of analytical models of thermal stresses]. Technical service of the agro-industrial, forestry and transport complexes, 2017. No 8. Pp. 43-48.
19. Pastukhov A. G., Timashov E. P. Ocenka teplonapryazhennosti agregatov transmissij na osnove sistemnogo podxoda. [Assessment of thermal stress of transmission units on the basis of a systematic approach]. Proceedings of GOSNITI, 2017. No 129. Pp. 73-78.
20. Richard H. Gallagher. Finite element analysis. Fundamentals. M.: World, 1984. 429 p.
21. Pastukhov A. G., Timashov E. P. Metod konechny`x e`lementov v sisteme termodiagnostiki sharnirov kardanny`x peredach. [Finite element Method in the system of thermal diagnostics of cardan gear joints]. Proceedings of the International scientific-practical conference «Actual problems of agroengineering in the XXI century», dedicated to the 30th anniversary of the department of technical mechanics and machine design. p. Maisky: FSBEI HE Belgorod SAU, 2018. Pp. 373-378.

#### **Сведения об авторе**

Тимашов Евгений Петрович, кандидат технических наук доцент кафедры гостинично-туристического сервиса, коммерции и рекламы, АНО ВО «Белгородский университет кооперации, экономики и права», ул. Садовая, д. 116а, г. Белгород, Россия, 308023, тел. +7-4722-31-30-91, e-mail: timachov@mail.ru

#### **Information about author**

Timashov Evgeny Petrovich, candidate of technical Sciences, associate Professor of hotel and tourism service, Commerce and advertising Department, ANO VO "Belgorod University of cooperation, Economics and law", Sadovaya street, 116a, Belgorod, Russia, 308023, tel. +7-4722-31-30-91, e-mail: timachov@mail.ru

УДК 637.116

В.Ф. Ужик, С.И. Некипелов, О.В. Китаёва, О.С. Кузьмина

## К ОБЕСПЕЧЕНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОТИВ ОПРОКИДЫВАНИЯ МОБИЛЬНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ДОЕНИЯ КОРОВ

**Аннотация.** В условиях фермерских хозяйств и частных подворий зачастую дойное стадо коров содержат небольшими группами. Применение в таком случае доильных установок весьма ограничено. Чаще всего для этого используются мобильные агрегаты для индивидуального доения одной, реже двух животных. Рассчитаны они на обслуживание стада до 10 голов. Разработанный мобильный агрегат содержит датчик потока молока и управляемый им вертикально установленный на шасси пневмоцилиндр для снятия доильного аппарата. Исследованиями установлено, что для конструктивных параметров агрегата:  $s_1=0,1$  м - расстояние от платформы до поршня, при крайнем нижнем его положении;  $s_2=0,1$  м - отклонение по высоте фиксатора относительно поршня, при крайнем верхнем его положении;  $s_3=0,1$  м - отклонение по высоте положения точки крепления троса к доильному аппарату относительно платформы тележки доильного агрегата;  $k=1,2$  - коэффициент удлинения троса; ход поршня пневмоцилиндра составляет  $1,04$  м,  $F_d=54$  Н - вес электродвигателя;  $F_v=38$  Н - вес вакуумной аппаратуры;  $F_a=250$  Н - вес платформы агрегата;  $F_c=30$  Н - вес пневмоцилиндра;  $F_{dv}=50$  Н - вес доильного ведра;  $F_z=10$  Н - вес поворотного рычага;  $x_1=0,3$  м - координата центра тяжести электродвигателя;  $x_2=0,15$  м - координата центра тяжести вакуумной аппаратуры;  $x_3=0,4$  м - координата центра тяжести платформы агрегата;  $x_4=0,3$  м - координата центра тяжести пневмоцилиндра;  $x_5=0,4$  м - координата центра тяжести доильного ведра;  $l_z=0,1$  м - длина поворотного рычага; расстояние от первой опоры до линии опор А и В должно быть не менее  $0,422$  м, а расстояние между опорами А и В - не менее  $0,262$  м. Этим подтверждается верность математических моделей, характеризующих положение опор шасси агрегата и реакции на них в процессе движения доильного аппарата по траектории его снятия с вымени коровы. По итогам эксперимента, в течение 90 дней лактации, отмечается, что в результате использования экспериментального мобильного агрегата для доения коров в сравнении с доильным агрегатом АИД-1 имеет место рост молочной продуктивности коров на  $2,73\%$ , сокращение затрат времени на обслуживание одного агрегата на  $17,0\%$ , что позволяет оператору обслуживать два агрегата, а также снижение заболеваемости вымени коров маститом на  $11,11\%$ .

**Ключевые слова:** мобильный агрегат, доение, устойчивость, опрокидывание, доильный аппарат.

### TO ENSURE SUSTAINABILITY AGAINST TIPPING MOBILE UNIT FOR COWING

**Abstract.** In the conditions of farms and private farmsteads, often a milch herd of cows is contained in small groups. The use in this case of milking installations is very limited. Most often, for this purpose, mobile units are used for individual milking of one, less often two animals. They are designed for the maintenance of the herd to 10 heads. The mobile unit developed by us contains a milk flow sensor and a pneumatic cylinder vertically mounted on the chassis and controlled by it to remove the milking machine. Research has established that for the design parameters of the unit:  $s_1=0.1$  m the distance from the platform to the piston, with its lowest position;  $s_2=0.1$  m - deviation in height of the latch relative to the piston, with its extreme upper position;  $s_3=0.1$  m - deviation in height of the position of the attachment point of the cable to the milking apparatus relative to the platform of the milking unit carriage;  $k=1.2$  - cable elongation factor; pneumatic cylinder piston stroke is  $1.04$  m,  $F_d=54$  N - electric motor weight;  $F_v=38$  N - the weight of the vacuum apparatus;  $F_a=250$  N - the weight of the platform;  $F_c=30$  N - the weight of the pneumatic cylinder;  $F_{dv}=50$  N - the weight of the milking bucket;  $F_z=10$  N - the weight of the pivot arm;  $x_1=0.3$  m - the coordinate of the center of gravity of the electric motor;  $x_2=0.15$  m is the coordinate of the center of gravity of the vacuum apparatus;  $x_3=0.4$  m - the coordinate of the center of gravity of the platform;  $x_4=0.3$  m - the coordinate of the center of gravity of the pneumatic cylinder;  $x_5=0.4$  m - the coordinate of the center of gravity of the milking bucket;  $l_z=0.1$  m pivot arm length; the distance from the first support to the line of supports A and B should be at least  $0.422$  m, and the distance between supports A and B - not less than  $0.262$  m. This confirms the correctness of mathematical models characterizing the position of the supports unit chassis and reactions to them in the process of the milking machine moving along the trajectory of its removal from the udder of the cow.

According to the results of the experiment, within 90 days of lactation, it is noted that as a result of using an experimental mobile unit for milking cows in comparison with the milking unit AID-1, the milk productivity of cows increases by  $58\%$ , reducing the time spent on servicing one unit by  $17.0\%$ , which allows the operator to serve two units, as well as reducing the incidence of udder cows with mastitis by  $11.11\%$ .

**Keywords:** mobile unit, milking, stability, tilting, milking machine.

**Введение.** Становление молочного скотоводства – непростая задача. При этом нельзя не обратить внимание на такое направление развития молочного скотоводства как мелкотоварное производство. Оно предусматривает содержание и доение небольших групп коров. Применение в таком случае доильных установок весьма ограничено. И зачастую для этого

используются мобильные агрегаты для индивидуального доения одного, реже двух животных. Рассчитаны они на обслуживание стада до 10 голов. Как правило, в таких агрегатах применяются однорежимные доильные аппараты. Также следует заметить, что вследствие отсутствия каких-либо элементов автоматики управления технологическим процессом, оператор затрачивает на доение одной коровы не менее пяти минут, субъективно оценивая интенсивность потока молока, при котором доильный аппарат снимается с вымени коровы. В то время как при доении, например, на доильной установке «Карусель» - не более 7...9 с [1].

Поэтому весьма важным для данного типа доильного оборудования является разработка элементов его конструкции, позволяющих снизить затраты ручного труда на обслуживание коровы в процессе доения, в частности на выполнение машинного дооя и снятие доильного аппарата с вымени, повысить выдоенность вымени коровы и, как следствие, повысить молочную продуктивность, а также снизить заболеваемость вымени коров маститом. При этом следует учесть то обстоятельство, что при снятии доильного аппарата с вымени коровы возникают дополнительные силы, направленные на опрокидывание мобильного агрегата. Поэтому является весьма важным обеспечить его устойчивость.

**Цель исследований.** Разработка конструкции мобильного агрегата для доения коров и выявления оптимального положения опор шасси, при которых обеспечивается его устойчивость против опрокидывания при снятии доильного аппарата с вымени коровы.

#### **Материал исследований.**

Для получения более полной информации об известных устройствах, контролирующих интенсивность потока молока, и механизмах снятия доильного аппарата с вымени коровы, а также определение наиболее приемлемых их конструкций для использования в мобильных агрегатах доения коров, нами выполнен их анализ, систематизация и классификация (рисунок 1).

Как показывает анализ, спектр регулируемых воздействий на молочную железу коровы весьма широк, поэтому отрабатываются различные направления в создании новых технических средств, реализующих эти воздействия с достаточным эффектом.

Рассматривая известное технологическое оборудование для доения коров, новые технические решения, следует отметить, что, прежде всего, при систематизации их следует изучать в нескольких направлениях:

- 1) оборудование для добровольного доения коров, доильные установки-роботы;
- 2) станочное доильное оборудование, применяемое при беспривязно-боксовой системе содержания коров с доением в доильном зале;
- 3) привязное содержание со сбором молока в молокопровод;
- 4) привязное содержание со сбором молока в доильные ведра;
- 5) привязно-беспривязное содержания коров в условиях фермерских хозяйств и частных подворий.

В основу компоновочной схемы современного доильного оборудования положены разработки конца XIX - начала XX века. Но вместе с тем следует отметить, что в конструкции доильных машин, особенно в последние десятилетия, происходят значительные изменения. В истоки этих изменений легли результаты углубленного изучения закономерностей основных физиологических функций лактирующего организма коровы, познания методов стимуляции молочной продуктивности, исследований влияния стимулов сосания или доения на формирование активных реакций двигательного аппарата молочной железы, изучения характера воздействия на соски и доли вымени коровы теленка в процессе кормления и т.д.

Бурный технический прогресс, создание электронных систем контроля и управления технологическими процессами в полной мере коснулись и отрасли машиностроения в области доильного оборудования. Стремление максимально приблизить характер воздействия технического устройства на соски вымени коровы к естественному процессу сосания коровы теленком повлекло за собой необходимость применения элементов автоматики, контролирующей поток молока и осуществляющих управление режимом воздействия на соски вымени. Управляемые параметры – вакуумметрическое давление доения в камерах доильных стаканов, частота и соотношение тактов пульсаций пульсатора, а также момент снижения ваку-

умметрического давления по завершению доения или отключения и снятия доильного аппарата с вымени коровы. Но следует заметить, что вне зависимости от конструкции, используемые доильные аппараты оказывают достаточно «жесткое» воздействие на соски вымени. По данным исследований в процессе сосания коровы в полости рта месячного теленка вакуумметрическое давление не превышает 30,0 кПа, а у теленка в возрасте 2-3 дня и вовсе составляет 8,0 кПа, в то время как вакуумметрическое давление в доильных аппаратах не опускается ниже 33,0 кПа [2-4]. В номинальном режиме доения в большинстве доильных аппаратов вакуумметрическое давление колеблется в интервале 42,0...48,0 кПа. Это связано, прежде всего, с необходимостью быстрого извлечения молока в период действия окситоцина. Поэтому, как отмечалось выше, весьма важным является обеспечение своевременного снятия доильных аппаратов с молочной железы.

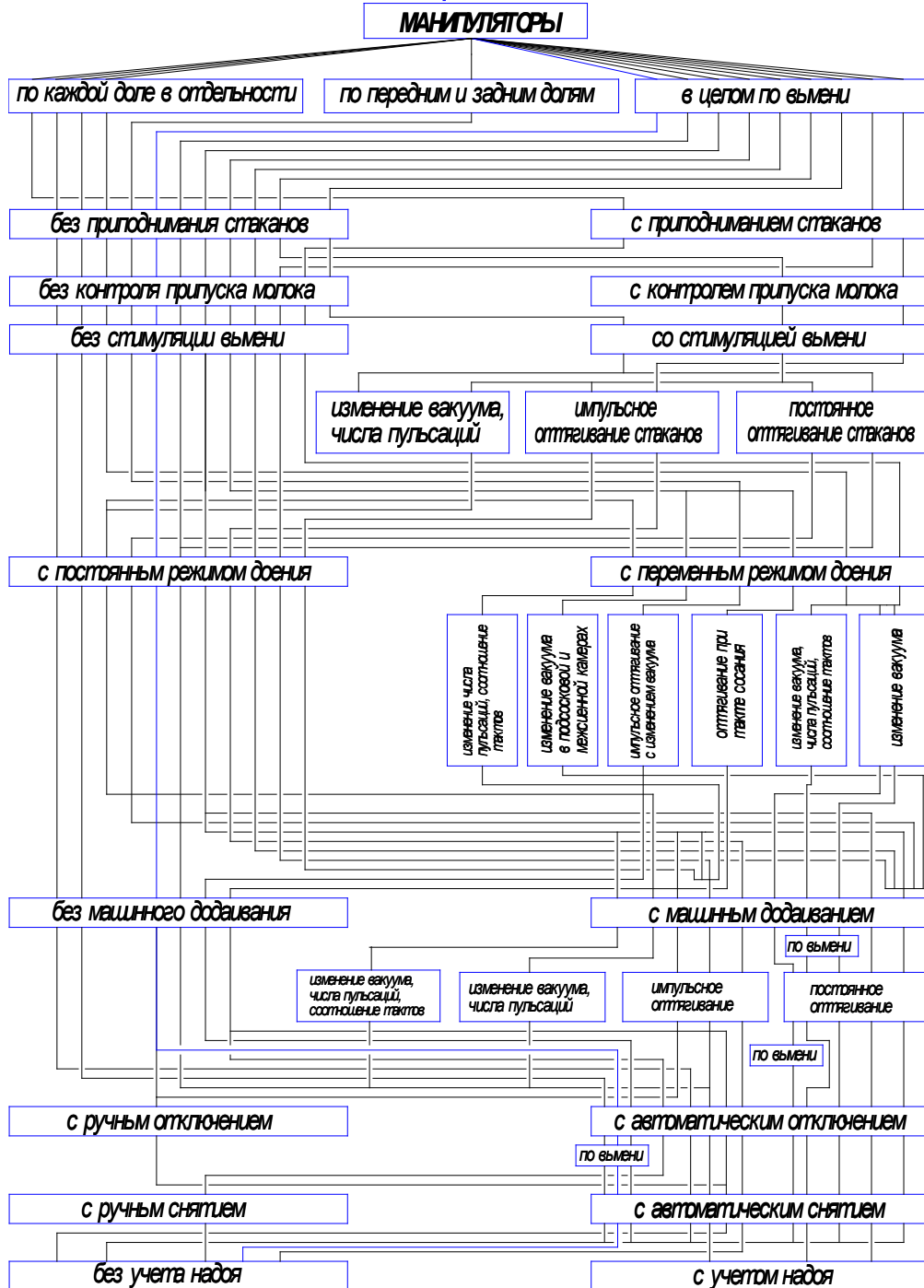


Рис. 1. Классификация манипуляторов доильных установок

На основе системного синтеза имеющейся информации об управляемых режимах доения коров, известных технических решениях конструкций исполнительных узлов и механизмов доильных машин, нами сформирован алгоритм работы мобильного агрегата для доения коров, приведенный на рисунке 2.

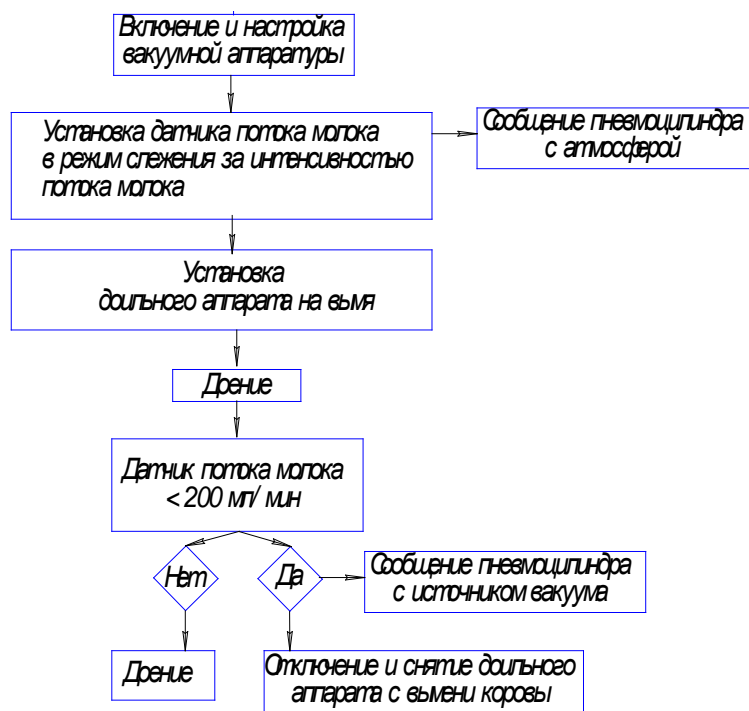
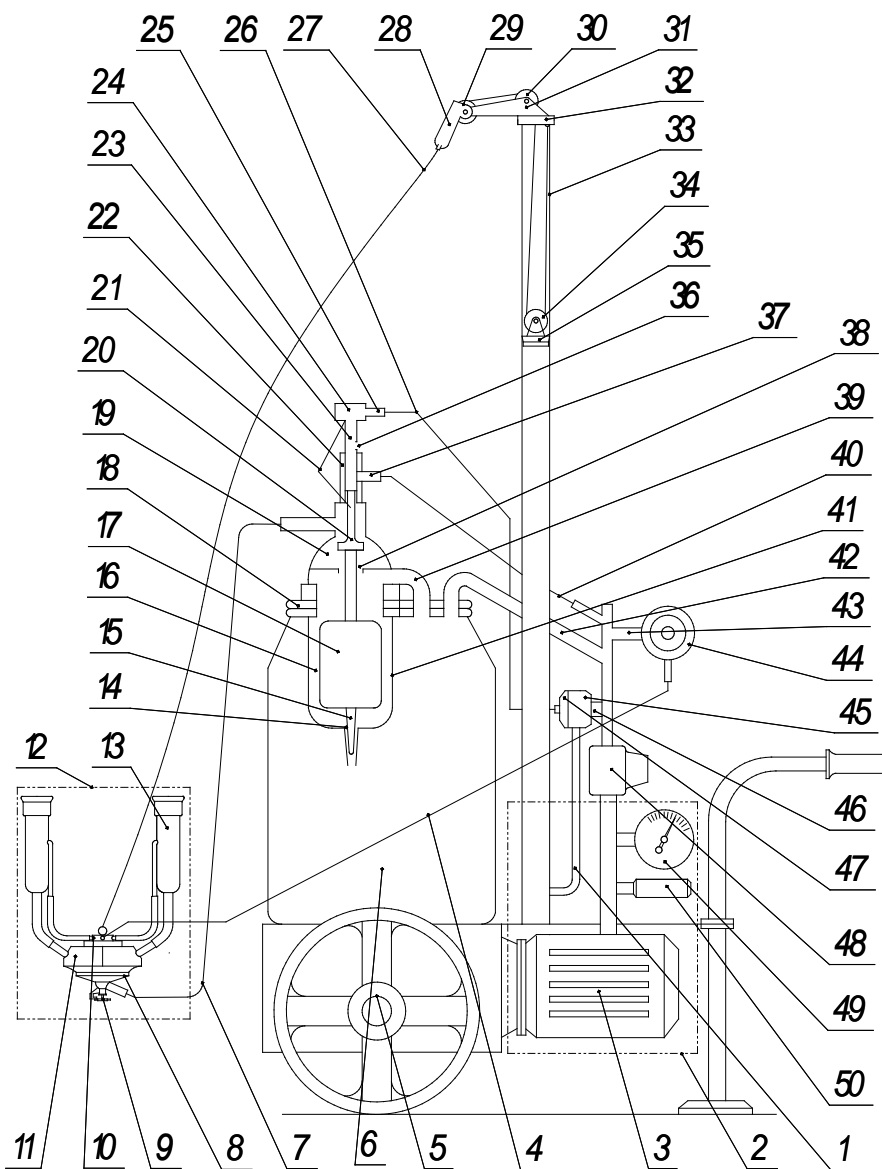


Рис. 2. Алгоритм работы мобильного агрегата для доения коров

Данный алгоритм работы мобильного агрегата для доения коров послужил основой для разработки его конструктивной схемы, которая приведена на рисунке 3 [5-12]. Отличительная его особенность – наличие датчика потока молока и управляемого им вертикально установленного на шасси агрегата пневмоцилиндра снятия доильного аппарата с вымени коровы по завершению доения.

Мобильный агрегат работает следующим образом: оператор включает вакуумную аппаратуру агрегата, устанавливает заданное вакуумметрическое давление и устанавливает датчик потока молока в стартовое положение, зафиксировав поплавок опрокидывающейся скобой, подставив ее под головку плунжера. В результате пневмоцилиндр снятия доильного аппарата сообщается с атмосферой. Оператор устанавливает доильный аппарат на вымя коровы. Начинается процесс доения. При увеличении интенсивности потока молока выше контрольного значения, например 200 мл/мин., поплавок всплывает, приподнимая плунжер вместе с головкой и тем самым освобождая опрокидывающуюся скобу, которая возвращается в исходное положение. Датчик потока молока переходит в следящий режим. При снижении потока молока в доильных стаканах ниже контрольного значения, поплавок опускается в крайнее нижнее положение и отключает доильный аппарат от вакуумметрического давления, прекращая доение, и одновременно подключает пневмоцилиндр для снятия доильного аппарата с вымени коровы. Доение завершено.





1, 40, 42, 43, 46 – патрубков; 2 - вакуумная аппаратура; 41 - датчик потока молока; 17 – поплавок; 21 - опрокидывающаяся скоба; 23 - полный плунжер; 24- головка; 33 – пневмоцилиндр; 12 - доильный аппарат; 3 - вакуумный насос; 4 - гибкий шланг; 5 - шасси; 6 - доильное ведро; 7 - гибкий молочный шланг; 8 – коллектор; 9 – клапан; 10 - распределительная камера; 11 - молокоприемная камера; 13 - доильный стакан; 14 - сливное калиброванное отверстие; 15 – игла; 16 - поплавковая камера; 18 – крышка; 19 - молокоприемная камера; 20 – клапан; 22 – гильза; 25 – штуцер; 26 - гибкий шланг; 27 – трос; 28 – хвостовик; 29 - обводной ролик; 30 - обводной ролик; 31 - поворотный рычаг; 32 – подшипник; 34 - обводной ролик; 35 – поршень; 36 – отверстие; 37 – штуцер; 38 - сливное отверстие; 39 - переливной патрубок; 44 – пульсатор; 45 – пневмоусилитель; 47 - камера управления; 48 - запорный вентиль; 49 – вакуумметр; 50 – вакуумрегулятор

**Рис. 3. Мобильный агрегат для доения коров**

**Результаты исследований и обсуждение.** При составлении математической модели рабочего процесса пневмоцилиндра снятия доильного аппарата с вымени коровы учитывали то, что, во первых - мобильный агрегат устанавливают как можно ближе к вымени коровы, и во вторых – при снятии доильного аппарата с молочной железы он не должен соприкасаться с полом стойла животного. В таком случае, так как поршень с тросом взаимодействует посредством обводного ролика, для фиксации доильного аппарата в крайнем верхнем положении, ход поршня должен быть не менее половины длины максимально выдвинутого из пневмоцилиндра троса от доильного аппарата до фиксатора на поворотном рычаге, связывающего доильный аппарат с поршнем пневмоцилиндра (рисунок 3) [11-15]:

$$s = \frac{-k^2(s_1 \pm s_2 \pm s_3) \pm \sqrt{k^4(s_1 \pm s_2 \pm s_3)^2 - (k^2 - 4)[k^2(s_1 \pm s_2 \pm s_3) + a^2 k^2]}}{(k^2 - 4)}, \quad (1)$$

где  $s$  – ход поршня,  $m$ ;  $s_1$  - расстояние от платформы до поршня при крайнем нижнем его положении,  $m$ ;  $s_2$  - отклонение по высоте фиксатора относительно поршня при крайнем верхнем его положении,  $m$ ;  $s_3$  - отклонение по высоте положения точки крепления троса к доильному аппарату относительно платформы тележки доильного агрегата,  $m$ ;  $a$  – расстояние от точки крепления троса к доильному аппарату до положения фиксатора в горизонтальной плоскости,  $m$ .

Очевидно, что в процессе снятия доильный аппарат совершает колебательное движение. Плоское движение исследуемого процесса снятия доильного аппарата с молочной железы коровы можно моделировать математическим маятником. Исходя из условия работоспособности данной конструкции доильного агрегата: - доильный аппарат не должен соприкасаться с полом стойла коровы. В своих рассуждениях мы будем рассматривать движение маятника переменной длины [12 - 15].

В начальный момент движения доильного аппарата при снятии с вымени коровы в тросе его крепления должно быть создано начальное усилие  $F_n$  удержания доильного аппарата от падения на пол. Его значение можно представить в виде:

$$F_n \geq F_{da} \cos \alpha, \quad (2)$$

где  $F_{da}$  – сила тяжести, действующая на доильный аппарат,  $H$ ;  $\alpha$  – угол отклонения троса от вертикали в начальный момент снятия доильного аппарата вымени коровы,  $rad$ .

Сила тяжести  $F_{da}$ , действующая на доильный аппарат, равна:

$$F_{da} = mg, \quad (3)$$

где  $m$  – масса доильного аппарата,  $kg$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $m/c^2$ .

Угол  $\alpha$  отклонения троса от вертикали в начальный момент снятия доильного аппарата вымени коровы зависит от расстояния от точки крепления троса к доильному аппарату до положения фиксатора соответственно в горизонтальной и вертикальной плоскости  $a$  и  $h$ :

$$\alpha = \arctg \frac{a}{h}, \quad (4)$$

Но по мере перемещения доильного аппарата, с появлением скорости движения, возникает центростремительная сила, оказывающая влияние на натяжение троса пневмоцилиндра:

$$F_1 = F_{da} \cos \alpha + F_{cen}, \quad (5)$$

где  $F_{cen}$  - центростремительная сила,  $H$ .

Центростремительная сила определяется выражением:

$$F_{cen} = \frac{mv_d^2}{R}, \quad (6)$$

где  $v_d$  – скорость движения доильного аппарата, направленная по касательной к траектории его перемещения,  $m/c$ ;  $R$  – радиус траектории движения доильного аппарата,  $m$ . В нашем случае  $R=l$  – длине троса от точки крепления к доильному аппарату до фиксатора.

Однако следует заметить, что длина троса  $l$  – величина переменная, а так как высота над уровнем пола точки подвеса доильного аппарата, относительно которой осуществляется его вращение в процессе снятия с вымени коровы равна:

$$b = s + s_1 \pm s_2 \pm s_3 + s_4, \quad (7)$$

где  $b$  - высота над уровнем пола точки подвеса доильного аппарата,  $m$ ;  $s_4$  – высота расположения платформы агрегата над уровнем пола,  $m$ ,

текущее значение длины троса при движении доильного аппарата в горизонтальной плоскости можно представить в виде:

$$l_t = l - \frac{(l-b)(\alpha-\alpha_t)}{\alpha}, \quad (8)$$

где  $l_t$  – текущее значение длины троса,  $m$ .

Смещение вверх вдоль линии троса подвеса обусловлено необходимостью изменения траектории движения доильного аппарата по высоте для предотвращения его столкновения с полом стойла коровы.

В таком случае кинетическая энергия доильного аппарата будет состоять из двух составляющих:

$$W_d = W_k + W_c, \quad (9)$$

где  $W_d$  – кинетическая энергия доильного аппарата, Дж;  $W_k$  – кинетическая энергия доильного аппарата, движущегося со скоростью  $v_k$ , направленной по касательной к траектории его перемещения радиусом  $l$ , Дж;  $W_c$  – кинетическая энергия доильного аппарата, движущегося со скоростью  $v_c$ , направленной вдоль линии троса к оси вращения, Дж.

Потенциальная энергия доильного аппарата будет равна:

$$W_p = mg \left( l - \frac{(l-b)(\alpha-\alpha_t)}{\alpha} \right) (\cos \alpha_t - \cos \alpha), \quad (10)$$

где  $\alpha_t$  – текущее значение угла  $\alpha$ , рад.

А центростремительная сила:

$$F_{cen} = \frac{mv_d^2}{l_t}, \quad (11)$$

или

$$F_{cen} = \frac{mv_d^2}{l - \frac{(l-b)(\alpha-\alpha_t)}{\alpha}}. \quad (12)$$

Полная энергия доильного аппарата в крайних положениях равна кинетической или потенциальной энергии. В таком случае:

$$W_d - W_p = 0, \quad (13)$$

или

$$\frac{mv_k^2}{2} + \frac{mv_c^2}{2} - mg \left( l - \frac{(l-b)(\alpha-\alpha_t)}{\alpha} \right) (\cos \alpha_t - \cos \alpha) = 0. \quad (14)$$

Так как:

$$v_k^2 + v_c^2 = v_d^2, \quad (15)$$

можно записать:

$$\frac{mv_d^2}{2} - mg \left( l - \frac{(l-b)(\alpha-\alpha_t)}{\alpha} \right) (\cos \alpha_t - \cos \alpha) = 0. \quad (16)$$

Из этого уравнения следует, что:

$$v_d^2 = 2g \left( l - \frac{(l-b)(\alpha-\alpha_t)}{\alpha \cos \alpha_t} \right) (\cos \alpha_t - \cos \alpha). \quad (17)$$

Подставив данное уравнение в уравнение (12), определим центростремительную силу, действующую на доильный аппарат:

$$F_{cen} = \frac{2mg \left( l - \frac{(l-b)(\alpha-\alpha_t)}{\alpha} \right) (\cos \alpha_t - \cos \alpha)}{l - \frac{(l-b)(\alpha-\alpha_t)}{\alpha}}, \quad (18)$$

или

$$F_{cen} = 2mg(\cos \alpha_t - \cos \alpha). \quad (19)$$

Это дает нам возможность записать уравнение для определения натяжение троса пневмоцилиндра:

$$F_1 = mg \cos \alpha + 2mg(\cos \alpha_t - \cos \alpha) = mg(2 \cos \alpha_t - \cos \alpha). \quad (20)$$

Актуальным является обеспечение устойчивого состояния агрегата, так как формируемое пневмоцилиндром усилие  $F_1$  удержания доильного аппарата от падения на пол вызывает возникновение момента опрокидывания  $M_{opr}$  под воздействием на поворотный рычаг пневмоцилиндра развиваемой в тросе силы  $F_t$  [12 - 15]:

$$F_1 = F_t. \quad (21)$$

Вертикальная составляющая силы  $F_t$  может быть представлена выражением вида:

$$F_{ty} = F_1 \cos \alpha, \quad (22)$$

а горизонтальная –

$$F_{tx} = F_1 \sin \alpha. \quad (23)$$

Или с учетом уравнений (2), (3) и (20):

$$F_{cy} = mg \cos \alpha_t (2 \cos \alpha_t - \cos \alpha), \quad (24)$$

$$F_{tx} = mg \sin \alpha_t (2 \cos \alpha_t - \cos \alpha). \quad (25)$$

Из научной литературы, а также выполненных Ульяновцевым Ю.Н. исследований следует, что для устойчивого состояния технических средств, а в нашем случае мобильного агрегата для доения коров, геометрический центр тяжести должен находиться внутри горизонтально расположенного многоугольника, образованного линиями, последовательно соединяющими точки его опор [13- 17]. Для определения положения центра тяжести мобильного агрегата вполне можно воспользоваться теоремой Вариньона, гласящей о том, что момент равнодействующей относительно оси системы координат равен алгебраической сумме моментов сил исследуемой системы относительно этой же оси [13- 15]:

$$M_x(F_\Sigma) = Gy_c = \sum_0^n q_k y_k; y_c = \frac{\sum_0^n q_k y_k}{G}; \quad (26)$$

$$M_y(F_\Sigma) = Gx_c = \sum_0^n q_k x_k; x_c = \frac{\sum_0^n q_k x_k}{G}, \quad (27)$$

где  $M_x$  – момент равнодействующей относительно оси  $x$ ,  $Hm$ ;  $M_y$  – момент равнодействующей относительно оси  $y$ ,  $Hm$ ;  $G$  – равнодействующая действующих сил исследуемой системы,  $H$ ;  $x_c$  – координата центра тяжести по оси  $x$ ,  $m$ ;  $y_c$  – координата центра тяжести по оси  $y$ ,  $m$ ;  $q_k$  –  $k$ -тая сила,  $H$ ;  $x_k$  – координата точки приложения  $k$ -той силы по оси  $x$ ,  $m$ ;  $y_k$  – координата точки приложения  $k$ -той силы по оси  $y$ ,  $m$ .

Начало координат расположим в точке первой опоры агрегата. Очевидно, что центр тяжести меняет свое положение в зависимости от угла  $\beta$  установки поворотного рычага пневмоцилиндра, через ролики которого проходит трос, соединяемый с установленным на вымени коровы доильным аппаратом. Поэтому мы можем записать:

$$Fx_c = F_d x_1 + F_v x_2 + F_a x_3 + F_c x_4 + F_{dv} x_5 + F_z \left( x_4 + \frac{l_z}{2} \cos \beta \right) + F_{ty} (x_4 + l \cos \beta), \quad (28)$$

$$Fy_c = F_z \frac{l_z}{2} \sin \beta + F_{ty} l_z \sin \beta, \quad (29)$$

где  $F = F_d + F_v + F_a + F_c + F_{dv} + F_z + F_{ty}$  – равнодействующая веса составных частей агрегата с учетом вертикальной составляющей силы  $F_l$ , развиваемой пневмоцилиндром в момент снятия доильного аппарата с вымени коровы,  $H$ ;  $F_d$  – вес электродвигателя,  $H$ ;  $F_v$  – вес вакуумной аппаратуры,  $H$ ;  $F_a$  – вес платформы агрегата,  $H$ ;  $F_c$  – вес пневмоцилиндра,  $H$ ;  $F_{dv}$  – вес доильного ведра,  $H$ ;  $F_z$  – вес поворотного рычага,  $H$ ;  $x_1$  – координата центра тяжести электродвигателя,  $m$ ;  $x_2$  – координата центра тяжести вакуумной аппаратуры,  $m$ ;  $x_3$  – координата центра тяжести платформы агрегата,  $m$ ;  $x_4$  – координата центра тяжести пневмоцилиндра,  $m$ ;  $x_5$  – координата центра тяжести доильного ведра,  $m$ ;  $l_z$  – длина поворотного рычага,  $m$ .

И теперь из полученных уравнений мы можем выразить координаты центра тяжести агрегата с учетом вертикальной составляющей силы  $F_l$ , развиваемой пневмоцилиндром в момент снятия доильного аппарата с вымени коровы для предупреждения соприкосновения его с полом стойла животного, а также с учетом возможного наклона агрегата вдоль оси  $x$  на угол  $\gamma$  и вдоль оси  $y$  на угол  $\delta$  уравнения (28) и (29):

$$x_c = \frac{F_d x_1 + F_v x_2 + F_a x_3 + F_c x_4 + F_{dv} x_5 + F_z \left( x_4 + \frac{l_z}{2} \cos \beta \right) + F_{ty} (x_4 + l_z \cos \beta)}{F_d + F_v + F_a + F_c + F_{dv} + F_z + F_{ty}} \cos \gamma, \quad (30)$$

$$y_c = \frac{F_z \frac{l_z}{2} \sin \beta + F_{ty} l_z \sin \beta}{F_d + F_v + F_a + F_c + F_{dv} + F_z + F_{ty}} \cos \delta. \quad (31)$$

Как правило, в мобильных доильных агрегатах для индивидуального доения коров применяется шасси в виде одноосной тележки с двумя колесами и одним упором. Как отмечалось выше, в процессе снятия доильного аппарата с вымени коровы возникает опрокидывающий момент. Его значение может быть описано следующим равенством [13-15]:

$$M_{опр} = F_{tx} b, \quad (32)$$

где  $b$  – высота над уровнем пола точки приложения опрокидывающей силы  $F_{tx}$ ,  $m$ .

А с учетом возможного наклона агрегата вдоль оси  $x$  на угол  $\gamma$  и вдоль оси  $y$  на угол  $\delta$  уравнение (32) приобретает вид:

$$M_{опр} = F_{tx} b \cos \gamma \cos \delta. \quad (33)$$

Опрокидывание агрегата предотвращается моментом устойчивости (удерживающим моментом). Он определяется как произведение веса  $G$  агрегата с учетом вертикальной составляющей силы  $F_t$  на расстояние от его центра тяжести до оси опрокидывания:

$$M_{уст} = Gd, \quad (34)$$

где  $d$  - расстояние от центра тяжести агрегата до оси опрокидывания, м.

На границе устойчивости агрегата против опрокидывания мы имеем:

$$M_{опр} = M_{уст}. \quad (35)$$

В технике устойчивость технических средств от опрокидывания оценивается коэффициентом  $k_{уст}$  запаса устойчивости, значение которого принимается в зависимости от условий их эксплуатации и определяется как:

$$k_{уст} = \frac{M_{уст}}{M_{опр}}, \quad (36)$$

то мы можем записать:

$$M_{уст} = k_{уст} M_{опр}, \quad (37)$$

и отсюда, используя уравнения (7), (33) и (34), мы можем определить расстояние от центра тяжести агрегата до линии опрокидывания, на которой должны быть размещены опоры агрегата:

$$d = \frac{k_{уст} F_{tx} (s + s_1 \pm s_2 \pm s_3 + s_4) \cos \gamma \cos \delta}{F_d + F_v + F_n + F_c + F_{dv} + F_z + F_{ty}}. \quad (38)$$

Как показывает анализ уравнений (30) и (31) по мере изменения угла  $\beta$  направления приложения опрокидывающей силы и, как следствие, вращения поворотного рычага, центр тяжести агрегата изменяет свое положение, описывая окружность, радиус  $r_1$  которой можно представить в виде (рисунок 5):

$$r_1 = \frac{F_z \frac{l_z}{2} + F_{ty} l_z}{F_d + F_v + F_n + F_c + F_{dv} + F_z + F_{ty}} \cos \gamma \cos \delta. \quad (39)$$

Отсюда следует, что для обеспечения устойчивого положения мобильного агрегата с требуемым коэффициентом запаса устойчивости  $k_{уст}$ , опоры шасси агрегата должны быть за пределами зоны ограниченной окружностью радиуса  $r$  (рисунок 4). При этом не следует учитывать возможность установки агрегата на поверхности с уклоном в ту или иную сторону:

$$r = r_1 + d. \quad (40)$$

Или с учетом уравнений (38) и (39):

$$r = \frac{F_z \frac{l_z}{2} + F_{ty} l_z + k_{уст} F_{tx} (s + s_1 \pm s_2 \pm s_3 + s_4)}{F_d + F_v + F_n + F_c + F_{dv} + F_z + F_{ty}}. \quad (41)$$

Принимаем самую простую схему опор шасси агрегата доения коров – трехточечную (рисунок 4).

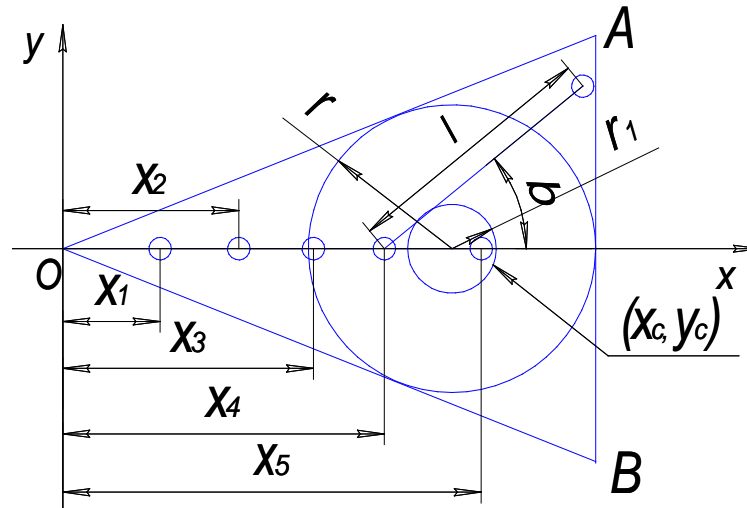


Рис. 4. Положение опор шасси мобильного агрегата для доения коров

А так как начало координат расположено в точке  $O$  первой опоры шасси агрегата, то две другие опоры шасси  $A$  и  $B$  могут быть установлены на линии  $AB$ , выполненной перпендикулярно оси  $x$  и касательно окружности радиуса  $r$  с противоположной от начала координат стороны.

При условии, что направление действия опрокидывающей силы  $F_{tx}$  совпадает с направлением оси  $x$ , угол  $\beta$  равен нулю, расстояние до линии  $AB$  (линии контакта опор шасси) от начала координат (первой опоры) составит:

$$x_A = x_B = x_c + d, \tag{42}$$

или с учетом уравнений (30) и (38):

$$x_A = x_B = \frac{F_d x_1 + F_v x_2 + F_a x_3 + F_c x_4 + F_{dv} x_5 + F_z \left(x_4 + \frac{l_z}{2}\right) + F_{ty} (x_4 + l_z) + k_{ycm} F_{tx} (s + s_1 + s_2 + s_3 + s_4)}{F_d + F_v + F_a + F_c + F_{dv} + F_z + F_{ty}}, \tag{43}$$

где  $x_A, x_B$  – расстояние от первой опоры шасси агрегата до линии  $AB$  контакта опор – координаты точек  $A$  и  $B$  контакта опор шасси по оси  $x, m$ .

Как следует из рисунка 4, точки  $A$  и  $B$  установки опор расположены в точках пересечения линии  $AB$  и касательных  $OA$  и  $OB$  к окружности радиусом  $r$ , исходящих из начала координат  $O$ . Для определения их координат  $y_A, y_B$  по оси  $y$ , будем исходить из следующих соображений. Координату  $x_0$  центра окружностей радиусов  $r$  и  $r_1$  для условия, что угол  $\beta=0$ , можно определить, используя уравнение:

$$x_0 = x_c - r_1. \tag{44}$$

В таком случае угол наклона касательной  $OA$  к оси  $x$ :

$$\varepsilon = \arcsin \frac{r}{x_0}, \tag{45}$$

где  $\varepsilon$  - угол наклона касательной  $OA$  к оси  $x, rad$ .

Отсюда координата  $y_A$  точки  $A$  по оси  $y$  будет равна:

$$y_A = x_A \operatorname{tg} \varepsilon. \tag{46}$$

Поскольку точки  $A$  и  $B$  расположены симметрично относительно оси  $x$ , то:

$$y_B = -x_A \operatorname{tg} \varepsilon. \tag{47}$$

Но следует отметить еще один очень важный аспект. Процессу движения доильного аппарата по траектории под воздействием силы тяжести предшествует процесс отсоединения доильных стаканов от сосков вымени (рисунок 5) [13-15]:

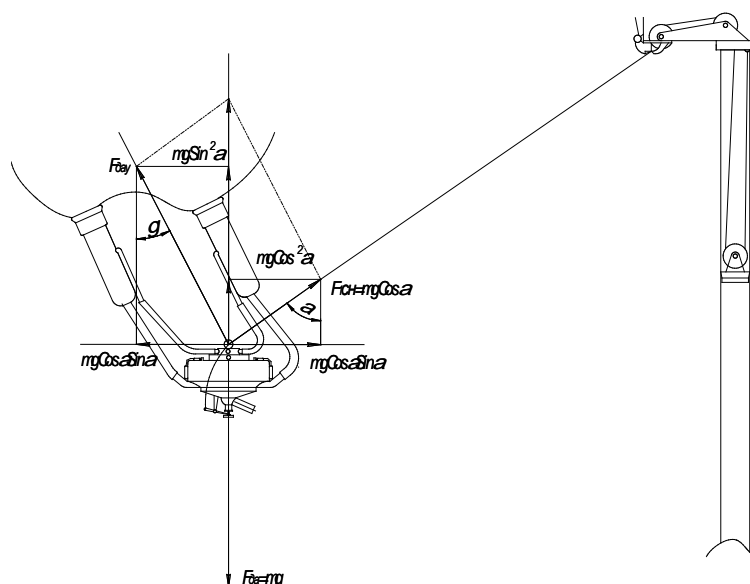


Рис. 5. К определению максимально допустимого вакуумметрического давления в подсосковых камерах доильных стаканов в момент снятия доильного аппарата с вымени коровы

Доильные стаканы на сосках молочной железы удерживаются вакуумметрическим давлением в подсосковых камерах и силой трения сосковой резины о сосок:

$$F_{\text{дaу}} = \pi d_c^2 P_t + 4F_{\text{тр}}, \quad (48)$$

где  $F_{\text{дaу}}$  – сила удержания доильного аппарата на сосках вымени коровы,  $H$ ;  $d_c$  – внутренний диаметр сосковой резины,  $m$ ;  $P_t$  – текущее вакуумметрическое давление в подсосковых камерах доильных стаканов,  $Pa$ ;  $F_{\text{тр}}$  – сила трения сосковой резины о сосок вымени,  $H$ .

Для удовлетворения условия устойчивости агрегата необходимо, чтобы усилие в тросе пневмоцилиндра в момент отсоединения доильного аппарата не превышало усилие в тросе в начале траектории его движения:

$$F_{1\text{сн}} \leq F_1, \quad (49)$$

где  $F_{1\text{сн}}$  – усилие в тросе пневмоцилиндра в момент отсоединения доильного аппарата от вымени,  $H$ .

А так как в момент отсоединения доильного аппарата текущее значение угла  $\alpha_t = \alpha$ , уравнение (20) приобретает вид:

$$F_1 = mg \cos \alpha. \quad (50)$$

Для момента отсоединения доильного аппарата от вымени, мы можем записать:

$$F_{\text{дa}} = F_{\text{дaу}} \cos \gamma + F_{1\text{сн}} \cos \alpha, \quad (51)$$

где  $\gamma$  – угол отклонения от вертикали доильного аппарата в момент отсоединения от вымени,  $rad$ .

Или с учетом уравнений (3) и (48):

$$mg = (\pi d_c^2 P_t + 4F_{\text{тр}}) \cos \gamma + mg \cos \alpha^2. \quad (52)$$

Из условия равновесия, мы можем представить угол  $\gamma$  как:

$$\gamma = \arctg \left( \frac{mg \cos \alpha \sin \alpha}{(mg - mg \cos \alpha^2)} \right) = \arctg(\text{ctg } \alpha). \quad (53)$$

В таком случае мы можем записать уравнение для расчета максимально допустимого вакуумметрического давления в подсосковых камерах доильных стаканов:

$$P_t \leq \frac{1}{\pi d_c^2} \left( \frac{mg \sin \alpha^2}{\cos(\arctg(\text{ctg } \alpha))} - 4F_{\text{тр}} \right). \quad (54)$$

Определить значение коэффициента  $k_{\text{уст}}$  запаса устойчивости мобильного агрегата для доения коров можно оценивая степень изменения нагрузки на опоры агрегата под воздействием опрокидывающего момента. Для определения распределения веса агрегата по опорам шасси воспользуемся теоремой Вариньона, описываемой уравнением (26) и (27) [11-15]:

$$F(x_c + d_s) = x_A(F_{OA} + F_{OB}), \quad (55)$$

где  $F_{OA}$  и  $F_{OB}$  – реакции на опорах шасси  $A$  и  $B$  (колес) под воздействием веса агрегата с учетом вертикальной составляющей силы  $F_t, H$ ;  $d_s$  – смещение центра тяжести агрегата при воздействии горизонтальной составляющей силы  $F_t, H$ :

$$d_s = \frac{F_{tx}(s+s_1+s_2+s_3+s_4) \cos \gamma \cos \delta}{F_d+F_v+F_R+F_c+F_{dv}+F_z+F_{ty}}. \quad (56)$$

При этом следует учесть, что при условии направления приложения опрокидывающей силы и, как следствие, положения поворотного рычага, вдоль оси  $X$  (угол  $\beta=0$ ), реакции на опорах шасси  $F_{OA}$  и  $F_{OB}$  равны между собой:

$$F_{OAO} = F_{OBO} = \frac{F(x_c+d_s)}{2x_A}, \quad (57)$$

где  $F_{OAO}$  и  $F_{OBO}$  - реакции на опорах шасси  $A$  и  $B$  при условии направления приложения опрокидывающей силы и, как следствие, положения поворотного рычага, вдоль оси  $X$  (угол  $\beta=0$ ),  $H$ .

Если имеет место отклонение от оси  $X$  направления действия опрокидывающей силы, равно как и положения поворотного рычага на угол  $\beta$ , реакции на опорах шасси  $F_{OA}$  и  $F_{OB}$  мы можем определить, решая систему уравнений:

$$\begin{cases} (F_{OA} + F_{OB}) = \frac{F(x_c+d_s \cos \beta)}{x_A} \\ \frac{F_{OA}}{F_{OB}} = \frac{L_R+2(y_c+d_s \sin \beta)}{L_R-2(y_c+d_s \sin \beta)} \end{cases}. \quad (58)$$

Отсюда:

$$F_{OB} = \frac{F(x_c+d_s \cos \beta)(L_R-2(y_c+d_s \sin \beta))}{2L_R x_A}, \quad (59)$$

$$F_{OA} = \frac{F(x_c+d_s \cos \beta)(L_R+2(y_c+d_s \sin \beta))}{2L_R x_A} \quad (60)$$

И теперь, зная реакции на опорах шасси  $F_{OA}$  и  $F_{OB}$  – мы с учетом уравнений (59) и (60) можем определить реакцию на первой опоре:

$$F_{O1} = F \left( \frac{x_A - x_c - d_s \cos \beta}{x_A} \right), \quad (61)$$

где  $F_{O1}$  – реакция на первой опоре,  $H$ .

А также мы можем записать:

$$F_{O1O} = F - F_{OAO} - F_{OBO}, \quad (62)$$

где  $F_{O1O}$  - реакция на первой опоре при условии направления приложения опрокидывающей силы и, как следствие, положения поворотного рычага, вдоль оси  $X$  (угол  $\beta=0$ ),  $H$ .

Или с учетом уравнения (57):

$$F_{O1O} = \frac{F(x_A - x_c - d_s)}{x_A}. \quad (63)$$

Исходя из вышеизложенных соображений, теперь мы можем определить текущее значение коэффициента  $k_{уст}$  запаса устойчивости мобильного агрегата для доения коров. Он определяется исходя из параметров реакции на опоре, расположенной в противоположном направлении относительно линии опрокидывания от направления действия опрокидывающего момента  $M_{opr}$ . Например, для определения коэффициента  $k_{yoa}$  запаса устойчивости при опрокидывании агрегата относительно линии  $OA$ , уравнение имеет вид:

$$k_{yoa} = \frac{F_{OBO}}{F_{OBO} - F_{OB}}; \quad (64)$$

относительно линии  $OB$  -

$$k_{yob} = \frac{F_{OAO}}{F_{OAO} - F_{OA}}. \quad (65)$$

относительно линии  $AB$  -

$$k_{yab} = \frac{F_{O1O}}{F_{O1O} - F_{O1}}. \quad (66)$$

Для исследования устойчивости против опрокидывания мобильного агрегата для доения коров предусматривалось изучение и установление закономерности изменения реакции



на опорах шасси агрегата, меняющихся в зависимости от удаления ( $\alpha$ ) доильного аппарата в начальный момент и по траектории его движения, а также угла  $\beta$  отклонения от оси  $X$  направления действия опрокидывающего момента на мобильный агрегат, возникающего в процессе снятия доильного аппарата с молочной железы коровы.

Исследования проводили при следующих конструктивных параметрах мобильного агрегата:  $s_1=0,1$  м - расстояние от платформы до поршня, при крайнем нижнем его положении;  $s_2 = 0,1$  м - отклонение по высоте фиксатора относительно поршня, при крайнем верхнем его положении;  $s_3=0,1$  м - отклонение по высоте положения точки крепления троса к доильному аппарату относительно платформы тележки доильного агрегата;  $k=1,2$  - коэффициент удлинения троса; ход поршня пневмоцилиндра составляет  $1,04$  м,  $F_d=54$  Н – вес электродвигателя;  $F_v=38$  Н – вес вакуумной аппаратуры;  $F_a=250$  Н – вес платформы агрегата;  $F_c=30$  Н – вес пневмоцилиндра;  $F_{dv}=50$  Н – вес доильного ведра;  $F_z=10$  Н – вес поворотного рычага;  $x_1=0,3$  м – координата центра тяжести электродвигателя;  $x_2=0,15$  м – координата центра тяжести вакуумной аппаратуры;  $x_3=0,4$  м – координата центра тяжести платформы агрегата;  $x_4=0,3$  м – координата центра тяжести пневмоцилиндра;  $x_5=0,4$  м – координата центра тяжести доильного ведра;  $l_z=0,1$  м – длина поворотного рычага; масса доильного аппарата - 4 кг и в начальный момент он находится на удалении от точки подвеса на поворотном рычаге пневмоцилиндра – 1,5 м.

Согласно вычислениям по уравнениям (43), (46) и (47) расстояние от первой опоры шасси мобильного агрегата до линии опор  $A$  и  $B$  -  $0,422$  м, а расстояние между опорами  $A$  и  $B$  -  $0,262$  м.

Полученные данные, после их обработки на ЭВМ с использованием программы *Excel*, были использованы при подготовке уравнений регрессии, характеризующих характер изменения реакций на опорах шасси агрегата, обусловленный меняющейся нагрузкой на опоры шасси агрегата в процессе движения доильного аппарата по траектории, исключаяющей его контакт с полом стойла коровы.

При направлении действия опрокидывающего момента, вызывающего догружение опоры  $A$  силами, возникающими в процессе снятия и движения доильного аппарата, уравнение регрессии в кодированном виде, характеризующее параметр оптимизации  $y_{OA}$  - реакцию на опоре шасси  $A$  мобильного агрегата для доения коров, имеет вид:

$$y_{OA} = 209,302 + 6,39x_1 - 26,453x_2 - 8,799x_1x_2 - 10,531x_1^2 - 84,257x_2^2, \quad (67)$$

где  $x_1$  – текущее значение угла ( $\alpha$ ) положения доильного аппарата в кодированном виде;  $x_2$  - угол ( $\beta$ ) поворота поворотного рычага пневмоцилиндра, характеризующий направление действия опрокидывающего момента в кодированном виде.

Адекватность эмпирического уравнения опытным данным оценивалась с использованием критерия Фишера. Как показывают результаты расчетов, гипотеза адекватности подтверждается. Для данного уравнения при табличном значении  $F$  – критерия – 10,501, его расчетное значение составляет 0,040. Коэффициент детерминации равен  $R^2=0,945$ . Коэффициенты при составляющих уравнения регрессии значимы. В раскодированном виде данное уравнение можно представить как:

$$F_{OA} = 173,533 + 116,956\alpha + 95,885\beta - 14,01\alpha\beta - 65,819\alpha^2 - 34,178\beta^2, \quad (68)$$

где  $F_{OA}$  - реакция на опоре шасси  $A$  мобильного агрегата для доения коров, Н;  $\alpha$  - текущее значение угла ( $\alpha$ ) положения доильного аппарата, рад.;  $\beta$  - угол ( $\beta$ ) поворота поворотного рычага пневмоцилиндра, характеризующий направление действия опрокидывающего момента, рад.

В то же время при направлении действия опрокидывающего момента, вызывающего догружение опоры шасси  $A$  силами, возникающими в процессе снятия и движения доильного аппарата, происходит разгрузка опоры  $B$ . Уравнение регрессии в кодированном виде, характеризующее параметр оптимизации  $y_{OB}$  - реакцию на опоре  $B$  мобильного агрегата для доения коров, имеет вид:

$$y_{OB} = 153,0368 - 6,3853x_1 - 26,5665x_2 - 8,8205x_1x_2 + 10,5247x_1^2 + 84,2156x_2^2. \quad (69)$$

Так же, как и в предыдущем случае, адекватность эмпирического уравнения опытным данным оценивалась с использованием критерия Фишера. Как показывают результаты расчетов, гипотеза адекватности подтверждается. Для данного уравнения при табличном значении  $F$  – критерия – 10,516, его расчетное значение составляет 0,040. Коэффициент детерминации равен  $R^2=0,946$ . Коэффициенты при составляющих уравнения регрессии значимы.

В раскодированном виде данное уравнение можно представить как:

$$F_{OB} = 213,8467 - 72,8472 \alpha - 115,7673\beta - 14,0444\alpha\beta + 65,7794 \alpha^2 + 34,1614\beta^2, \quad (70)$$

где  $F_{OB}$  - реакция на опоре  $B$  мобильного агрегата для доения коров,  $H$ .

По мере изменения направления действия опрокидывающего момента, а также текущего угла ( $\alpha$ ) положения доильного аппарата на траектории его движения, меняется реакция и на опоре шасси  $O$ . Эмпирическое выражение, характеризующее параметр оптимизации  $y_O$  - реакцию на опоре шасси  $O$ , в кодированном виде имеет вид:

$$y_O = 109,6607 - 0,0046x_1 + 53,0186x_2 + 17,6191x_1x_2 + 0,006x_1^2 + 0,0423x_2^2. \quad (71)$$

Адекватность эмпирического уравнения опытным данным подтверждена  $F$ -критерием Фишера. Для данного уравнения при табличном значении  $F$  – критерия – 16,419, его расчетное значение составляет 0,0217. Коэффициент детерминации равен  $R^2=0,964$ . Коэффициенты при составляющих уравнения регрессии значимы. В раскодированном виде данное уравнение можно представить как:

$$F_O = 83,1335 - 44,1043\alpha + 16,8813\beta + 28,054\alpha\beta + 0,0375\alpha^2 + 0,0172\beta^2. \quad (72)$$

где  $F_O$  - реакция на опоре  $O$  мобильного агрегата для доения коров,  $H$ .

По  $F$  – критерию Фишера, с использованием компьютерной программы, разработанной в Белгородском ГАУ, оценивалась адекватность теоретических и эмпирических моделей, характеризующих зависимость реакции на опорах шасси мобильного агрегата от текущего угла ( $\alpha$ ) положения доильного аппарата на траектории движения, а также угла  $\beta$  отклонения от оси  $X$  направления действия опрокидывающего момента на мобильный агрегат, возникающего в процессе снятия доильного аппарата с молочной железы коровы. Для этого были выполнены расчеты реакций на опорах шасси по теоретическим уравнениям (59), (60) и (61), и эмпирическим уравнениям (71) и (72). Установлено, что при табличном значении  $F$  – критерия Фишера для приведенных сравниваемых уравнений регрессии 2,42, его фактическое значение равно 1,10...1,72, что является доказательством верности рассматриваемых теоретических положений относительно зависимости реакции на опорах шасси мобильного агрегата от текущего угла ( $\alpha$ ) положения доильного аппарата на траектории движения, а также угла  $\beta$  отклонения от оси  $X$  направления действия опрокидывающего момента на мобильный агрегат, возникающего в процессе снятия доильного аппарата с молочной железы коровы. В таком случае мы можем сказать, что при указанных конструктивных параметрах мобильного агрегата для доения коров и условиях проведения исследований по установлению характера изменения реакций на опорах шасси агрегата для догружаемой опоры шасси  $A$  силами, возникающими в процессе движения доильного аппарата в процессе снятия с искусственных сосков, характерным является наличие экстремума (максимума). Увеличение с последующим снижением реакции на опоре шасси  $A$  отмечается как по траектории движения доильного аппарата, так и по мере увеличения угла  $\beta$  отклонения от оси  $X$  направления действия опрокидывающего момента на мобильный агрегат. Максимум реакции на опоре шасси  $A$ , равный 277,4  $H$  наблюдается при нахождении доильного аппарата в точке траектории с углом отклонения от вертикали  $\alpha=0,8$  рад. и угле  $\beta$  отклонения от оси  $X$  направления действия опрокидывающего момента на мобильный агрегат, равном 1,256 рад.

Синхронно с этим отмечается снижение с последующим увеличением реакции на опоре шасси  $B$  как по траектории движения доильного аппарата, так и по мере увеличения угла  $\beta$  отклонения от оси  $X$  направления действия опрокидывающего момента на мобильный агрегат. Минимум реакции на опоре шасси  $B$ , равный 79,65  $H$  наблюдается при нахождении доильного аппарата в точке траектории с углом отклонения от вертикали, как и для опоры  $A$

-  $\alpha=0,8$  рад., но при угле  $\beta$  отклонения от оси  $X$  направления действия опрокидывающего момента на мобильный агрегат, равном 1,884 рад.

Сложный характер изменения носит реакция на опоре шасси  $O$ . При угле  $\beta$  отклонения от оси  $X$  направления действия опрокидывающего момента, равном 1,57 рад., на всем протяжении траектории движения доильного аппарата реакция на опоре шасси  $O$  остается постоянной, равной 109,6 Н. В интервале от 0 до 1,57 рад. отмечается увеличение реакции на опоре  $O$ , а в интервале от 1,57 до 3,14 рад, наоборот, уменьшение. Так, при угле  $\beta$  отклонения от оси  $X$  направления действия опрокидывающего момента, равном 0,628 рад., по мере движения доильного аппарата реакция на опоре  $O$  увеличивается с 67,2 Н до 93,7 Н, а при угле  $\beta$  отклонения от оси  $X$  направления действия опрокидывающего момента, равном 2,198 рад., по мере движения доильного аппарата реакция на опоре  $O$  уменьшается с 137,9 Н до 120,3 Н. Причем, по мере увеличения отклонения угла  $\beta$  от угла 1,57 рад. в ту или иную сторону интенсивность изменения реакции на опоре шасси  $O$  по мере перемещения доильного аппарата растет.

На основании полученных данных о закономерности изменения реакции на опорах мобильного агрегата для доения коров в зависимости от текущего угла ( $\alpha$ ) положения доильного аппарата на траектории движения, а также угла  $\beta$  отклонения от оси  $X$  направления действия опрокидывающего момента на мобильный агрегат, возникающего в процессе снятия доильного аппарата с молочной железы коровы в программе Excel с использованием уравнений (64), (65) и (66), а также в методике исследований, нами получены уравнения регрессии, характеризующие зависимость коэффициента устойчивости агрегата от реакции на опорах, регламентируемых углом ( $\alpha$ ) положения доильного аппарата на траектории движения, а также угла  $\beta$  отклонения от оси  $X$  направления действия опрокидывающего момента на мобильный агрегат.

При оценке устойчивости агрегата по реакции на опоре  $B$  нами получено уравнение регрессии в кодированном виде, которое имеет вид:

$$y_{yb} = 4.1414 - 1,2495x_1 - 2,085x_2 + 0,5618x_1x_2 + 1,5943x_1^2 + 3,163x_2^2, \quad (73)$$

где  $y_{yb}$  – параметр оптимизации - коэффициент устойчивости агрегата, оцениваемый по реакции на опоре  $B$ .

Адекватность эмпирического уравнения опытным данным подтверждена  $F$ -критерием Фишера. Для данного уравнения при табличном значении  $F$  – критерия – 12,174, его расчетное значение составляет 0,033. Коэффициент детерминации равен  $R^2=0,953$ . Коэффициенты при составляющих уравнения регрессии значимы.

В раскодированном виде его можно представить как:

$$K_{yb} = 16,2049 - 16,845\alpha - 8,6252\beta + 1,118\alpha\beta + 9,96\alpha^2 + 2,0041\beta^2. \quad (74)$$

где  $K_{yb}$  – коэффициент устойчивости агрегата, оцениваемый по реакции на опоре  $B$ .

На рисунке 6 приведена зависимость (74) в графическом виде.

Оценку устойчивости агрегата по реакции на опоре  $O$  мы оценивали при условии, что опрокидывающий момент, действующий на агрегат, направлен вдоль оси  $X$ , как наиболее опасном для устойчивости агрегата направлении. В результате нами получено уравнение регрессии, которое имеет вид:

$$K_{yo} = 8,7958 - 36,0311\alpha + 69,9947\alpha^2 - 62,9923\alpha^3 + 21,9679\alpha^4, \quad (75)$$

где  $K_{yo}$  – коэффициент устойчивости агрегата, оцениваемый по реакции на опоре  $O$ .

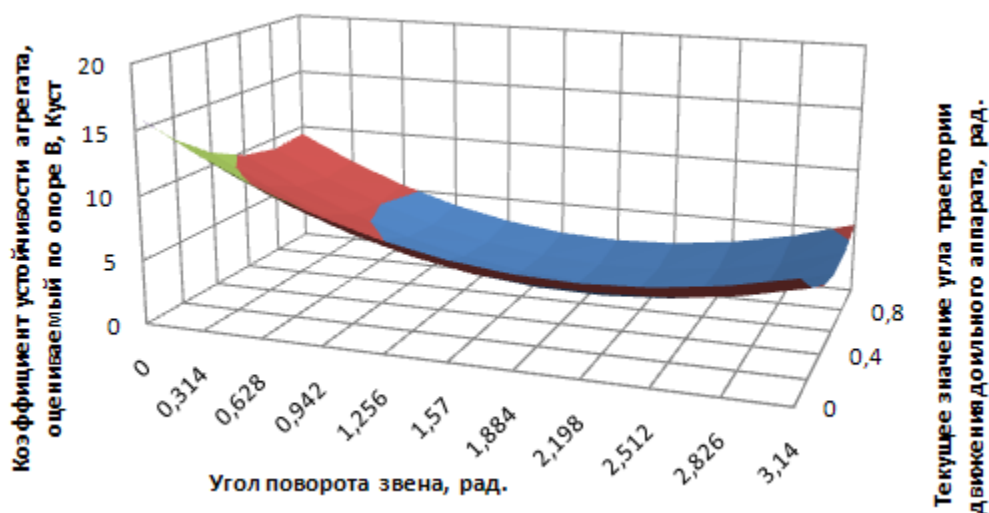


Рис. 6. Зависимость коэффициента устойчивости агрегата, оцениваемой по реакции на опоре В, регламентируемой текущим углом ( $\alpha$ ) положения доильного аппарата на траектории движения и направления действия опрокидывающего момента

На рисунке 7 приведена зависимость (75) в графическом виде.

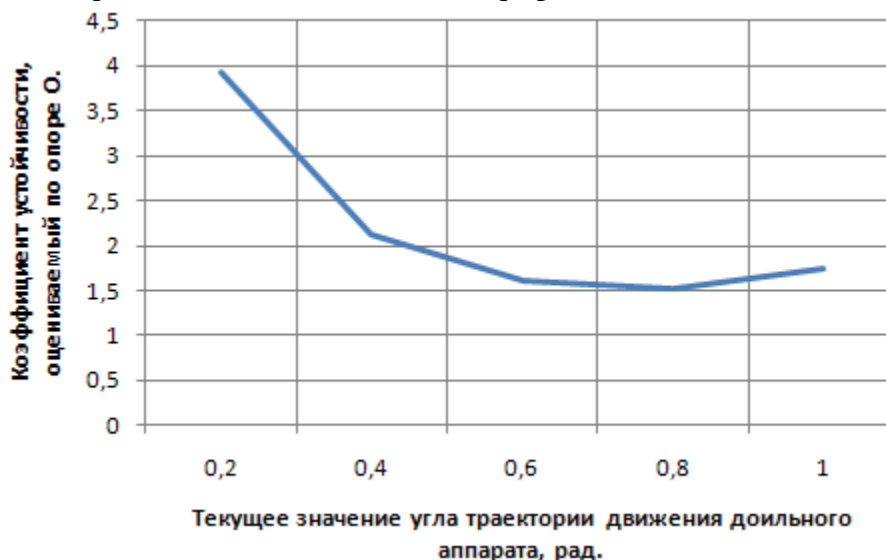


Рис. 7. Зависимость коэффициента устойчивости агрегата, оцениваемой по реакции на опоре О, регламентируемой текущим углом ( $\alpha$ ) положения доильного аппарата на траектории движения

По  $F$  – критерию Фишера, с использованием компьютерной программы, разработанной в Белгородском ГАУ, оценивалась адекватность теоретических и эмпирических моделей, характеризующих зависимость коэффициента устойчивости мобильного агрегата от реакции на опорах, регламентируемой текущим углом ( $\alpha$ ) положения доильного аппарата на траектории движения, а также углом  $\beta$  отклонения от оси  $X$  направления действия опрокидывающего момента на мобильный агрегат, возникающего в процессе снятия доильного аппарата с молочной железой коровы. Для этого в программе *Excel* были выполнены расчеты коэффициентов устойчивости агрегата по теоретическим уравнениям (64), (65) и (66), и эмпирическим уравнениям (74) и (75). Установлено, что при табличном значении  $F$  – критерия Фишера для приведенных сравниваемых уравнений регрессии 2,42...5,96, его фактическое значение равно 1,63...1,82, что является доказательством верности рассматриваемых теоретических положений относительно зависимости коэффициента устойчивости агрегата от реакции на опорах шасси мобильного агрегата, которая в свою очередь зависит от текущего угла ( $\alpha$ ) положения доильного аппарата на траектории движения, а также угла  $\beta$  отклонения от оси  $X$

направления действия опрокидывающего момента на мобильный агрегат, возникающего в процессе снятия доильного аппарата с молочной железы коровы.

**Заключение.** При оценке коэффициента устойчивости мобильного агрегата по реакции на опоре шасси В установлено, что его минимальное значение составляет 1,651, которым обладает мобильный агрегат при угле  $\beta$  отклонения от оси X направления действия опрокидывающего момента равном 1,884 рад. и угле ( $\alpha$ ) положения доильного аппарата на траектории движения равном 0,8 рад. При оценке коэффициента устойчивости мобильного агрегата по реакции на опоре шасси О установлено, что его минимальное значение составляет 1,513, которым обладает мобильный агрегат угле ( $\alpha$ ) положения доильного аппарата на траектории движения равном 0,8 рад. И в первом и во втором случае коэффициент устойчивости мобильного агрегата превышает значение коэффициента устойчивости агрегата, равное 1,5, который закладывали в исходные данные при расчете и изготовлении экспериментального образца мобильного агрегата для доения коров. Этим самым подтверждается верность теоретических положений, касающиеся расчета расстояния от первой опоры до линии опор А и В (опорных колес шасси агрегата), а также расстояния между опорами А и В (между опорными колесами). Из вышесказанного вытекает, что при конструктивных параметрах мобильного агрегата для доения коров, которые приведены выше, расстояние от первой опоры до линии опор А и В должно быть не менее 0,422 м, а расстояние между опорами А и В – не менее 0,262 м.

По итогам эксперимента, в течение 90 дней лактации, отмечается, что в результате использования экспериментального мобильного агрегата для доения коров в производственных условиях, в равнении с доильным агрегатом АИД-1, имеет место рост молочной продуктивности коров на 2,73%, сокращение затрат времени на обслуживание одного агрегата на 16,98%, что позволяет оператору обслуживать два агрегата, а также снижение заболеваемости вымени коров маститом на 11.11%.

#### Библиография

1. Карташов Л.П. Машинное доение коров. М.: Колос, 1982. 301 с.
2. Гордиевских М.Л. Повышение эффективности машинного доения коров путем совершенствования технологического процесса и технических средств учета текущих физиологических потребностей животных: автореф. на соиск. ученой степ. докт. техн. наук: 05.20.01 – технологии и средства механизации сельского хозяйства Челябинск, 2006. с. 32.
3. Продивлянов А.В. Механизация и технология доения коров. Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2013. 36с.
4. Физиологические основы машинного доения: материалы III Всесоюз. симпозиума по физиологическим основам машинного доения. ВАСХНИЛ: Боровск, 1974.
5. Переносной манипулятор для доения коров: пат. 2649668 Рос. Федерация. № [2017108088](#) / Ужик В.Ф., Некипелов С.И., Китаёва О.В.; заявл. 10.03.2017; опубл. [04.04.2018](#), Бюл. № [10](#). 2 с.
6. Доильный агрегат: пат. 2654245 Рос. Федерация № [2017110361](#) / Ужик В.Ф., Некипелов С.И., Китаёва О.В., Кабашко А.А.; заявл. 28.03.2017; опубл. [17.05.2018](#), Бюл. № [14](#). 1 с.
7. Ужик В.Ф., Некипелов С.И. Передвижной доильный агрегат для коров // В книге: Органическое сельское хозяйство: проблемы и перспективы Материалы XXII международной научно-производственной конференции. 2018. С. 246-248.
8. Ужик В.Ф., Некипелов С.И. Мобильный агрегат для доения коров // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2018. № 3 (31). С. 11-14.
9. Ужик В.Ф., Некипелов С.И. Адаптивный манипулятор для доения коров // В сборнике: Проблемы и решения современной аграрной экономики Материалы конференции. 2017. С. 108-109.
10. Ужик В.Ф., Некипелов С.И. Переносной манипулятор для доения коров // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2017. № 4 (28). С. 43-47.
11. Ужик В.Ф., Некипелов С.И., Китаёва О.В. Обоснование параметров пневмоцилиндра снятия доильного аппарата мобильного агрегата // В сборнике: Актуальные проблемы агроинженерии и пути их решения 2018. С. 222-228.
12. Ужик В.Ф., Некипелов С.И., Китаёва О.В. Мобильный агрегат для доения коров и его пневмоцилиндр снятия доильного аппарата // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 12. С. 71-75.
13. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. М.: Высшая школа, 1995. 416 с.
14. Олофинская В.П. Техническая механика: Курс лекций с вариантами практических и тестовых заданий: Учебное пособие. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. 349 с.

15. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 560 с.
16. Ульянцев Ю.Н. Разработка и обоснование конструктивно-режимных параметров манипулятора доения коров мобильного агрегата.: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01: Белгород, 2003. 184 с.
17. Ужик В.Ф., Борозенцев В.И., Скляр А.И., Ульянцев Ю.Н. Создание мобильного агрегата с манипулятором доения для личных и фермерских хозяйств // Научные труды ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии. 2003. Т. 12. № 2. С. 71-75.

#### References

1. Kartashov L.P. Mashinnoe doenie korov [Milking machine cows]. М.: Kolos, 1982. 301 p.
2. Gordievskikh M.L. Povyshenie effektivnosti mashinnogo doeniya korov putem sovershenstvovaniya tekhnologicheskogo processa i tekhnicheskikh sredstv ucheta tekushchih fiziologicheskikh potrebnoyev zhivotnyh [Improving the efficiency of milking machine cows by improving the technological process and technical means to account for the current physiological needs of animals]. dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences: 05.20.01 - technologies and means of mechanization of agriculture Chelyabinsk, 2006. p 32.
3. Prodivlyanov A.V. Mekhanizatsiya i tekhnologiya doeniya korov [Mechanization and milking technology of cows]. Saratov: FSOU VPO "Saratovskiy GAU." Saratov, 2013. – 36 p.
4. Fiziologicheskie osnovy mashinnogo doeniya: materialy III Vsesoyuz. simpoziuma po fiziologicheskim osnovam mashinnogo doeniya [Physiological basis of machine milking: materials of the III All-Union symposium on the physiological basis of machine milking]. - VASHNIL. - Borovsk, 1974.
5. Perenosnoj manipulyator dlya doeniya korov [Portable manipulator for milking cows] RU 2649668 № [2017108088](#) / Uzhik V.F., Nekipelov S.I., Kitaeva O.V. declared on 10.03.2017; published on 04.04.2018, Bull. № 10. 10 p.
6. Doil'nyj agregat [Milking unit] RU 2654245 № 2017110361 / Uzhik V.F., Nekipelov S.I., Kitaeva O.V., Kabashko A.A. declared on 28.03.2017; published on [17.05.2018](#), Bull. № 14. 9 p.
7. Uzhik V.F., Nekipelov S.I. Peredvizhnoj doil'nyj agregat dlya korov [Mobile milking unit for cows] // In the book: Organic Agriculture: Problems and Perspectives Materials of the XXII International Scientific and Production Conference. 2018. Pp. 246-248.
8. Uzhik V.F., Nekipelov S.I. Mobil'nyj agregat dlya doeniya korov [Mobile unit for milking cows] // Bulletin of the All-Russian Research Institute of Animal Life Mechanization. 2018. No. 3 (31). Pp. 11-14.
9. Uzhik V.F., Nekipelov S.I. Adaptivnyj manipulyator dlya doeniya korov [Adaptive manipulator for milking cows] // In the collection: Problems and solutions of the modern agrarian economy Conference proceedings. 2017. pp. 108-109.
10. Uzhik V.F., Nekipelov S.I. Perenosnoj manipulyator dlya doeniya korov [Portable manipulator for milking cows] // Bulletin of the All-Russian Research Institute of Animal Life Mechanization. 2017. No. 4 (28). Pp. 43-47.
11. Uzhik V.F., Nekipelov S.I., Kitaeva O.V. Obosnovanie parametrov pnevmocilindra snyatiya doil'nogo apparata mobil'nogo agregata [Substantiation of the parameters of the pneumatic cylinder of removing the milking machine of the mobile unit] // In the collection: Actual problems of agroengineering and their solutions 2018. P. 222-228.
12. Uzhik V.F., Nekipelov S.I., Kitaeva O.V. Mobil'nyj agregat dlya doeniya korov i ego pnevmocilindr snyatiya doil'nogo apparata [Mobile unit for milking cows and its pneumatic cylinder of milking machine removal] // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex 2018. T. 32. No. 12. Pp. 71-75.
13. Targ S.M. Kratkij kurs teoreticheskoy mekhaniki [A short course of theoretical mechanics]. М.: High School, 1995. 416 p.
14. Olofinskaya V.P. Tekhnicheskaya mekhanika [Technical mechanics]: A course of lectures with options for practical and test tasks: Tutorial. М.: FORUM: INFRA-M, 2007. 349 p.
15. Trofimova T. I. Kurs fiziki [Physics course]: studies. manual for universities. М.: Academic Academy Publishing Center, 2006. 560 p.
16. Ulyantsev Y.N. Razrabotka i obosnovanie konstruktivno-rezhimnyh parametrov manipulyatora doeniya korov mobil'nogo agregata [Development and substantiation of the design-mode parameters of the manipulator for milking cows of a mobile unit]. dissertation of the candidate of technical sciences: 05.20.01: Belgorod, 2003. 184 p.
17. Uzhik V.F., Borozentsev V.I., Sklyarov A.I., Ulyantsev Y.N. Sozdanie mobil'nogo agregata s manipulyatorom doeniya dlya lichnyh i fermerskih hozyajstv [Creation of a mobile unit with a milking manipulator for personal and private farms] // Scientific proceedings of the GNU VNIIMZH Rossel'hozakademii 2003. V. 12. No. 2. Pp. 71-75.

#### Сведения об авторах

Ужик Владимир Федорович, доктор технических наук, профессор кафедры машин и оборудования в агробизнесе, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина», ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, тел. 8-4722-392272; 89194337597, e-mail: [uzhik16@rambler.ru](mailto:uzhik16@rambler.ru).

Некипелов Станислав Игоревич, аспирант кафедры машин и оборудования в агробизнесе, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина», ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, тел. 89045327637, e-mail: [Zavodnovator@gmail.com](mailto:Zavodnovator@gmail.com)

Китаёва Оксана Владимировна, доктор технических наук, доцент кафедры электрооборудования и электротехнологий в АПК, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина», ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, тел. 8-4722-39-12-80; 89107378439. e-mail: oksanauzhik@mail.ru.

Кузьмина Ольга Сергеевна, преподаватель кафедры землеустройства, ландшафтной архитектуры и плодородства Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина», ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, тел. 89511401444. e-mail: osk9592@mail.ru

#### **Information about authors**

Uzhik Vladimir Fedorovich, doctor of technical Sciences, Professor of the Department of machinery and equipment in agribusiness, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, tel. 8-4722-392272; 89194337597, e-mail: uzhih16@rambler.ru

Nekipelov Stanislav Igorevich, post-graduate student of the Department of machinery and equipment in agribusiness, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, 308503, tel. 89045327637, e-mail: Zavodnovator@gmail.com

Kitaeva Oksana Vladimirovna, doctor of technical Sciences, associate Professor of the Department of electrical equipment and electrical technologies in agribusiness, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, 308503, tel. 8-4722-39-12-80; 89107378439. e-mail: oksanauzhik@mail.ru

Kuzmina Olga Sergeevna, teacher of the Department of land management, landscape architecture and planning Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, 308503, tel 89511401444. e-mail: osk9592@mail.ru

УДК 664.1.033

*И.В. Юдаев, А.С. Казакова, Ю.В. Даус, Р.Г. Кокурин*

## РЕАКЦИЯ ТКАНЕЙ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

**Аннотация.** Сегодня для повышения эффективности протекания технологических процессов, снижения совокупных энергозатрат в сельском хозяйстве и при переработке растительного сырья и материала часто используют электроимпульсные воздействия для нетермического разрушения внутренней структуры растительных тканей. Одним из факторов определяющих глубину и степень такой обработки является чувствительность тканей растений к электроимпульсному воздействию. Реакция растительной ткани на электроимпульсные воздействия может фиксироваться таким показателем как степень ее повреждения в зависимости, например, от напряженности электрического поля. Экспериментальные исследования показали, что создание напряжённости в растительной ткани, при которой степень повреждения достигает предельного или максимального своего значения, приводит к необратимому повреждению внутренних структур ткани, на которую воздействовали импульсами высокого напряжения, достигая тем самым запланированного технологического эффекта – нарушении целостности мембран клеток растительной ткани. Степень повреждения растительной ткани различных объектов растительного происхождения растёт с увеличением напряжённости электрического поля в ткани, достигая своего предельного значения. Количественно чувствительность растительной ткани к повреждению определяет показатель степени  $n$ , по значению которого можно заключить: какие ткани, и каких растительных объектов более чувствительны к электроимпульсному повреждению, а какие менее чувствительны. Так, например, среднее значение этого показателя для надземной части и корневой системы конкретного сорного растения имеет своё значение: для *Cirsium arvense* L. –  $n=1,20$ ; *Sonchus arvensis* L. –  $n=1,22$ ; *Euphórbia virgáta* L. –  $n=1,14$ ; *Lactúca tatárica* L. –  $n=1,23$ ; *Amaranthus retroflexus* L. –  $n=1,25$ . Существует также прямая зависимость значения показателя  $n$  от числа воздействующих импульсов  $m$  и, следовательно, от энергии поглощаемой растительной тканью. Чем больше воздействующих импульсов подведено к растительному образцу, тем больше показатель  $n$ , так для тканей растения *Euphórbia virgáta* L. при  $m=10$  показатель степени равен  $n=0,63$ , а при  $m=1000$  –  $n=1,796$ .

**Ключевые слова:** растительная ткань, электрические импульсы, высокое напряжение, степень повреждения, напряженность электрического поля.

### RESPONSE OF VEGETABLE PLANT TISSUES TO ELECTROIMPULSE IMPACT

**Abstract.** Today, electroimpulse effects are often applied for non-thermal destruction of the internal structure of plant tissues to increase the efficiency of technological processes, to reduce the total energy consumption in agriculture and in the processing of plant materials and materials. One of the factors determining the depth and extent of such processing is the sensitivity of plant tissues to electroimpulse effects. The reaction of plant tissue to electroimpulse effects can be recorded by such indicator as the degree of its damage that depends, for example, on the electric field strength. Experimental studies have shown that the creation of tension in plant tissue, in which the degree of damage reaches its maximum value, leads to irreversible damage to the internal structures of the tissue affected by high voltage impulses, thereby achieving the planned technological effect — disrupting the integrity of the cell membranes of plant tissue. The degree of damage to plant tissue of various objects of plant origin increases with the increase in the electric field strength in the tissue, reaching its maximum value. Quantitatively, the sensitivity of plant tissue to damage is determined by the exponent  $n$ , by the value of which it can be concluded: which tissues and which plant objects are more sensitive to electroimpulse damage, and which are less sensitive. For example, the average value of this indicator for the above-ground part and the root system of particular weed plant has its own value: for *Cirsium arvense* L.  $n = 1.20$ ; *Sonchus arvensis* L. –  $n = 1.22$ ; *Euphórbia virgáta* L. –  $n = 1.14$ ; *Lactúca tatárica* L. –  $n = 1.23$ ; *Amaranthus retroflexus* L. –  $n = 1.25$ . There is also a direct dependence of the  $n$  index value on the number of acting pulses  $m$  and, consequently, on the energy absorbed by the plant tissue. The more applied impulses to plant sample are, the index  $n$  is greater, as for the tissues of the plant *Euphórbia virgáta* L. for  $m = 10$ , the exponent is  $n = 0.63$ , and for  $m = 1000$  –  $n = 1.796$ .

**Keywords:** plant tissue, electrical impulses, high voltage, degree of damage, electric field strength.

**Введение.** В сельском хозяйстве и перерабатывающей промышленности в последнее время все чаще используются методы обработки растительных объектов или воздействия на них, которые позволяют нарушить нормальную жизнедеятельность последних – необратимо повредить растительные ткани, и которые характеризуются нетермическим способом их разрушения. Прежде всего, к таким вариантам относят высоковольтные импульсные воздействия, применяемые для обработки растительного сырья и материалов в перерабатывающей и пищевой промышленности, а также обработки культурных и сорных растений, сенных трав



и т.п. в растениеводческой отрасли сельского хозяйства. Электроимпульсные технологии характеризуются минимальными затратами энергии и времени обработки, высокой технологической эффективностью, экологической и пищевой безопасностью [1, 2].

В растениеводстве электроимпульсные высоковольтные воздействия применяются при уничтожении сорной и нежелательной растительности, прореживании посевов сельскохозяйственных культур, предуборочной обработке подсолнечника и табака, обработке сенокосных трав перед сушкой и т.п. [1-6].

При производстве пищевых продуктов электроимпульсные воздействия применяются для инактивации вредных микроорганизмов и бактерий, как, например, в процессе производства фруктовых и овощных соков, наблюдается эффективная инактивация бактерий, сопровождающаяся незначительным ухудшением вкуса получаемых продуктов, их аромата, цвета и пищевой ценности. Импульсные электрические воздействия применяются также для получения в пищевой промышленности высокоценных метаболитов, для увеличения выхода фруктовых и овощных соков, а также для ускорения влаго- и массопереноса в процессе сушки пищевых продуктов и т.п. [7-13].

В основе всех перечисленных вариантов использования высоковольтных электроимпульсных воздействий положен эффект нарушения нормального функционирования мембранных оболочек клеточных структур растительных тканей, который достигается за счет их необратимого повреждения. Одним из актуальных вопросов научного и практического применения рассматриваемой электротехнологии является вопрос о реакции растительной ткани на высоковольтное импульсное воздействие.

Поэтому **целью исследования**, представляемого в статье, является выяснение сущности механизма чувствительности растительной ткани растений, растительного сырья и материала, от параметров электроимпульсного воздействия и прежде всего напряженности электрического поля в ткани.

**Методика, результаты исследования и их обсуждение.** Чувствительность растительной ткани к электрическому воздействию предлагается оценивать при помощи такого количественного показателя как степень ее повреждения ( $S_n$ ), под которой понимается величина, определяемая отношением полного сопротивления ткани (или его активной составляющей) до электроимпульсной обработки к сопротивлению ткани в процессе обработки на конкретной фиксированной частоте измерительного тока, в нашем случае на частоте  $f=10$  кГц [3, 6].

Для установления зависимости между степенью повреждения растительной ткани обрабатываемых растений, сырья или материала и напряжённостью электрического поля ( $E$ ), а также энергией воздействующих импульсов ( $W$ ), воспользуемся выражением связывающим глубину (степень) повреждения с интенсивностью воздействия и временем действия повреждающего фактора [3, 6]:

$$S_n = k_s \cdot E^n \cdot t^q, \quad (1)$$

где  $E=U_0/l_{pt}$  – средняя напряжённость электрического поля в обрабатываемой растительной ткани, кВ/м;  $t$  – время действия или длительность импульса, с;  $n$  – постоянная, определяющая соотношение между изменением напряжённости поля в растительной ткани и степенью её повреждения, может принимать целые и дробные значения;  $q$  – постоянная, определяющая соотношение между временем воздействия на растительную ткань и степенью её повреждения, может принимать целые и дробные значения;  $U_0$  – начальное напряжение разрядного контура, прикладываемое к образцу растительной ткани длиной  $l_{pt}$  и площадью поперечного сечения  $F_{pt}$ , кВ;  $k_s$  – коэффициент пропорциональности,  $(\text{см/кВ})^n \cdot \text{с}^{-1}$ .

Подробные исследования и изучение влияния электрических импульсов высокого напряжения были проведены с сорными растениями, растениями подсолнечника и табака и поэтому в предлагаемом анализе основная часть материала будет касаться именно необратимого повреждения растительных тканей перечисленных растений, хотя в экспериментальных исследованиях также изучались и овощное сырье, фрукты и бахчевые культуры. Исследуемые объекты представляют собой объемные части образцов растительного происхождения

конечной длины  $l_{pt}$  с площадью поперечного сечения  $F_{pt}$ . В аналитическом выражении (2) для удобства проведения анализа время воздействия  $t$  взято в первой степени, что соответствует основному линейному участку зависимости  $S_n = f(E)$ . Такое допущение возможно, так как на исследуемые растительные ткани воздействовали одиночными импульсами, которые имели одну и ту же длительность в каждой серии экспериментов [3, 6, 14, 15]:

$$\begin{aligned}
 S_n &= k_s \cdot E^n \cdot t = k_s \cdot \left( \frac{R_{pt} \cdot i}{l_{pt}} \right)^n \cdot t = k_s \cdot \left( \frac{R_{pt}^{n-1} \cdot i^{n-2}}{l_{pt}^n} \right) \cdot W = \\
 &= k_s \cdot \left( \frac{R_{pt}^{n-1} \cdot i^{n-2}}{l_{pt}^n} \right) \cdot m \cdot W_1 = k_s \cdot \left( \frac{R_{pt}}{l_{pt}^2} \right) \cdot m \cdot W_1 \cdot E^{n-2} = , \\
 &= k_s \cdot \left( \frac{\rho_{pt}}{l_{pt} \cdot F_{pt}} \right) \cdot m \cdot W_1 \cdot E^{n-2}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

где  $i$  – средняя величина тока, протекающего по растительной ткани, А;  $U_0$  – начальное напряжение разрядного контура, прикладываемое к образцу растительной ткани длиной  $l_{pt}$ , кВ;  $k_s$  – коэффициент пропорциональности,  $(\text{см/кВ})^n \cdot \text{с}^{-1}$ ;  $R_{pt} = (\rho_{pt} \cdot l_{pt}) / F_{pt}$  – сопротивление исследуемого образца растительной ткани с удельным электрическим сопротивлением  $\rho_{pt}$ , длиной  $l_{pt}$  и площадью поперечного сечения  $F_{pt}$ , Ом;  $W = W_1 \cdot m$  – суммарная энергия, Дж;  $W_1 = i^2 \cdot R_{pt} \cdot t = 0,5 \cdot C \cdot U_0^2$  – энергия одиночного импульса, Дж;  $C$  – накопительная емкость разрядного контура, Ф;  $m$  – количество воздействующих импульсов.

Предварительный анализ выражения (2) показывает, что степень повреждения растительных тканей  $S_n$  зависит от напряженности электрического поля в них  $E$ , и при этом характер зависимости определяется значением некоторого степенного показателя  $n$ .

Растительная ткань сорных трав, растений подсолнечника и табака, объектов растительного происхождения обладает одинаковой структурой, и поэтому характер зависимостей  $S_n = f(E)$  будет одинаковым. В качестве подтверждения рассмотрим поведение обозначенных зависимостей для подсолнечника (рисунок 1), тыквы (рисунок 2) и некоторых видов сорняков (рисунок 3).

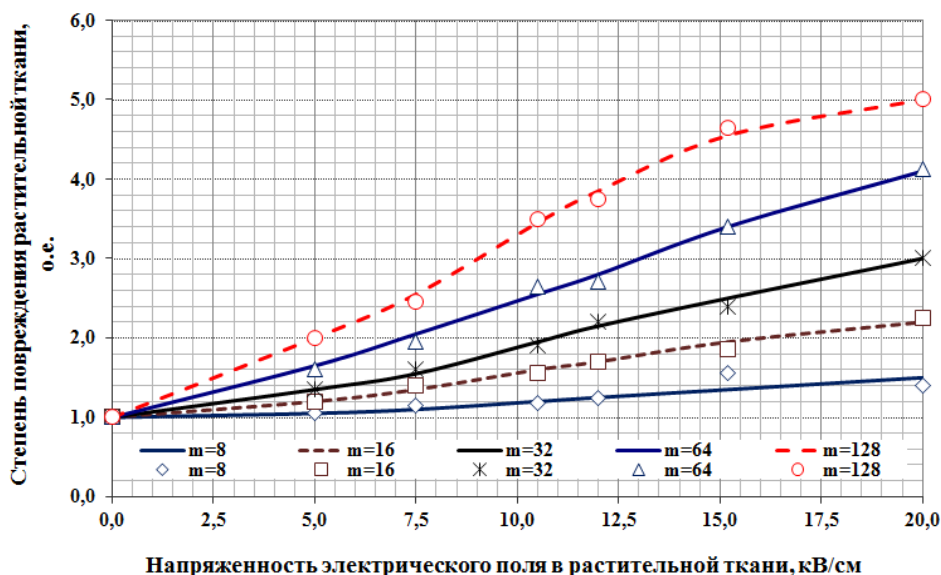
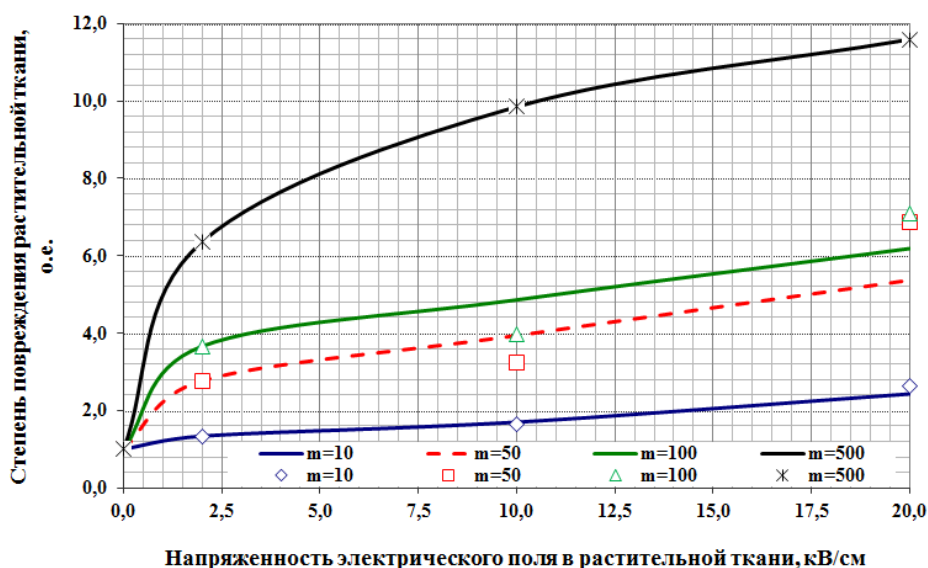


Рис. 1. Зависимости степени повреждения ( $S_n$ ) растительной ткани стебля растений подсолнечника (фаза развития – «восковая спелость»), от напряженности электрического поля ( $E$ ) в ткани при разном количестве воздействующих импульсов  $m=var$  и постоянных значениях емкости разрядного контура  $C=47$  пФ, а также индуктивности  $L=5$  мкГн



**Рис. 2.** Зависимости степени повреждения ( $S_n$ ) растительной ткани тыквы сорта «Грибовская зимняя» от напряжённости электрического поля ( $E$ ) в ткани при разном количестве воздействующих импульсов  $m=var$  и постоянных значениях емкости разрядного контура  $C=365$  пФ, а также индуктивности  $L=25$  мкГн

Количественно степень повреждения, а также характер зависимости  $S_n = f(E)$  (рисунки 1-3) определяются значением показателя  $n$ , который был найден для следующих растительных тканей: для табака  $n=1,26$ ; для подсолнечника  $n=1,5$ ; для растения «алоэ»  $n=0,75$ ; для яблочной мезги  $n=2,45$  [3, 14]. Здесь надо отметить очевидный факт – рассматривая электрическую обработку различных растительных объектов можно заметить, что показатель степени  $n$  зависит от числа воздействующих импульсов  $m$  или подводимой к объекту обработки энергии  $W$ . Поэтому представленные выше значения показателя  $n$  следует характеризовать как усредненные для процесса электроимпульсной обработки.

Количественно показатель  $n$  находился на основном линейно-возрастающем участке зависимости  $S_n = k_s \cdot E^n \cdot t$ , построенной в логарифмическом масштабе. Само значение показателя  $n$  определялось как значение тангенса угла наклона полученных прямых к оси абсцисс. Каждая зависимость строилась для конкретного числа воздействующих импульсов при неизменном значении накопительной емкости конденсаторной батареи разрядного контура. Усредненные значения показателя  $n$  для некоторых видов сорных трав представлены в таблице.

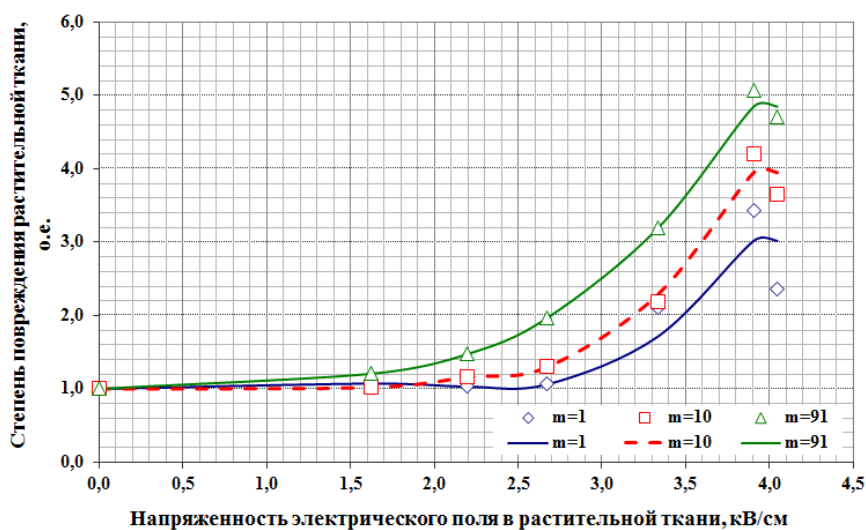
**Таблица 1 - Усредненные значения показателя  $n$ , определяющего соотношение между изменением напряжённости в растительной ткани и степенью повреждения для различных участков сорняков**

Сорное растение	Усредненные значения показателя $n$ для сорных растений и растительных тканей их участков			
	Стебель	Участок с корневой шейкой	Корень	Среднее
Cirsium arvense L.	1,15	1,24	1,22	1,20
Sonchus arvensis L.	1,19	1,23	1,25	1,22
Euphórbia virgáta L.	1,06	1,21	1,14	1,14
Lactúca tatárica L.	1,17	1,25	1,26	1,23
Amaranthus retroflexus L.	1,22	1,31	1,21	1,25
Среднее значение	1,16	1,25	1,22	1,21

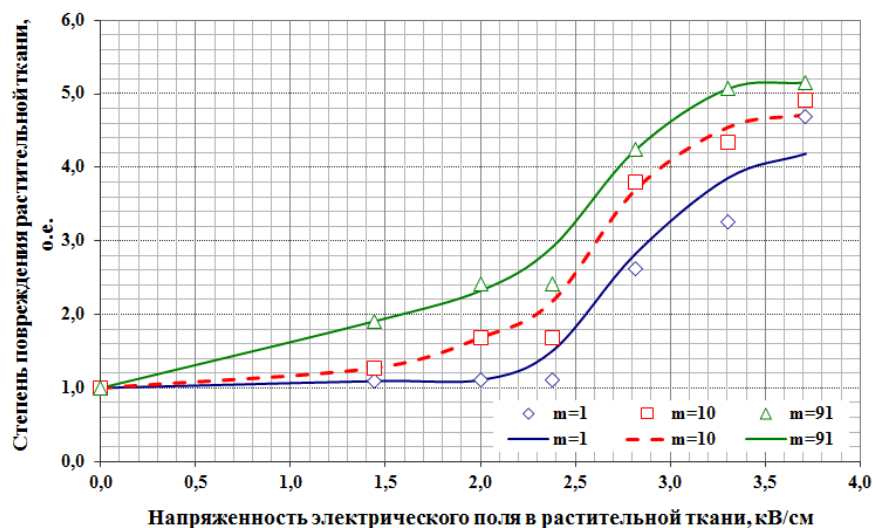
Отличия в численных значениях показателя  $n$ , вероятнее всего, объясняются различной чувствительностью растительной ткани сорных трав к воздействию на нее электрическими импульсами высокого напряжения.

Следует отметить, что существует прямая зависимость значения показателя  $n$  от числа воздействующих импульсов  $m$  и, следовательно, от энергии поглощаемой растительной тканью. Чем больше воздействующих импульсов подведено к растительному образцу, тем выше значение показателя  $n$ , так например, для тканей растения *Euphórbia virgáta L.* при  $m=10$  показатель степени равен  $n=0,63$ , а при  $m=1000$  показатель возрастает до  $n=1,796$ .

Для подтверждения высказанного предположения о различной чувствительности ткани рассмотрим зависимости  $S_n = f(E)$ , построенные для сорняков разных биологических групп (рисунок 3), которые имеют ярко выраженный S-образный характер, что подчёркивает наличие у них начального участка с незначительным ростом степени повреждения при увеличении значения напряжённости в ткани и участка с очень высокой скоростью изменения степени повреждения, а также участка, на котором с увеличением напряжённости существенного изменения степени повреждения уже не наблюдается, то есть участка, на котором напряженность достигла своего предельного значения.



а)



б)

Рис. 3. Зависимости степени повреждения ( $S_n$ ) растительной ткани корневой системы сорняков: (а) – *Euphórbia virgáta L.*; б) – *Cirsium arvense L.* от напряжённости электрического поля ( $E$ ) в растительной ткани при разном количестве воздействующих импульсов  $m=var$  и постоянных значениях емкости разрядного контура  $C=1000$  пФ, а также индуктивности  $L=110$  мкГн

Поведение кривых, представленных на рисунке 3, дает возможность сделать следующее заключение: рассмотрев зависимость  $S_n = f(E)$  при числе воздействующих импульсов равном единице можно отметить, что растительная ткань корневой системы у растения

*Cirsium arvense L.*, достигает более глубокого повреждения, чем ткани растений *Euphórbia virgáta L.* и *Cirsium arvense L.* Но в то же время при  $m=91$  значение степени повреждения растительной ткани практически становится одинаковым, да и характер поведения зависимостей очень похож друг на друга.

При электрическом воздействии и обработке растительных объектов прикладываемое к ним начальное напряжение разрядного контура  $U_0$  определяет значение напряжённости электрического поля  $E$  в растительной ткани. Исследовательский и практический интерес представляет ее значение, при котором степень повреждения ткани растения достигает предельного (максимального) значения  $S_n=S_{nmax}$ . Именно создание такой напряжённости в растительной ткани приводит к необратимому её повреждению.

**Заключение.** Анализ представленных результатов исследований позволяет сделать следующие выводы:

- 1) степень повреждения растительной ткани различных объектов растительного происхождения растёт с увеличением напряжённости электрического поля в ткани, достигая своего предельного значения;
- 2) показатель степени  $n$  характеризует чувствительность растительной ткани к повреждению и по его значению можно заключить: какие ткани, и каких растительных объектов более чувствительны к электроимпульсному повреждению, а какие менее чувствительны;
- 3) для надёжного, необратимого повреждения растительных тканей объектов растительного происхождения в них необходимо создать достаточную для запланированных технологических целей напряжённость электрического поля.

#### Библиография

1. Юдаев И.В., Шкрабак В.С., Кокурин Р.Г. Электроимпульсная обработка – основа энергоэффективных технологий в АПК и перерабатывающей промышленности // Материалы деловой программы XXVII международной агропромышленной выставки «АГРОРУСЬ – 2018» (21-24 августа 2018 года, конгрессно-выставочный центр «ЭКСПОФОРУМ», Санкт-Петербург). СПб: СПбГАУ, 2018. С. 292-296.
2. Королев В.А., Топорков В.Н. Интенсификация электроимпульсных процессов в агротехнологиях // Вестник аграрной науки Дона. 2017. № 3 С. 5-10.
3. Electrotechnology as One of the Most Advanced Branches in the Agricultural Production Development. Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development (ed. by V. Kharchenko and Pandian Vasant) / V.I. Baev, I.V. Yudaev, V.A. Petrukhin, I.V. Baev, P.V. Prokofyev, N.K. Armianov. – Hershey PA: IGI Global, 2018. Pp. 283-310.
4. Stankovic, M. V. Cvijanovic M., Dukic V. Ecological importance of electrical devices innovative in the process of anti *Ambrosia artemisiifolia L.* // Economics of Agriculture. 2016. №3. Pp. 861-870.
5. Топорков В.Н. Технология борьбы с сорной растительностью электрическими импульсами высокого напряжения // Альтернативная энергетика и экология. 2013. №7. С. 65-70.
6. Баев В.И., Бородин И.Ф. Электроимпульсная предуборочная обработка подсолнечника и табака: монография. Волгоград: Станица-2, 2002. 231 с.
7. Sun Da-W. Emerging Technologies for Food Processing; 2nd Edition. – Academic Press, 2014. 666 p.
8. Инновационные технологии переработки плодоовощной продукции / Родригес С., Фернандес Ф. (ред.-сост.); пер. с англ. СПб.: Профессия, 2014. 456 с.
9. Flavour retention and related enzyme activities during storage of strawberry juices processed by high-intensity pulsed electric fields or heat / I. Aguiló-Aguayo, G. Oms-oliu, R. Soliva-fortuny, O. Martin-Belloso // Food Chemistry. 2009. №116(1). Pp. 59-65.
10. Pulsed electric field-assisted juice extraction of frozen/thawed blueberries / N. Lamanauskas, R. Bobinaitė, S. Šatkauskas, P. Viškelis, G. Pataro, G. Ferrari // Zemdirbyste-Agriculture. 2015. №102(1). Pp. 59-65.
11. Beetroot juice extraction using pulsed electric field combined with mechanical pressing / P. Sardyoung, K. Pongprom, N. Phupanbai, W. Kantiya, A. Yawootti, P. Intra // International Journal of Advances in Science Engineering and Technology. 2017. №5. Pp. 80-84
12. Попова Н.А., Папченко А.Я., Болога М.К. Электроплазмоллиз винограда с применением биполярных импульсов // Электронная обработка материала. 2014. №50(6) С. 83-91.
13. Pulsed electric field technology in food preservation: a review / Q.A.Syed, A. Ishaq, U.U. Rahman, S. Aslam, R. Shukat // Journal Nutr Health Food Eng. 2017. № 6(5). Pp. 168–172.
14. Plant tissue sensitivity to electrical impulse / I.V. Yudaev, Daus Y.V., Gamaga V.V., Grachev S.E., Kuligin V.S. // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. RJPBCS 9(4). Pp. 734-739.

15. Сорные растения как объект электрической прополки: биологические особенности и электрофизические свойства: монография / И.В. Юдаев, В.И. Баев, Д.С. Елисеев, Т.П. Бренина. – Волгоград: Станица-2, 2004. 128 с.

#### Referents

1. Yudaev I.V., Shkrabak V.S., Kokurin R.G. Elektroimpul'snaya obrabotka – osnova energoeffektivnykh tekhnologiy v APK i pererabatyvayushchey promyshlennosti [Electric pulse treatment – the basis of energy efficient technologies in the agroindustrial complex and processing industry] // Materials of the business program of the XXVII international agroindustrial exhibition «AGRORUS – 2018» (August 21-24, 2018, EXPOFORUM Convention and Exhibition Center, St. Petersburg). SPb: SPbGAU, 2018. Pp. 292-296.
2. Korolev V.A., Toporkov V.N. Intensifikatsiya elektroimpul'snykh protsessov v agrotekhnologiyakh [Intensification of electropulse processes in agrotechnologies] // Bulletin of Agrarian Science of the Don. 2017. №3. Pp. 5-10.
3. Electrotechnology as One of the Most Advanced Branches in the Agricultural Production Development. Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development (ed. by V. Kharchenko and Pandian Vasant) / V.I. Baev, I.V. Yudaev, V.A. Petrukhin, I.V. Baev, P.V. Prokofyev, N.K. Armanov. Hershey PA: IGI Global, 2018. Pp. 283-310.
4. Stankovic, M. V., Cvijanovic M., Dukic V. Ecological importance of electrical devices innovative in the process of anti *Ambrosia artemisiifolia* L. // Economics of Agriculture. 2016. №3. Pp. 861-870.
5. Toporkov V.N. Tekhnologiya bor'by s sornoy rastitel'nost'yu elektricheskimi impul'sami vysokogo napryazheniya [Technology of weed control by high-voltage electrical pulses] // Alternative Energy and Ecology. 2013. №7. Pp. 65-70.
6. Baev V.I., Borodin I.F. Elektroimpul'snaya preduborochnaya obrabotka podsolnechnika i tabaka: monografiya [Electropulse pre-harvesting of sunflower and tobacco: monograph]. Volgograd: Stanitsa-2, 2002. 231 p.
7. Sun Da-W. Emerging Technologies for Food Processing; 2nd Edition. Academic Press, 2014. 666 p.
8. Innovatsionnyye tekhnologii pererabotki plodoovoshchnoy produktsii [Innovative technologies for fruit and vegetable processing] / Rodriguez S, Fernandez F. (ed.-Comp.); per. from English. SPb.: Profession, 2014. 456 p.
9. Flavour retention and related enzyme activities during storage of strawberry juices processed by high-intensity pulsed electric fields or heat / I. Aguiló-Aguayo, G. Oms-oliu, R. Soliva-fortuny, O. Martin-Belloso // Food Chemistry. 2009. №116(1). Pp. 59-65.
10. Pulsed electric field-assisted juice extraction of frozen/thawed blueberries / N. Lamanauskas, R. Bobinaitė, S. Šatkauskas, P. Viškelis, G. Pataro, G. Ferrari // Zemdirbyste-Agriculture. 2015. №102(1). Pp. 59-65.
11. Beetroot juice extraction using pulsed electric field combined with mechanical pressing / P. Sardyoung, K. Pongprom, N. Phupanbai, W. Kantiya, A. Yawootti, P. Intra // International Journal of Advances in Science Engineering and Technology. 2017. №5. Pp. 80-84
12. Popova N.A., Papchenko A.Ya., Bologa M.K. Elektroplazmoliz vinograda s primeneniye bipolyarnykh impul'sov [Grape electropulsmolysis using bipolar pulses] // Electronic processing of the material. 2014. №50 (6) Pp. 83-91.
13. Pulsed electric field technology in food preservation: a review / Q.A.Syed, A. Ishaq, U.U. Rahman, S. Aslam, R. Shukat // Journal Nutr Health Food Eng. 2017. №6(5) Pp. 168-172.
14. Plant tissue sensitivity to electrical impulse / I.V. Yudaev, Daus Y.V., Gamaga V.V., Grachev S.E., Kuligin V.S. // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. RJPBCS 9(4). Pp. 734-739.
15. Sornyye rasteniya kak ob"yekt elektricheskoy propolki: biologicheskiye osobennosti i elektrofizicheskiye svoystva: monografiya [Weed plants as an object of electric weeding: biological features and electrophysical properties: monograph] / I.V. Yudaev, V.I. Baev, D.S. Eliseev, T.P. Brenin. Volgograd: Stanitsa-2, 2004. 128 p.

#### Сведения об авторах

Юдаев Игорь Викторович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Теплоэнергетика и информационно-управляющие системы», заместитель директора по научной работе, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственной аграрный университет» в г. Зернограде, ул. Ленина, д. 21, г. Зерноград, Ростовская обл., 347740, тел.: +7-963-594-11-61, +7-905-397-64-17; e-mail: etsh1965@mail.ru

Казакова Алия Сабировна, доктор биологических наук, профессор кафедры агрономии и селекции сельскохозяйственных культур, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственной аграрный университет» в г. Зернограде, ул. Ленина, д. 21, г. Зерноград, Ростовская обл., 347740, тел. + 7-863-593-59-96, e-mail: Kasakova@inbox.ru.

Даус Юлия Владимировна, кандидат технических наук, инженер, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственной аграрный университет» в г. Зернограде, ул. Ленина, д. 21, г. Зерноград, Ростовская обл., 347740, тел.: +7-961-278-42-75, e-mail: zirochka2505@gmail.com

Кокурин Руслан Геннадьевич, аспирант кафедры «Теплоэнергетика и информационно-управляющие системы», Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственной аграрный университет» в г. Зернограде, ул. Ленина, д. 21, г. Зерноград, Ростовская обл., 347740, тел.: +7-999-626-78-10, e-mail: chemistr@yandex.ru

**Information about authors**

Yudaev Igor Viktorovich, Doctor of Technical Sciences, professor, professor of the Heat power engineering and information control systems department, Deputy Director for Scientific Work, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University» in Zernograd, Russia, Lenin st., 21, Zernograd, Rostov region, 347740, phone: + 7-963-594-11-61, + 7-905-397-64-17; e-mail: etsh1965@mail.ru

Kazakova Alia Sabirovna, Doctor of Biological Sciences, professor, professor of the Agronomy and crop breeding department, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University» in Zernograd, Russia, Lenin st., 21, Zernograd, Rostov region, 347740, phone: + 7-863-593-59-96, Kasakova@inbox.ru.

Daus Yulia Vladimirovna - Candidate of Technical Sciences, engineer, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University» in Zernograd, Russia, Lenin st., 21, Zernograd, Rostov region, 347740, phone: + 7-961-278-42-75, e-mail: zirochka2505@gmail.com

Kokurin Ruslan Gennadievich, postgraduate student of the Heat power engineering and information control systems department, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University» in Zernograd, Russia, Lenin st., 21, Zernograd, Rostov region, 347740, phone: + 7-999-626-78-10, e-mail: chemistr@yandex.ru

## ИННОВАЦИОННАЯ ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЯМИ АПК И СОЦИАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ СЕЛА

УДК 519.681:658.5:338.43

*А.В. Котарев, А.О. Котарева, И.Н. Василенко*

### ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В УПРАВЛЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ И ИННОВАЦИОННОСТЬЮ ОТРАСЛЕВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ АПК РФ

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы применения передовых методов и моделей экономико-математического моделирования с целью повышения эффективности и инновационности развития отраслевых предприятий АПК РФ. Достаточно продолжительное время отечественный агропромышленный сектор не позиционировался как сфера бизнеса, которая весьма привлекательна для потенциальных инвесторов. Среди основных причин данной ситуации стоит отметить: весьма длительный производственный цикл; наличие большого количества рисков и факторов неопределенности (природные, производственные, экономические, рыночные, административные); низкий показатель эффективности производства; разбалансированность и отсутствие четкой структуры рынка сбыта и потребления; низкий уровень государственной поддержки и управляемости со стороны контрольных и надзорных органов; неразвитость экспортного потенциала в плане инфраструктуры, государственного регулирования, организации закупок и доставки готовой продукции до конечного потребителя. Достаточно долгое время данный сектор экономики оставался абсолютно инертным к научно-техническому прогрессу в контексте применения передовых достижений в области механизации, автоматизации, информатизации и математического моделирования производственной, экономической и организационно-управленческой сфер деятельности. Все это существенным образом отражалось на уровне производительности, инновационности, эффективности, управляемости и качестве вырабатываемой продукции. На текущий момент современный агробизнес в нашей стране постепенно наращивает обороты, а основным драйвером выступают значительные инвестиционные вложения. Сегодня отмечена явная тенденция роста конкуренции в отечественной агропромышленной сфере и активизации процессов весьма эффективного применения современных научно-технических решений, в том числе и на базе прикладных математических программ. Использование адаптивных информационных систем на основе расширенных аналитических баз данных, современному производственному менеджменту дает возможность выполнять оптимизационные решения в плане сбора, хранения, обработки данных, в области организации производства, бизнес-планирования, прогнозирования тенденций развития, оценки конкурентоспособности, повышения качества управления всеми производственными системами предприятия.

**Ключевые слова:** агропромышленная сфера, инвестиции, оптимизация, экономико-математические методы и модели.

### OPTIMIZATION SOLUTIONS IN THE MANAGEMENT OF THE EFFICIENCY AND INNOVATIVENESS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES OF THE AGROINDUSTRIAL COMPLEX RUSSIAN FEDERATION

**Abstract.** The article deals with the application of advanced methods and models of economic and mathematical modeling in order to improve the efficiency and innovation of the development of industrial enterprises of agriculture of the Russian Federation. For quite a long time, the domestic agro-industrial sector has not been positioned as a business sector, which is very attractive to potential investors. Among the main reasons for this situation it is worth noting: a very long production cycle; the presence of a large number of risks and uncertainties (natural, industrial, economic, market, administrative); low production efficiency; imbalance and lack of a clear structure of the market for sales and consumption; low level of state support and control by the control and Supervisory authorities; underdevelopment of export potential in terms of infrastructure, state regulation, procurement and delivery of finished products to the final consumer. For a long time this sector of economy remained absolutely inert to scientific and technical progress in the context of application of the advanced achievements in the field of mechanization, automation, informatization and mathematical modeling of production, economic and organizational and administrative spheres of activity. All this was significantly reflected in the level of productivity, innovation, efficiency, manageability and quality of products. At the moment, modern agribusiness in our country is gradually increasing its turnover, and the main driver is significant investment. Today, there is a clear trend of increasing competition in the domestic agro-industrial sphere and the activation of the processes of very effective use of modern scientific and technical solutions, including on the basis of applied mathematical programs. The use of adaptive information systems based on advanced analytical data systems, modern production management makes it possible to perform optimization solutions in terms of data collection, storage, processing, in the field of production organization, business planning, forecasting development trends, assessing competitiveness, improving the quality of management of all production systems of the enterprise.

**Keywords:** agroindustrial sphere, investments, optimization, economic and mathematical methods and models.



**Введение.** Современные задачи управления хозяйствующими субъектами зачастую требуют выработки экстраординарных (нестандартных) решений, которые основываются на точных математических расчетах. Практика показывает, что те субъекты, которые широко используют инструменты математического моделирования в сферах организации производства и труда, маркетинга, финансово-экономической оценки и регулирования, производственно-технологического планирования, антикризисного управления и стратегического прогнозирования, добиваются больших успехов и занимают лидирующие позиции в той или иной предпринимательской среде. Данные тенденции совсем недавно приобрели особую популярность и перспективность и в сфере АПК. В данном контексте стоит отметить, что на текущий момент на государственном уровне в данном направлении реализуется целый ряд нормативно-законодательных инициатив, которые уже дали конкретные результаты [1, 2, 3].

Современные научные исследования в сфере АПК все чаще базируются на различных математических расчетах. На практике особую значимость приобретают именно экономико-математические модели. Особую ценность и распространение данные методы и подходы получили именно в производственной среде, но в современных условиях производственно-экономической деятельности все больше отраслевых хозяйствующих субъектов сталкивается с вопросами применения математических моделей с целью повышения эффективности управления в финансовой сфере, в частности, инвестиционными ресурсами. Сегодня для решения подобного рода задач существует множество методов и механизмов. На современном этапе развития научно-технической мысли наиболее адаптивным, достоверным и утилитарным, на наш взгляд, является механизм модельной оптимизации целевой функции.

**Цель исследования.** Целью настоящего исследования выступила разработка действенного инструментария оптимизации портфеля инвестиционных проектов современных субъектов агропромышленной сферы, на основе применения утилитарных и научно обоснованных экономико-математических методов линейного программирования.

**Условия, материалы и методы.** Проведенное исследование базировалось на применении ситуационных, логических, структурно-функциональных, процессных и проектных научных подходов. В контексте реализации последних были использованы методы эмпирической группы (описание, измерение, сравнение), теоретической группы (идеализация, анализ, формализация, обобщение, конкретизация, абстрагирование) и общенаучной группы (абстрактно-логический, экономико-статистический, моделирование, графический).

**Результаты и обсуждение.** Большинство современных экономических задач прикладного типа сводятся к проведению так называемой оптимизации (производственного плана, инвестиционного портфеля, издержек и т.д.) и установлению наиболее выгодного проекта, а также сценария развития того или иного хозяйствующего субъекта [4, 7, 9].

Задача оптимизации формулируется следующим образом: заданы множество  $X$  (допустимое множество) и функция  $Z(x)$  (целевая функция), определенная на  $X$ ; в большинстве случаев требуется найти точки экстремума (минимума или максимума) данной функции  $Z(x)$  на  $X$ . Таким образом математическая интерпретация задачи оптимизации имеет вид:

$$Z(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \rightarrow \text{extr} (\text{max}; \text{min}), \text{ при этом } x \in X, \quad (1)$$

где  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  – искомые переменные, значения которых вычисляются в процессе решения.

В контексте прикладного исследования, нацеленного на повышение эффективности, инновационности и конкурентоспособности функционирования отраслевых предприятий, важным инструментом достижения поставленной цели выступает именно механизм инвестирования. Как известно, данный вид деятельности весьма тесно сопряжен с рисками и неопределенностями. Выделение наиболее перспективных инвестиционных проектов и рациональное распределение имеющихся финансовых средств между ними, является приоритетным предметом исследования в рамках реализации экономико-математического моделирования.

Далее решим управленческую задачу по оптимизации инвестиционного портфеля, ко-

торая основывается на методах линейного программирования [5, 10]. Перед тем как перейти к процессу моделирования, проведем процесс формализации решаемой задачи, основные положения которого сведены в содержательную часть рисунка 1.

$P$	• Общее количество инвестиционных проектов
$v(p)$	• Число этапов проекта
$T$	• Горизонт планирования процесса реализации проектов
$Q(p)$	• Общие затраты по реализации всех проектов $p$ в заданном периоде времени $t$
$Q_T$	• Общие совокупные издержки за период инвестиционного планирования $T$
$D_T$	• Совокупный доход от реализации проектов за период $T$
$q(p)$	• Затраты по реализации проекта $p$ в период времени $t$
$\xi_p$	• Символ обозначает факт начала реализации проекта $p$ в периоде времени $t$ . Таким образом, $\xi_p = 1$ , если период времени $t$ является начальным периодом реализации проекта $p$ , в противном случае $\xi_p = 0$
$d_{pit}$	• Величина фиксированного дохода, получаемого в периоде времени $t$ на $i$ -м этапе от начала реализации проекта за номером $p$
$r_p$	• Показатель рентабельности проекта $p_i$ в заданный период времени $t$

**Рис. 1. Элементы формализации задачи оптимизации структуры инвестиционных проектов**

На текущий момент среди наиболее распространенных моделей оптимизации портфеля инвестиций можно выделить: алгоритмы модельных решений с целевым доходом; модельные решения с логическими связями; программные алгоритмы с логико-финансовыми связями [6].

В нашем случае рассмотрим первый вариант: имеется перечень инвестиционных проектов с заданными параметрами (затраты, доход, рентабельность). Также имеется ограниченная сумма свободных финансовых средств, которые возможно направить на реализацию всего портфеля проектов либо одновременно, либо по этапам с определенным интервалом времени.

Ниже приведена целевая функция модели (2) с системой ограничений (3) в соответствии с заданным объемом финансовых расходов.

$$\sum_{p=1}^P d_{pit} \cdot \xi_p \rightarrow \max$$

(2)

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{p=1}^P q_{p1} \cdot \xi_p \leq Q_1 \end{array} \right.$$



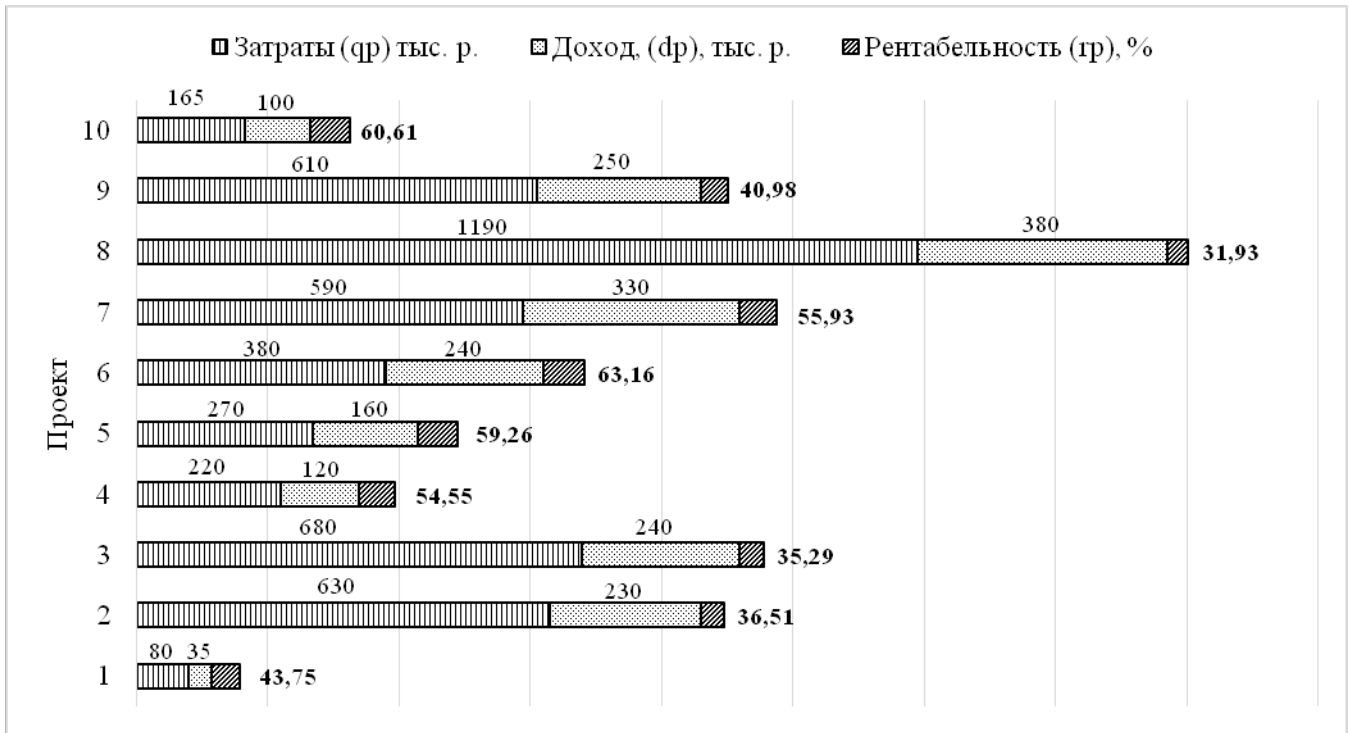


Рис. 2. Экономические показатели инвестиционных проектов

Далее проведя ранжирование проектов в порядке убывания показателя доходности, мы приходим к выводу, что максимальный положительный эффект (доход) соответствует проекту №6 (63,16%), а минимальный – проекту №8. Исходя из начальных условий общая сумма финансового обеспечения проектов ( $Q_T$ ) составит 2,1 млн. р.

Основываясь на принципе «максимальности уровня доходности» в состав инвестиционного портфеля должны войти проекты под номерами: 6, 10, 5, 7, 4 и 1. При реализации данных проектов суммарный показатель издержек составит 1705 тыс. р., что четко соответствует принятым ограничениям. Если продолжить процесс формирования портфеля проектов, то в него войдет проект №9, но в данной ситуации сумма издержек уже составит 2315 тыс. р., что на 215 тыс. р. выше лимита (2,1 млн. р.). Таким образом, с позиции оптимальности в портфель следует включить шесть проектов с положительным эффектом – 985 тыс. р.

Далее выполним оптимизацию на основе метода линейного программирования. Модельные расчеты приведены на рисунке 3.

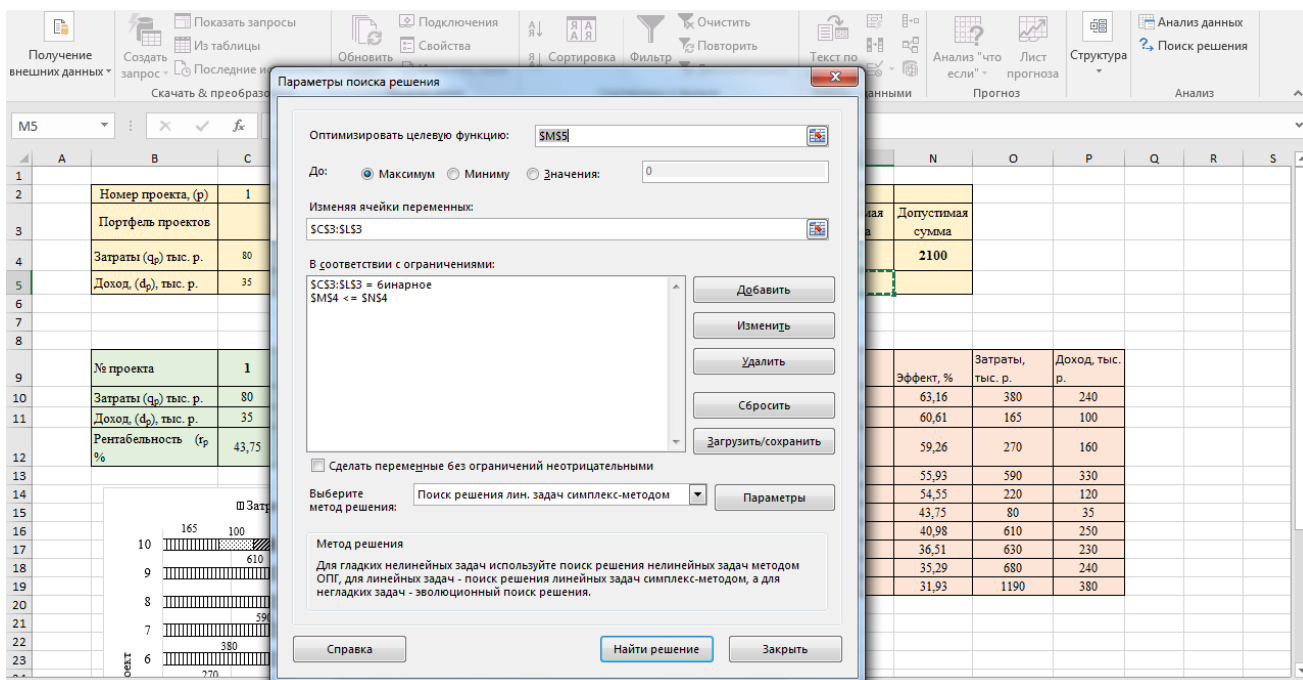


Рис. 3. Модельные расчеты оптимизации структуры портфеля инвестиционных проектов

Таким образом, была сформирована новая структура портфеля проектов. Как следует из расчетных данных, программа определила иной состав структуры портфеля проектов с позиции максимизации прибыли и имеющихся финансовых ограничений, в частности, в него вошли проекты под номерами 1, 5, 6, 7, 9 и 10. Таким образом с точки зрения оптимальности (максимум доходности) проект №4 был заменен на проект №9, что обеспечило более эффективное использование финансовых средств и увеличило потенциальную прибыль на 130 тыс. р. Все это доказывает, что «правило оптимальности по рентабельности» не всегда на практике приводит к максимальному положительному эффекту.

Разработанная модель может быть легко адаптирована под более сложные задачи, в частности, когда ход реализации проектов имеет нескольких интервалов, а допустимые затраты  $q_i$  определены для каждого интервала. Предположим, что период планирования  $T$  включает пять этапов. Для каждого периода задана своя величина допустимых затрат  $z_t$ . Для проверки сопоставимости и работоспособности модели все исходные данные предыдущего варианта оставим без изменения. Отметим, что распределение затрат каждого проекта по этапам имело чисто случайный характер. Основная целевая установка осталась неизменной – формирование структуры портфеля проектов, соответствующей максимальному эффекту (доходу). Задавая систему ограничений по затратам для каждого этапа по всем проектам, а также определяя целевую функцию, за счет модуля «Поиск решения» (рисунок 4) нами был получен оптимизированный портфель проектов [5, 8, 9].

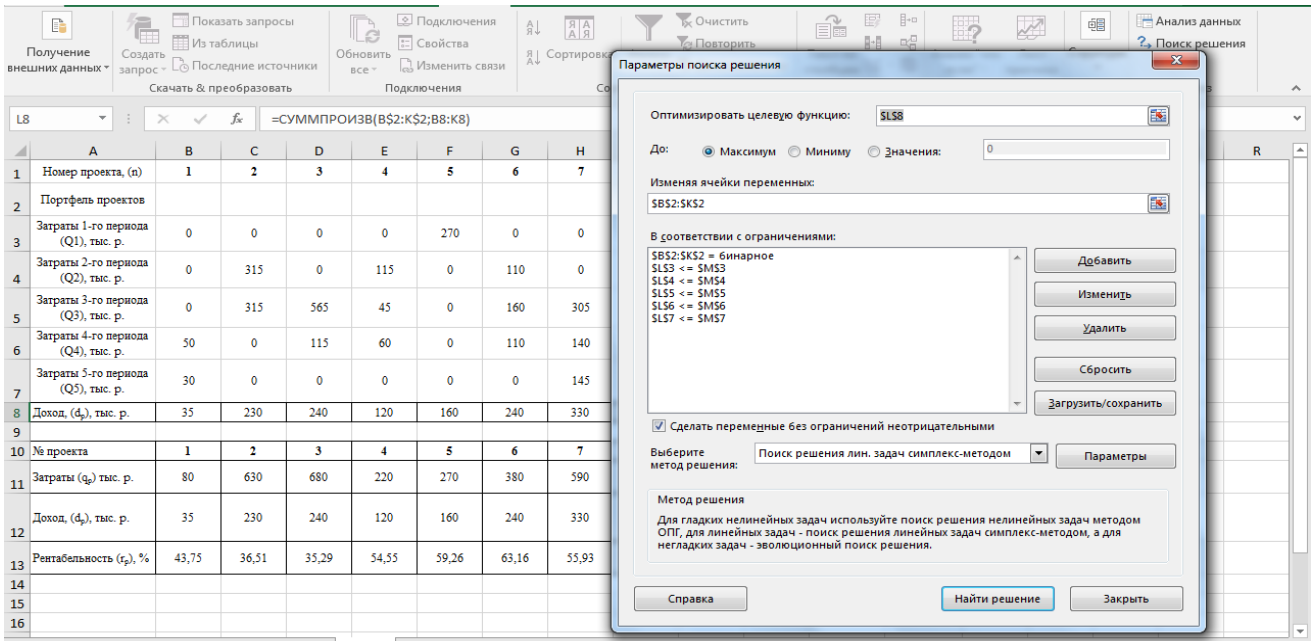


Рис. 4. Модельные расчеты оптимизации структуры портфеля инвестиционных проектов по временным интервалам их реализации

В новых условиях моделирования полученный конечный результат (860 тыс. р.) существенно отличается от предыдущего варианта (1115 тыс. р.), что свидетельствует об отрицательном эффекте проведенных изменений. Все это обусловлено подбором новой оптимальной структуры состава проектов (2, 4, 5, 9, 10). В данной ситуации было выбрано всего пять проектов, но, тем не менее, приведенный состав является оптимальным с точки зрения установленной системы ограничений и принятых условий (начальных и граничных) моделирования.

Таким образом, на основе проведенных расчетов можно сделать конструктивный вывод, что предложенная модель оптимизации портфеля инвестиционных проектов обладает высокой степенью вариативности и многовариантности решений, ей также присущи хорошие адаптивные свойства и простота выполнения математических расчетов. Данная модель в виду своей объективной утилитарности может быть использована на практике различными хозяйствующими субъектами с целью повышения эффективности и рациональности реализации инновационно-инвестиционной политики управления развитием предприятия.

**Выводы.** Как показало исследование на текущий момент уже сформировался устойчивый спрос на промышленные информационно-аналитические системы, комплексную аналитику и, в частности, на программные модули, позволяющие решать разнообразные оптимизационные задачи. Все это доказывает высокую степень актуальности и перспективной значимости применения передовых экономико-математических методов и моделей в контексте повышения рациональности, эффективности, инновационности и конкурентоспособности хозяйствующих субъектов отечественного агропромышленного сектора национальной экономики. Как показала практика, многие современные субъекты АПК сегодня сталкиваются с вопросами рационализации структуры портфеля инвестиционных проектов, то есть сформировать и реализовать его таким образом, чтобы он принес максимальный положительный эффект в плане доходности и эффективности. В данном контексте была разработана экономико-математическая модель, позволяющая оптимизировать структуру инвестиционных проектов с целью обеспечения максимального уровня прибыльности при имеющихся финансовых ограничениях. Также отметим, что модель обладает высокими адаптивными свойствами и может быть применена при решении более сложных задач, в частности, когда ход реализации проектов имеет несколько интервалов, а допустимые затраты определены для каждого из них.

### Библиография

1. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» (утв. распоряжением Правительства РФ от 28.07.2017 г. №1632-п) URL: <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf> (дата обращения: 19.06.2019).
2. Программа «Цифровизация сельского хозяйства» URL: [tps://iotas.ru/files/documents/Пояснит. записка%20eAGRO%20fin%20000.pdf](https://iotas.ru/files/documents/Пояснит.записка%20eAGRO%20fin%20000.pdf) (дата обращения: 20.06.2019).
3. Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017-2025 гг. (Постановление Правительства РФ от 25.08.2017 г. № 996) URL: <http://static.government.ru/media/files/EIQtiyxIORGXoTK7A9i497tyyLAmnIrs.pdf> (дата обращения: 18.06.2019).
4. Богомолова И. П., Василенко И. Н., Омельченко О. М. Оценка эффективности формирования интегрированных образований на основе экономико-математической модели // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2018. Т. 80. №2(76). С. 375-381.
5. Богомолова И. П., Котарев А. В., Котарева А. О. Функционирование и развитие перерабатывающей сферы мясопродуктового подкомплекса российской федерации // АПК: Экономика, управление. 2019. №1. С. 44-57.
6. Улезько А. В., Котарев А. В. Моделирование как инструмент принятия управленческих решений // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2008. №1-2 (16-17). С. 73-80.
7. Экономика предприятия / Под ред. В.Я. Горфинкеля. – Москва: ЮНИТИ, 2006. - 367 с.
8. Экономико-математические методы и модели: учеб. - метод. пособие по выполнению расчетных заданий с использованием табличного процессора Excel для студентов экономических специальностей / авт.-сост. Е. А. Шинкевич. – Минск.: БГТУ, 2005. - 74 с.
9. Экономико-математические методы и моделирование: краткий курс лекций для студентов направления подготовки 21.03.02 Землеустройство и кадастры / Сост.: Л. А Слепцова, В. В. Панченко // ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. – Саратов, 2016. – 164 с.
10. Экономико-математическое моделирование бизнес процессов: методические указания к лабораторным работам «Решение задач линейного программирования с использованием Microsoft Excel» /сост. к.э.н. И.А. Майорова. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016 г.

### References

1. Program «Digital economy of the Russian Federation» (app. by order of the Government of the Russian Federation from 28.07.2017, No. 1632-p) URL:<http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf> (date accessed: 19.06.2019).
- 2.The program «The Digitalization of agriculture» URL: <https://iotas.ru/files/documents/Пояснит.записка%20eAGRO%20fin%20000.pdf> (date accessed: 20.06.2019).
3. Federal scientific-technical program of development of agriculture the 2017-2025 gg. (In the formation of the Government of the Russian Federation from 25.08.2017, No. 996) URL: <http://static.government.ru/media/files/EIQtiyxIORGXoTK7A9i497tyyLAmnIrs.pdf> (date accessed: 18.06.2019).
4. Bogomolova I. P., Vasilenko I. N., Omelchenko O. M. Evaluation of the efficiency of formation of integrated formations on the basis of economic and mathematical model. Bulletin of the Voronezh state University of engineering technologies. 2018. Vol. 80. №2(76). P. 375-381.
5. Bogomolova I. P., Kotarev A. V., Kotareva A. O. Functioning and development of the processing industry of meat and product sub-complex of the Russian Federation // APK: Economy, management. 2019. No. 1. P. 44-57.
6. Oleshko A. V., Kotarev A. V. modeling as a tool for managerial decision making // Vestnik of the Voronezh state agrarian University. 2008. №1-2 (16-17). P. 73-80.
7. Enterprise economy / Under the editorship of V. Ya Garfinkel. – Moscow: UNITY, 2006. - 367 p.
8. Economic and mathematical methods and models: studies. - method. manual for the implementation of settlement-Dany using a spreadsheet Excel for students of economic specialties / ed.-comp. E. A. Shinkevich. – Minsk.: BSTU, 2005. - 74 p.
9. Economic and mathematical methods and modeling: a short course of lectures for students of the direction of training 21.03.02 land Management and cadastres / Comp.: L. A. Sleptsova, V. V. Panchenko // of the Saratov state agricultural UNIVERSITY. – Saratov, 2016. – 164 p.
10. Economic and mathematical modeling of business processes: guidelines for laboratory work "Solving linear programming problems using Microsoft Excel" /comp. Ph. D. in Economics I. A. Mayorova. – Samara: Samar. state tech. UN-t, 2016.

### Сведения об авторах

Котарев Александр Вячеславович, кандидат экономических наук, доцент кафедры управления и маркетинга в АПК, ФГБОУ ВО Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, д. 1, г. Воронеж, Россия, 394087, тел. +7(4732) 53-86-51; e-mail: [kotarew@gmail.com](mailto:kotarew@gmail.com)

Котарева Алена Олеговна, кандидат экономических наук, доцент кафедры управления и маркетинга в АПК, ФГБОУ ВО Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, д. 1, г. Воронеж, Россия, 394087, тел. +7(4732) 53-86-51; e-mail: [kotarew@gmail.com](mailto:kotarew@gmail.com)

Василенко Ирина Николаевна, кандидат экономических наук, доцент кафедры управления, организации

производства и отраслевой экономики, ФГБОУ ВО Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр. Революции, д. 19, г. Воронеж, Россия, 394036, тел. 8(908)147-62-16, e-mail: [Irina\\_NW@bk.ru](mailto:Irina_NW@bk.ru)

**Information about authors**

Kotarev Aleksandr Vyacheslavovich, candidate of economic Sciences, associate Professor of the Department of management and marketing in agriculture, doctor of Voronezh state agrarian University named after Emperor Peter I, st. Michurina, 1, Voronezh, Russia, 394087, phone. +7(4732) 53-86-51; e-mail: [kotarew@gmail.com](mailto:kotarew@gmail.com)

Kotereva Alena Olegovna, candidate of economic Sciences, associate Professor of the Department of management and marketing in agriculture, doctor of Voronezh state agrarian University named after Emperor Peter I, st. Michurina, 1, Voronezh, Russia, 394087, phone. +7(4732) 53-86-51; e-mail: [kotarew@gmail.com](mailto:kotarew@gmail.com)

Vasilenko Irina Nikolaevna, candidate of economic Sciences, associate Professor, chair of management, production organization and branch economy, of the Voronezh state University of engineering technologies, Revolution Avenue, 19, Voronezh, Russia, 394036, phone. 8(908)147-62-16, e-mail: [Irina\\_NW@bk.ru](mailto:Irina_NW@bk.ru)



УДК 631.153

*М.А. Холодова, О.А. Холодов*

## РАЗВИТИЕ ОТРАСЛИ ЖИВОТНОВОДСТВА В РАМКАХ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

**Аннотация.** В статье рассмотрены тенденции развития отрасли мясного животноводства в условиях политики продовольственного эмбарго. Важность статьи обусловлена тем, что при мониторинге продовольственной безопасности, прежде всего, рассматриваются вопросы производства необходимого количества продовольствия, а задачи обеспечения качества, безопасности, достаточности продуктов питания, их физической и экономической доступности находятся в конце списка. Несмотря на то, что в России уровень самообеспеченности по мясу в 2017 г., превышал показатель обозначенный Доктриной (85,0 %) на 8,1 %, производство отдельных видов мяса значительно ниже показателей, определяющих продовольственную безопасность страны. Так, производство говядины и баранины на 70,0 и 50,0 %, соответственно, ниже рациональной нормы их потребления. Дефицит мясной продукции покрывается за счет поступления на продовольственные рынки страны более дешевого мяса птицы и свинины отечественного производства. В статье актуализируются вопросы прогнозирования отраслевого рынка мяса, от которых в значительной степени зависит качество и уровень жизни населения страны. Анализируется современное состояние и выявляются тенденции развития мясного животноводства в условиях продуктового эмбарго. Предложены методические подходы разработки прогноза развития отечественной отрасли животноводства на основе метода одномерной экстраполяции временных динамических рядов, в дополнении с анализом различных криволинейных и прямолинейных зависимостей, характеризующих изучаемые экономические процессы и дающих наиболее оптимальные результаты: уравнение прямой линии, логарифмическая, степенная, экспоненциальная виды кривых. Представлена оценка результатов трендового моделирования в соответствии с экономико-математическим и статистическим критериям надежности и точности, а также с применением экспертных методов. Рассчитаны прогнозные показатели численности поголовья сельскохозяйственных животных и объемы производства мяса в России к 2025 г. в формате многоукладности сельской экономики. Обоснованы прогнозные сценарии продовольственной самообеспеченности населения страны мясом на среднесрочную перспективу: базовый, оптимистический и пессимистический. Полученные прогнозные параметры развития рынка продовольствия на 2025 г. свидетельствуют о более полном удовлетворении потребности населения страны в мясе.

**Ключевые слова:** мясное животноводство, размещение поголовья сельскохозяйственных животных и производства мяса, оценка, методика прогноз.

### THE DEVELOPMENT OF THE LIVESTOCK INDUSTRY IN THE FRAMEWORK OF FOOD SECURITY

**Abstract.** The article describes the trends in the development of the meat industry in the conditions of food embargo policy. The importance of the article is due to the fact that when monitoring food security, first of all, the issues of production of the required amount of food are considered, and the tasks of ensuring the quality, safety, sufficiency of food, their physical and economic availability are at the end of the list. Despite the fact that in Russia the level of self-sufficiency in meat in 2017 exceeded the figure indicated by the Doctrine (85.0 %) by 8.1%, the production of certain types of meat is much lower than the indicators that determine the food security of the country. Thus, the production of beef and mutton by 70,0 and 50,0 %, respectively, is lower than the rational rate of their consumption. The shortage of meat products is covered by the receipt of cheaper poultry meat and pork of domestic production to the food markets of the country. The article actualizes the issues of forecasting the meat industry market, on which the quality and standard of living of the population of the country significantly depends. The current state and trends in the development of beef cattle breeding in the conditions of food embargo are analyzed. The methodological approaches of development of the forecast of development of domestic branch of animal husbandry on the basis of a method of one-dimensional extrapolation of time dynamic series are offered, in addition with the analysis of various curvilinear and rectilinear dependences characterizing studied economic processes and giving the most optimal results: the equation of a straight line, logarithmic, power, exponential types of curves. The estimation of the results of trend modeling in accordance with the economic, mathematical and statistical criteria of reliability and accuracy, as well as using expert methods. The forecast indicators of the number of livestock of farm animals and the volume of meat production in Russia by 2025 in the format of the rural economy are calculated. The forecast scenarios of food self-sufficiency of the population of the country with meat for the medium term are substantiated: basic, optimistic and pessimistic. The obtained forecast parameters of the food market development for 2025 indicate a more complete satisfaction of the needs of the population in meat.

**Keywords:** meat animal husbandry, placement of livestock of farm animals and meat production, assessment, forecast methodology.

**Введение.** В современных условиях хозяйствования, характеризующихся высокой динамичностью проявления негативных макроэкономических явления, противоречивостью и неоднозначностью геополитических процессов в отечественной и мировой экономике, сопровождающиеся режимом санкционных ограничений в сфере продовольствия,

происходящие трансформации требуют формирования эффективных направлений развития аграрного сектора экономики способствующих его адаптации к современной экономической реальности.

Одной из наиболее уязвимых отраслей сельскохозяйственного производства в условиях продуктового эмбарго является отечественное животноводство. Реализуемые программы развития сельскохозяйственного производства на федеральном и региональном уровнях способствовали созданию определенных организационно-экономических условий для развития отрасли и стимулировали устойчивые тенденции удовлетворительного экономического роста в животноводстве. Так, за последние годы темпы роста производства продукции животноводства составили в 2014 г. – 2,0 %, в 2015 г. – 3,1 %, в 2016 г. – 1,5 %, в 2017 г. – 2,8 %. Однако, коренным образом изменить ситуацию, касающуюся продукции скотоводства не удалось. Исследования показали, что в условиях продуктового эмбарго наибольшее отставание в обеспечении населения страны основными видами продовольствия существует в производстве говядины и баранины. Так, в отрасли мясного животноводства доля отечественного производства говядины составила 30,0 % от рекомендуемой нормы, баранины – 50,0 %, соответственно, что значительно ниже показателей, определяющих продовольственную безопасность страны.

В условиях выхода из кризиса отрасли животноводства планирование и прогнозирование приобретают особое значение. Известно, что отрасль животноводства имеет свои ярко выраженные особенности и конкурентные преимущества, но одновременно и конкурентные недостатки. Так, крупный рогатый скот по конверсии корма и скороспелости уступает птицеводству и свиноводству. Однако, для получения высококачественного диетического мяса говядины необходимы дешевые сочные и грубые корма. Чтобы усилить преимущества и нейтрализовать недостатки возникает необходимость совершенствования системы планирования и прогнозирования производства мяса в стране, т.к. именно план и прогноз способствуют оптимизации выбора в условиях ограниченности ресурсов, обеспечивая снижение издержек и рост прибыли.

**Основная часть.** Для определения основных параметров развития отраслей мясного животноводства России в среднесрочной перспективе нами обоснован методический инструментарий разработки прогноза развития отрасли на основе комплекса методов экономико-математического моделирования, предполагающих использование способа построения сценариев и их количественное обоснование, основными, из которых, следует считать такие экстраполяционные методы, как трендовое моделирование (линейные и нелинейные тренды). Эмпирической базой прогнозных расчетов стала оценка тенденций развития сельхозтоваропроизводителей страны за период 2004-2017 гг.

На первом этапе прогнозирования перспектив развития отрасли мясного животноводства явился анализ современных тенденций функционирования отрасли в стране.

На втором этапе на основе инерционных методических подходов, проектирующих прошлые тенденции в будущее, были рассчитаны такие прогнозные показатели, как численность поголовья сельскохозяйственных животных в скотоводстве, свиноводстве и овцеводстве по категориям хозяйств, объем производства мяса (в убойном весе) в формате многоукладности. Исследования показали, что одномерная экстраполяция временных динамических рядов, характеризующихся в сельскохозяйственном производстве, в целом, и в отрасли мясного животноводства, в частности, криволинейными зависимостями, не всегда может обеспечить достоверность прогнозируемых показателей, поэтому для оценки параметров тренда нами был проведен анализ различных криволинейных и прямолинейных зависимостей, характеризующих изучаемые экономические процессы и дающих наиболее оптимальные результаты: уравнение прямой линии, логарифмическая, степенная, экспоненциальная виды кривых.

Их функции имеют вид:

- линейная -  $Y = a + bx$ , (1)

- экспоненциальная -  $Y_t = ab^t$ , (2)

- степенная -  $Y = a_0 x_1^n$ , (3)

- логарифмическая -  $Y = b = a \ln x$  (4) [1].

Оценка результатов трендового моделирования всех выше перечисленных видов зависимостей применительно к исследуемым временным рядам осуществлялась по экономико-математическим и статистическим критериям надежности и точности, а также с применением экспертных методов. На основе полученных расчетов были определены наиболее вероятные значения численности поголовья сельскохозяйственных животных и объема производства мяса (в убойном весе).

На третьем этапе прогнозирования обобщались и сравнивались полученные результаты с реальными тенденциями развития отрасли мясного животноводства страны [1;2].

Прогнозные расчеты проводились с использованием программных продуктов «Прогноз институциональных структурных изменений в сельском хозяйстве» (AgrlnStFor) и FAR-AREA, 4.0.

Исследования показали, что в период кардинальных изменений в политике государственного регулирования социально-экономического развития в России обусловленных выбором национальных приоритетов, реализацией политики импортозамещения в сфере продовольствия наблюдается изменение институциональной структуры производства основных видов продукции животноводства. Так, в условиях новой экономической реальности существенный удельный вес поголовья КРС, овец и коз приходится на малые формы хозяйствования (табл. 1).

**Таблица 1- Состав и структура поголовья скота и птицы в России, %**

Годы	КРС						Свиньи					
	СХО		Хозяйства населения		К(Ф)Х		СХО		Хозяйства населения		К(Ф)Х	
	Тыс. гол.	Удел. вес, %	Тыс. гол.	Удел. вес, %	Тыс. гол.	Удел. вес, %	Тыс. гол.	Удел. вес, %	Тыс. гол.	Удел. вес, %	Тыс. гол.	Удел. вес, %
2013	8800,5	45,7	8425,7	43,7	2046,5	10,6	14705,9	77,4	3834,8	20,2	469,5	2,5
2014	8522,7	45,0	8261,5	43,7	2135,7	11,3	15590,2	80,1	3431,7	17,6	429,7	2,2
2015	8447,8	45,4	7931,8	42,6	2241,3	12,0	17601,8	82,2	3335,3	15,6	468,4	2,2
2016	8355,9	45,5	7567,2	41,2	2423,0	13,2	18390,6	83,9	3079,5	14,0	454,6	2,1
2017	8252,2	45,1	7500,8	41,0	2541,3	13,9	19843,1	86,0	2805,9	12,2	426,6	1,8
Годы	Овцы и козы						Птица					
	СХО		Хозяйства населения		К(Ф)Х		СХО		Хозяйства населения		К(Ф)Х	
	Тыс. гол.	Удел. вес, %	Тыс. гол.	Удел. вес, %	Тыс. гол.	Удел. вес, %	Тыс. гол.	Удел. вес, %	Тыс. гол.	Удел. вес, %	Тыс. гол.	Удел. вес, %
2013	4401,1	18,2	11357,4	47,1	8372,9	34,7	395355	80,0	90479	18,3	8111	1,6
2014	4368,8	17,9	11500,2	47,0	8576,3	35,1	425374	81,1	90337	17,2	8540	1,6
2015	4346,9	17,7	11542,7	46,9	8716,9	35,4	445048	81,8	88952	16,4	9914	1,8
2016	4223,3	17,1	11352,5	45,9	9141,1	37,0	451539	82,1	88378	16,1	10252	1,9
2017	4050,8	16,6	11279,7	46,2	9058,6	37,1	460106	82,8	85874	15,4	9847	1,8

Источник: Данные Федеральной службы государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения: 12.02.2019 г.)

В 2017 г. на них приходилось 54,9 % - поголовья КРС в стране и 83,3 % - поголовья овец и коз [3]. Специализация малого агробизнеса на развитии отрасли мясного скотоводства и овцеводства обусловлена незначительными капитальными вложениями из-за отсутствия

необходимости применения сложного технического оборудования и использованием дешевых и доступных кормов.

В ряде отраслей, в связи с реализацией Нацпроекта и Госпрограмм продолжают формироваться конкурентоспособные производства, в частности, в свиноводстве и птицеводстве получили развитие крупные формирования, функционирующие на инновационной основе с привлечением иностранных инвестиций [4]. В сельскохозяйственных организациях России в 2017 г. было сосредоточено 86,0 % - поголовья свиней страны, 82,8 % - поголовья птицы

Вместе с тем численность поголовья скота и птицы в стране еще не достигла дореформенного уровня. Даже в скороспелых подотраслях животноводства (птицеводстве и свиноводстве), имеющих ярко выраженные конкурентные преимущества, ускоренный рост в последние годы, не позволил достигнуть уровня 1990 г.: поголовье свиней составило 40,5 %, птицы – 84,2 %.

В условиях продуктового эмбарго в России наблюдается увеличение объемов производства мяса в хозяйствах всех категорий и существенные перекосы в структуре его производства по видам (рис. 1).

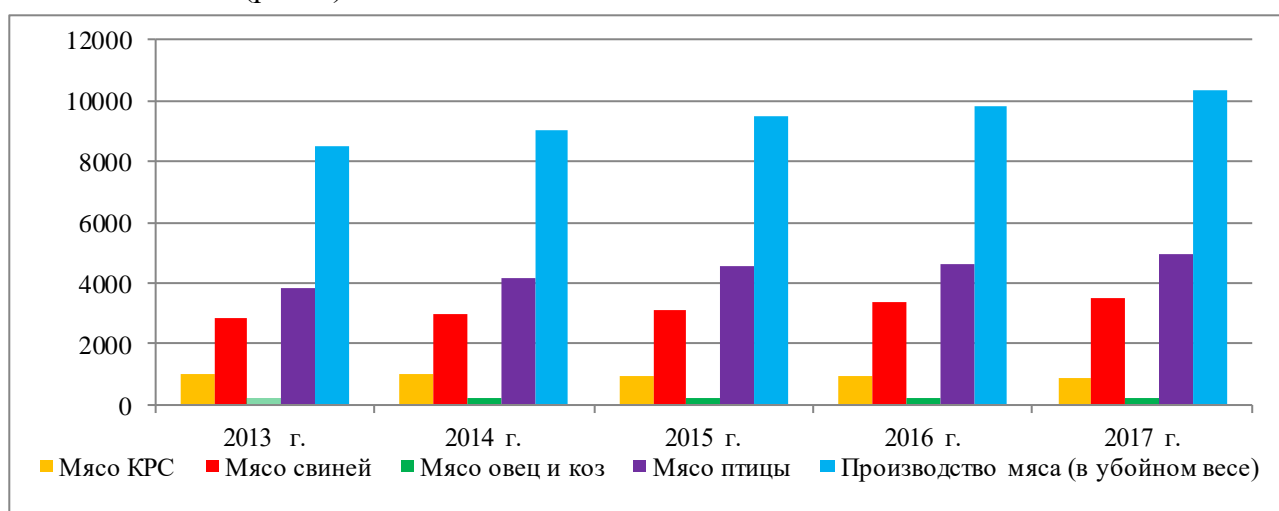


Рис. 1. Динамика производства мяса в России, тыс. тонн (2013-2017 г.г.)

Источник: Данные Федеральной службы государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения: 12.02.2019 г.)

В частности, уровень самообеспеченности государства таким стратегически важным видом продовольствия как мясо в 2017 г. составил 93,1 % (против 85,0 % обозначенных в Доктрине). Однако, производство отдельных видов мяса в расчете на душу населения не соответствует рациональным нормам его потребления и не обеспечивает сбалансированного питания населения (табл. 2).

Таблица 2- Динамика производства основных видов мяса в убойном весе (по категориям хозяйств), кг/чел./год

Показатель	Рациональная норма потребления	Годы					Уровень достижения рациональной нормы потребления, %
		2013	2014	2015	2016	2017	
Говядина	20,0	6,8	6,6	6,5	6,2	6,0	30,0
Свинина	18,0	19,6	20,3	21,0	22,9	23,9	132,8
Баранина	3,0	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	50,0
Мясо птицы	31,0	26,7	28,5	31,0	31,5	33,6	108,3

Источник: Рассчитано авторами по результатам исследования

Так, по нормам потребления основных видов продуктов питания в России рациональная норма потребления мяса говядины на душу населения в год составляет 20,0 кг, свинины – 18,0 кг, баранины – 3,0 кг, мяса птицы – 31 кг [5]. В России производство говядины и баранины на

душу населения ниже рациональной нормы его потребления в 2017 г. на 70,0 % и 50,0 %, соответственно (табл. 2). Дефицит мясной продукции покрывается за счет поступления на продовольственные рынки страны мяса птицы и свинины отечественного производства.

Известно, что говядина является одним из дорогостоящих видов мяса, поэтому ее потребление и производство на прямую зависят от платежеспособного спроса населения страны. Исследования показали, что в период макроэкономической нестабильности в стране 2013-2016 гг. темпы роста реальных денежных доходов населения РФ замедлились со 104,8 % в 2013 г. до 94,4 % в 2016 г., тогда как рост потребительской цены на говядину составил 26,5 %, баранину – 20,0 %. В этой связи коренным образом изменить ситуацию в отрасли мясного животноводства в ближайшее время не представляется возможным.

Для определения прогнозных показателей производства мяса в различных категориях хозяйств России на период до 2025 г. (табл. 3) с использованием целого ряда линейных и нелинейных трендовых моделей и отбора наиболее достоверных результатов на основе нахождения наименьшего значения дисперсии были произведены расчеты, в соответствии с которыми в период с 2017 г. по 2025 г. производство мяса в стране предположительно увеличится на 15,1 %, составив 11881,8 тыс. тонн (табл. 3).

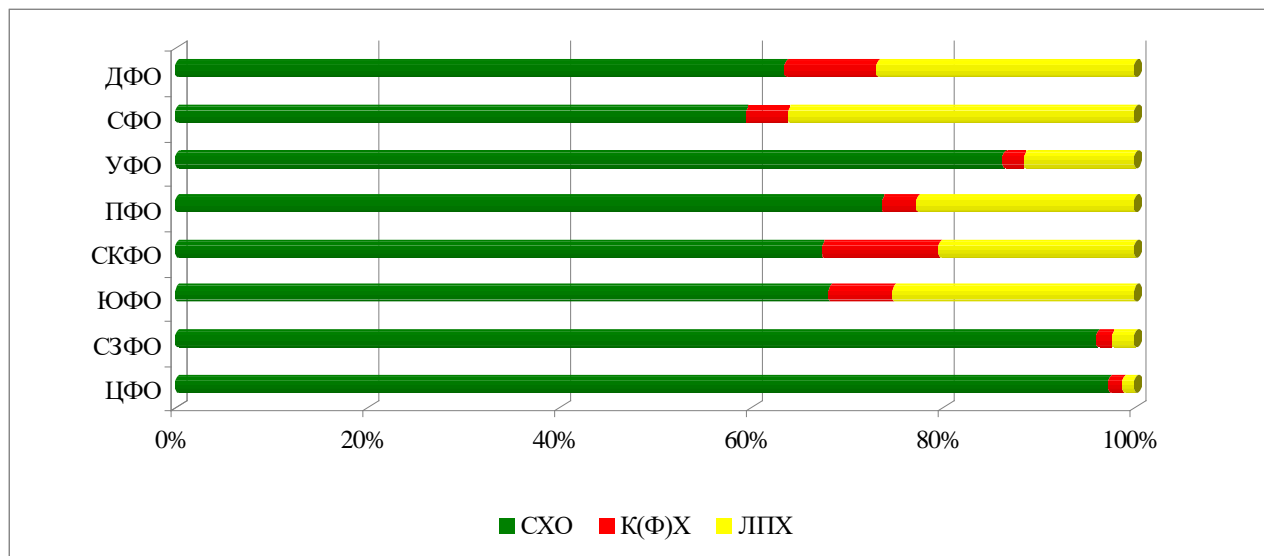
**Таблица 3 - Прогноз производства мяса по категориям хозяйств России на 2025г., тыс. т \***

Годы	Категории хозяйств			
	Все категории хозяйств	Сельскохозяйственные предприятия	Хозяйства населения	Фермерские хозяйства
Фактические показатели				
2004	5046,4	2234,4	2701,7	110,4
2005	4989,5	2305,1	2565,1	119,2
2006	5278,1	2567,4	2572,8	137,8
2007	5785,9	2962,6	2656,8	166,5
2008	6276,7	3403,2	2682,9	190,6
2009	6715,0	3864,6	2650,4	200,0
2010	7164,8	4342,3	2612,6	209,9
2011	7515,7	4758,8	2529,0	227,9
2012	8077,6	5414,8	2430,3	232,5
2013	8525,3	6007,9	2280,2	237,2
2014	9026,0	6568,9	2193,1	264,0
2015	9518,5	7129,6	2106,3	282,6
2016	9853,3	7515,8	2045,3	292,2
2017	10319,0	8040,4	1973,3	305,3
Прогнозные показатели				
2025	11881,8	9375,1	2094,1	412,6
тип зависимости	x	степенная $Y = 2171,721 \times X^{0,488}$	степенная $Y = 2889,109 \times X^{-0,117}$	линейная $Y = 14,07 \times X + 137,413$
2025 к 2017, %	115,1	116,6	106,1	135,1

Источник: Разработано авторами по результатам исследования

В частности, при обосновании прогноза производства мяса в сельскохозяйственных организациях и в хозяйствах населения на основе прогнозной экстраполяции временного динамического ряда за период 2004-2017 гг. преимущественно более надежные результаты показал степенной вид зависимости (с наименьшим значением дисперсии), в К(Ф)Х – линейный вид зависимости, соответственно (табл. 3). Согласно прогноза основными производителями мяса в стране в 2025 г. останутся сельскохозяйственные организации с объемом производства 9375,1 тыс. тонн (рост в сравнении с 2017 г. 116,6 %), на их долю будет приходиться 78,9 % от всего объема произведенного мяса. Объем производства мяса в хозяйствах населения возрастет к 2025 г. до 2094,1 тыс. тонн (или на 6,1 %). Прогнозируется, что наибольшие темпы роста производства мяса будут в К(Ф)Х, рост к 2025 г. в сравнении с 2017 г. может составить 36,9 % или 412,6 тыс. тонн.

Разработка прогноза аграрной структуры по производству мяса в разрезе федеральных округов подтверждает, что к 2025 г. доминирующую роль в производстве данного вида продовольствия во всех федеральных округах без исключения будут играть сельскохозяйственные организации (рисунок 2).

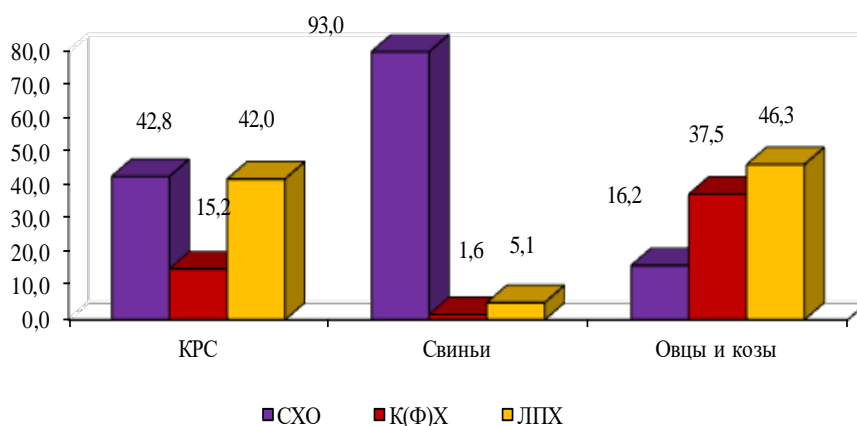


**Рис. 2 - Прогноз структуры производства мяса по категориям хозяйств в разрезе федеральных округов РФ на 2025 г., %**

Источник: Разработано авторами по результатам исследования

Согласно расчетам в Центральном и Северо-Западном федеральных округах свыше 94,0 % производства мяса будет приходиться на крупные и средние сельскохозяйственные организации. В настоящее время к крупным сельскохозяйственным организациям, специализирующимся на производстве мяса свиней, в ЦФО можно отнести агрохолдинги «АгроБелогорье» и «АгроПромкомплектация», агрофирму «Ариант» и др.

Прогноз структуры поголовья сельскохозяйственных животных по различным категориям хозяйств России на период до 2025 г. (рис.3) свидетельствует, что наибольшие изменения коснутся поголовья свиней, где доля сельскохозяйственных организаций достигнет 93,3 %. Структура поголовья КРС, овец и коз не претерпит значительных изменений.



**Рис. 3 - Прогноз структуры поголовья скота по категориям хозяйств в Российской Федерации на 2025 г., %**

Источник: Разработано авторами по результатам исследования

Прогнозная структура поголовья сельскохозяйственных животных демонстрирует сохранение лидирующего положения малых форм хозяйствования в содержании поголовья КРС, овец и коз. Их доля к 2025 г. предположительно составит 57,2 % по КРС и 83,8 % по овцам и козам. При этом около половины общего поголовья КРС и овец и коз будет находиться в ЛПХ (42,0 % и 46,3 %, соответственно).

Конструктивные и обеспеченные финансовыми ресурсами мероприятия по развитию мясного скотоводства предположительно будут стимулировать увеличение поголовья КРС в крестьянских фермерских хозяйствах с 2541,3 тыс. гол. в 2017 г. до 2817,2 тыс. гол. в 2025 г. (рост на 10,9 %) (табл. 4), в хозяйствах населения с 7500,8 тыс. гол. в 2017 г. до 7776,5 тыс. гол. в 2025 г. (рост на 3,7%). При этом в сельскохозяйственных организациях поголовье КРС к 2025 сократится в сравнении с 2017 г. на 3,7 %, составив 7944,8 тыс. гол. Наиболее достоверные результаты при прогнозировании поголовья КРС по всем категориям хозяйств показал степенной вид зависимости, хотя имели место и логарифмический, линейный, экспоненциальный виды зависимости.

**Таблица 4 - Прогноз поголовья КРС по всем категориям хозяйств России на 2025 г., тыс. гол.**

Годы	СХО	Хозяйства населения	К(Ф)Х
Фактические показатели			
2004	12116,8	10197,5	839,4
2005	11064,4	9629,3	931,4
2006	10616,4	9853,1	1092,1
2007	10296,4	9982,6	1222,5
2008	9863,4	9859,0	1229,7
2009	9555,2	9629,1	1355,8
2010	9256,5	9061,6	1475,7
2011	9165,1	9039,2	1696,6
2012	9060,2	8685,5	1934,1
2013	8800,5	8425,7	2046,5
2014	8522,7	8261,5	2135,7
2015	8447,8	7931,8	2241,3
2016	8355,9	7567,2	2423,0
2017	8252,2	7500,8	2541,3
Прогнозные показатели			
2025	7944,8	7776,5	2817,2
Тип зависимости	степенная $Y = 10499376 \times X^{-0,095}$	степенная $Y = 10548,008 \times X^{-0,104}$	степенная $Y = 1041,245 \times X^{0,338}$
2025 к 2017,%	96,3	103,7	110,9

Источник: разработано авторами по результатам исследования

Таким образом, существенного увеличения производства мяса говядины для сбалансированного питания населения страны и обеспечения продовольственной независимости в среднесрочной перспективе не ожидается.

Для определения перспективного уровня поголовья свиней в различных категориях хозяйств России расчеты сделаны на основе динамических рядов фактических показателей за 14 лет 2004-2017 гг. Поскольку наименьшую сумму квадратов отклонений от фактических значений имеет степенная зависимость во всех изучаемых категориях хозяйств, то с достаточной степенью достоверности эти значения можно принять как прогнозные показатели (табл. 5). Так, результаты прогноза свиного поголовья свидетельствуют, что численность свиней в сельскохозяйственных организациях России к 2025 г. может увеличиться в сравнении с 2017 г. на 8,2 %, составив 21460,6 тыс. гол. (табл.5). В среднесрочной перспективе хозяйствах населения будет наблюдаться существенное сокращение поголовья свиней в 2,4 раза, составив 1180,2 тыс. гол., в К(Ф)Х – численность свиней уменьшится на 15,0 %, (или до 362,6 тыс. гол.), соответственно.

Для определения прогнозных параметров развития отечественной отрасли овцеводства с использованием данных за 2004-2017 гг. на основе трендовых расчетов сделан прогноз численности поголовья овец и коз на 2025 г.

**Таблица 5 - Прогноз поголовья свиней по всем категориям хозяйств России на 2025 г., тыс. гол.**

Годы	СХО	Хозяйства населения	К(Ф)Х
Фактические показатели			
2004	7048,9	6191,5	476,8
2005	7316,4	5928,9	566,4
2006	8430,7	6937,9	816,3
2007	8711,3	6801,4	858,2
2008	9247,4	6170,3	799,2
2009	10598,4	5914,2	775,2
2010	10816,1	5630,5	804,9
2011	11431,1	5159,1	672,6
2012	13680,5	4541,0	563,9
2013	14705,9	3834,8	469,5
2014	15590,2	3431,7	429,7
2015	17601,8	3335,3	468,4
2016	18390,6	3079,5	454,6
2017	19843,1	2805,9	426,6
Прогнозные показатели			
2025	21460,6	1180,2	362,6
Тип зависимости	степенная $Y = 7457,87 \times X^{0,358}$	степенная $Y = 11010,223 \times X^{-0,698}$	степенная $Y = 1013,561 \times X^{-0,35}$
2025 к 2017, %	108,2	45,1	85,0

Источник: Разработано авторами по результатам исследования

Анализ трендовых рядов показал, что к 2025 г. поголовье овец и коз может существенно возрасти в сравнении с 2017 г. в К(Ф)Х - на 7,3 % (логарифмический вид зависимости), в хозяйствах населения рост может составить 5,9 % (экспоненциальный вид зависимости), в сельскохозяйственных организациях – 3,4 %, соответственно, (экспоненциальный вид зависимости) (табл. 6).

**Таблица 6 - Прогноз поголовья овец и коз по всем категориям хозяйств России на 2025 г., тыс. гол.**

Годы	СХО	Хозяйства населения	К(Ф)Х
Фактические показатели			
2004	4611,0	9952,5	3514,2
2005	4281,0	9750,2	4550,3
2006	4167,8	10807,6	5219,1
2007	4116,1	11215,6	6245,5
2008	4188,7	10983,1	6571,0
2009	4678,2	11187,2	6071,7
2010	4426,7	11259,2	6047,8
2011	4468,1	11318,9	6940,0
2012	4583,6	11219,9	8195,4
2013	4401,1	11357,4	8372,9
2014	4368,8	11500,2	8576,3
2015	4346,9	11542,7	8716,9
2016	4223,3	11352,5	9141,1
2017	4050,8	11279,7	9058,6
Прогнозные показатели			
2025	4190,1	11944,9	9720,3
Тип зависимости	экспоненциальная $Y = 4420,194e^{-0,003 \times X}$	экспоненциальная $Y = 11054,165e^{0,004 \times X}$	логарифмическая $Y = 1478,981 \ln(X) + 5365,564$
2025 к 2017, %	103,4	105,9	107,3

Источник: Разработано авторами по результатам исследования



Для расчета объемов производства мяса в России в расчете на душу населения на период до 2025 г. методом сценарного прогнозирования использовались данные Росстата по прогнозной численности населения РФ на период до 2025 г. Согласно прогнозу Росстата к 2025 г. возможная предположительная численность населения РФ по «среднему варианту прогноза» может составить 146,6 млн. чел., по «высокому варианту» - 150,4 млн. чел., по «низкому варианту» - 144,2 млн. чел. [6]. Сравнивая результаты прогноза по производству мяса с научно-обоснованными рациональными нормами его потребления, нами выделено три основных варианта развития сценариев продовольственной самообеспеченности населения РФ мясом (рис. 4).

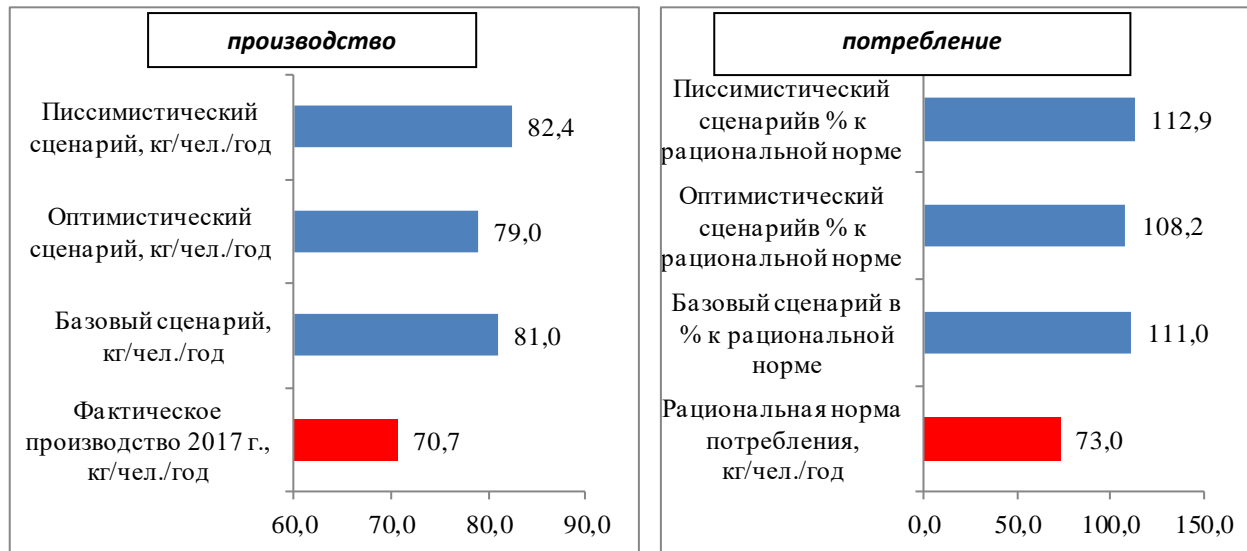


Рис. 4 - Прогноз производства и потребления мяса на душу населения в РФ в 2025 г.

Источник: Разработано авторами по результатам исследования

I базовой сценарий, в основе которого лежит численность населения РФ на уровне 2017 г., предполагает, что в 2025 г. способность сельского хозяйства обеспечить население страны мясом составит 111,0 % к норме.

II оптимистический сценарий, рассчитанный на положительной динамике роста численности населения страны в среднесрочной перспективе со 146,8 млн. чел. в 2017 г. до 150,4 млн. чел. в 2025 г. (рост на 2,5 %), предполагает, что к 2025 г. достижение уровня продовольственной самообеспеченности по мясу составит 108,2 % к норме.

III пессимистический сценарий предусматривающий сокращение численности населения РФ к 2025 г. до 144,2 млн. чел., что на 1,5 % ниже уровня 2017 г. Прогноз показал, что объем производства мяса в 2025 г. составит в расчете на душу населения 112,9 % к норме (рис. 4).

**Заключение.** Полученные прогнозные параметры развития рынка продовольствия на 2025 г. ориентированы на более полное удовлетворение потребности населения страны в мясе. Однако способность отечественного мясного животноводства в 2025 году обеспечить сбалансированное питание населения по отдельным видам мяса в настоящее время поддается научно-обоснованному сомнению.

#### Библиография

1. Совершенствование прогнозирования развития регионального АПК на основе методов экономико-математического моделирования/ В.В. Кузнецов, А.Н. Тарасов, В.Л. Дунаев и др. – Ростов н/Д: ВНИИЭиН, 2006.
2. Печеневский В.Ф., Снегирев О.И. Прогнозирование размещения производства продукции скотоводства в регионе // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий.- 2018.- № 11.- С. 43-47.
3. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. – URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения 12.02.2019 г.)
4. Poluskina T.M. Modern Russia agrarian polity in the context of globalization, 2013. In World of Scientific Discoveries, Series B,1: 105-119.

5. Рекомендации по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания. Утверждены приказом Минздрава России от 19 августа 2016 г. № 614.
6. Предположительная численность населения РФ до 2035 г.: статистический бюллетень, Москва, 2018. - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL://<http://www.gks.ru> (дата обращения 12.02.2019).

#### **References**

1. Improvement of forecasting of development of regional agriculture on the basis of methods of economic-mathematical modeling/ V. V. Kuznetsov, A. N. Tarasov, V. L., Dunaev, etc. – Rostov n/D: VNIIAEN, 2006.
2. Pecinovsky V. F. Snegirev, O. I. Forecasting of placing the production of the cattle properties in the region // Economics of agricultural and processing enterprises.- 2018.- № 11.- P. 43-47.
3. Official website of the Federal state statistics service. - URL: <http://www.gks.ru> (Yes-the treatment 12.02.2009 g.)
4. Poluskina T. M. Modern Russia agricultural polity in the context of globalization, 2013. In World of Scientific Discoveries, Series B,1: 105-119.
5. Recommendations on rational norms of food consumption that meet the modern requirements of a healthy diet. Approved by order No. 614 of the Ministry of health of 19 August 2016.
6. Estimated population of the Russian Federation until 2035: statistical Bulletin, Moscow, 2018. - [Electronic resource.] - Access mode: URL: // <http://www.gks.ru> (accessed 12.02.2009).

#### **Сведения об авторах**

Холодова Марина Александровна, кандидат экономических наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела региональной экономики, «Всероссийский научно-исследовательский институт экономики и нормативов» - филиал ФГБНУ ФРАНЦ: просп. Соколова, д. 52., г. Ростов-на-Дону, Россия, 344006, тел. +7863 263-31-81, E-mail: [kholodovama@rambler.ru](mailto:kholodovama@rambler.ru)

Холодов Олег Андреевич, кандидат экономических наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела экономики и инновационно-технологического развития сельского хозяйства, «Всероссийский научно-исследовательский институт экономики и нормативов» - филиал ФГБНУ ФРАНЦ: просп. Соколова, д. 52., г. Ростов-на-Дону, Россия, 344006.

#### **Information about authors**

Kholodova Marina Aleksandrovna, candidate of economic Sciences, associate Professor, leading researcher of Department of regional economy, "All-Russian research Institute of Economics and standards" - branch of FEDERAL state budgetary institution FRANZ": Prospekt Sokolova, D. 52., Rostov-on-don, Russia, 344006, tel. + 7863 263-31-81, E-mail: [kholodovama@rambler.ru](mailto:kholodovama@rambler.ru)

Kholodov Oleg Andreevich, candidate of economic Sciences, associate Professor, leading researcher of Department of economy and innovation and technological development of agriculture, "All-Russian research Institute of Economics and standards" - branch of FEDERAL state budgetary institution FRANZ ": Prospekt Sokolova, D. 52., Rostov-on-don, Russia, 344006.

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АГРОНОМИИ

УДК 631.5(091)(470.324)

*В.Д. Буханов, Н.П. Зуев, Л.А. Кадуцкая, Е.А. Арсенко, Е.Е. Зуева*

### ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В ВОРОНЕЖСКОЙ ГУБЕРНИИ

**Аннотация.** Воронежская губерния подвергалась многократным изменениям в вопросах административного деления, но окончательное формирование Воронежской губернии завершилось к 1824 г. Располагаясь на площади в 5875385 десятин (1 десятина = 1,093 гектара) Воронежская губерния входила в состав Центрально-Черноземного региона и состояла из 12 городов и 12 уездов. Уезды губернии носили название своих уездных городов и подразделялись на станы и волости. Ландшафт губернии, при незначительном количестве лесов, представлял открытую местность, преимущественно степного характера. Качество её почвы причислялось к разряду самых плодородных. Наибольшая часть чернозёма находилась в западной половине губернии по правую сторону Дона, по левую сторону Дона чернозём занимал пространство между реками Усманью и Битюгом. Он преимущественно залегал в местах, удалённых от рек и, чем дальше от рек, тем толщина его слоя была больше и, наоборот, по мере приближения к рекам чернозём переходил в суглинистую, супесчаную и местами в глинистую или песчаную почву. На долю пахотной земли приходилось 70 %. Хлебами и злаковыми культурами ежегодно засеивалось до 65 %, под пары отводилось до 30 %, а под залежь – 5 %. В губернии выращивались рожь, пшеница, овёс, ячмень, просо, гречиха, лён, конопля, свёкла, подсолнечник, табак и анис. Как в крестьянских, так большей частью и во владельческих хозяйствах была развита трехпольная зерновая система. В южной части губернии крестьяне использовали в севообороте, так называемый, запольный клин, засеиваемый ежегодно, а иногда пускали землю под залежь. В отдельных благоустроенных имениях в севооборот включались корнеплодные, травяные и другие культуры. Воронежский край входил в число житниц России, вместе с тем, в результате нерационального ведения этой отрасли в начале XX века наблюдалось усиление истощения почвы от непрерывных вспашек и значительное увеличение неудобий.

**Ключевые слова:** Воронежская губерния, трехпольная зерновая система севооборота, запольный клин, зерновые, корнеплодные, травяные культуры, истощения почвы.

### HISTORY OF DEVELOPMENT OF AGRICULTURE IN VORONEZH PROVINCE

**Abstract.** Voronezh province was subjected to multiple changes in the administrative division, but the final formation of the Voronezh province was completed by 1824. Being located on an area of 5875385 tithes (1 tithe = 1.093 hectares), Voronezh province was part of the Central black earth region and consisted of 12 cities and 12 counties. The counties of the province bore the name of their County towns and were divided into camps and volosts. The landscape of the province, with a small number of forests, represented an open area, mainly steppe character. The quality of its soil was ranked among the most fertile. The largest part of the black earth was located in the Western half of the province on the right side of the don, on the left side don the black soil occupies the space between the rivers Usman and Bityug. It mainly lay in places remote from the rivers and, the farther from the rivers, the thickness of its layer was greater and, on the contrary, as it approached the rivers, the black soil turned into loamy, sandy and in places into clay or sandy soil. The share of arable land accounted for 70 %. Bread and cereal crops were sown annually up to 65 %, under the pair was given up to 30 %, and under the Deposit – 5 %. Rye, wheat, oats, barley, millet, buckwheat, flax, hemp, beet, sunflower, tobacco and anise were grown in the province. As in the peasant, so for the most part and in the owner's farms, the three-field grain system was developed. In the southern part of the province farmers used crop rotation, the so-called nearby wedge, sown every year, and sometimes allowed the ground under sales. In some well-maintained estates in the crop rotation included root, grass and other crops. Voronezh region was one of the granaries of Russia, however, as a result of irrational management of this industry in the early twentieth century, there was an increase in soil depletion from continuous plowing and a significant increase in inconvenience.

**Keywords:** Voronezh province, the grain three-field system of crop rotation, nearby wedge, grains, fruits, herbs, exhaustion of the soil.

**Введение.** В момент образования Воронежская губерния занимала обширное пространство от Елатьмы на севере до Азовского моря на юге и от Купьянска на западе до Инсара на востоке. В XIX веке Воронежская губерния располагалась в центре Европейской части России в верховьях реки Дон.

Воронежская губерния была официально оформлена в 1725 году в результате переименования Азовской губернии. В её состав входили 6 провинций: Воронежская, Елецкая, Тамбовская Шацкая, Бахмутская и Донских казаков. При этом Воронеж был главным административным городом с 1719 г. по 1725 г.

В 1765 году из южной части Белгородской и Воронежской губерний была сформирована новая Слободско-Украинская губерния с центром в Харькове, Бахмутская провинция была приписана к Новороссийской губернии.

Воронежская губерния подвергалась многократным изменениям в вопросах административного деления на провинции, уезды и т. д. ещё при Петре Великом и после него. В 1779 году в ходе административной реформы Екатерины II Воронежская губерния была разделена на Воронежское и Тамбовское наместничества [2, 3,7,].

Учрежденное Воронежское наместничество состояло из 15 уездов: Воронежского, Задонского, Бобровского, Землянского, Нижнедевицкого, Бирюченского, Ливенского, Калитвянского, Валуйского, Беловодского, Купенского, Богучарского, Павловского, Острогожского и Коротоякского [2].

Наместничество, как административно-территориальное образование, просуществовало 17 лет (1779-1796 гг.) и по указу императора Павла I 12 декабря 1796 г. было упразднено и преобразовано в губернию [11].

1 мая 1797 г. города: Острогожск, Бирюч, Ливенск, Купянск, Калитва и Богучарск вместе с их уездами были присоединены к Слободско-Украинской губернии, а 29 августа из состава Воронежской губернии был выведен Беловодский уезд. В итоге на данный период времени в Воронежской губернии числилось 9 уездов: Бирюченский, Бобровский, Валуйский, Воронежский, Задонский, Землянский, Коротоякский, Нижнедевицкий и Павловский.

29 марта 1802 г. к Воронежской губернии, от Слободско-Украинской, были присоединены Богучарский, Острогожский и Старобельский уезды, а от Саратовской – Новохопёрский. Затем 9 января 1824 г. Старобельский уезд был возвращён под юрисдикцию Слободско-Украинской губернии [6]. Однако окончательное формирование Воронежской губернии завершилось к 1824 г. [2].

Воронежская губерния входила в состав Центрально-Черноземного региона и состояла из 12 городов и 12 уездов. Уезды губернии носили название своих уездных городов и подразделялись на станы и волости. Вследствие чего, все 12 уездов в 1873 г. были разделены на 34 стана и 221 волость [5]. Благодаря энергичному экономическому развитию в 1885 г. в губернии насчитывалось 4346 населенных пунктов: 12 уездных городов, включая и губернский, бывших городов переведённых в статус сёл – Орлов, Костенск, Тавров, Калитвянск, Усерд, Урыв, Верхососенск, Ливенск, Ольшанск и Платов, 347 слобод, 465 сёл, 752 деревни, 1032 хутора, 54 выселка и 1674 прочих селений [9].

В целом ландшафт губернии, при незначительном количестве лесов, представлял открытую местность, преимущественно степного характера. Качество её почвы причислялось к разряду самых плодородных. Наибольшая часть чернозёма находилась в западной половине губернии по правую сторону Дона, по левую сторону Дона чернозём занимал пространство между реками Усманью и Битюгом, а остальная территория была представлена супесчаным грунтом, переходящим по мере приближения к Дону в песчаный, местами располагались солончаки. Как на правом, так и на левом берегу Дона, чернозём преимущественно залегал в местах, удалённых от рек и, чем дальше от рек, тем толщина его слоя была больше и, наоборот, по мере приближения к рекам чернозём переходил в суглинистую, супесчаную и местами в глинистую или песчаную почву [8,10].

По земским данным 1909 г. Воронежская губерния располагалась на площади в 5875385 десятин (1 десятина = 1,093 гектара). Крестьянам принадлежало 68,5 % всей земельной площади, частным владельцам – 28,4 % , казне – 2,3 % и удельному ведомству – 0,8 %.

**Цель исследования:** анализ развития земледелия в Воронежской губернии в конце XIX начале XX веков.

**Изложение основного материала исследований и их обсуждение.** Из общего количества всей земельной площади на долю пахотной земли приходилось 70 %, но ежегодно засеивалось хлебами и злаковыми культурами до 65 %, под пары отводилось до 30 %, а под залежь – 5 %.

Остальную часть составляли: неудобья – 7%, леса – 6 %, выгонные земли – 5 %, степные сенокосы – 4 %, усадебные земли – 4 %, заливные сенокосы – 2 %, кустарники – 2%.

Заливные сенокосы располагались по долинам больших и мелких рек (по Дону, Воронежю, Хопру, Тихой Сосне, Осколу и Битюгу). Значительная половина имеющихся в губернии заливных лугов приходилась на Бобровский, Богучарский, Воронежский, Коротоякский, Новохопёрский и Острогожский уезды. Урожай сена на донских лугах составлял 250-300 пудов с десятины, а средний урожай с заливных лугов по губернии колебался от 120 до 180 пудов с десятины.

Степные и суходольные сенокосы были только у крупных землевладельцев, большей частью в Бобровском уезде около 100 тысяч десятин, в Новохоперском – до 66000, в Острогожском – около 20000. Средний сбор сена по губернии на этих сенокосах колебался от 50 до 100 пудов с десятины [8].

Становление и поступательное развитие сельскохозяйственной отрасли Придонского края прослеживалось уже в конце XVI века. К основным направлениям данного вида деятельности относились: бортничество и тесно связанное с ним медоварение и воскобойное производство, а также рыболовство и вяление рыбы, промысел диких животных, в котором видное место занимали бобровые гоны, винокурение и земледелие, включавшее почти все полевые и огородные культуры, за исключением картофеля и некоторых видов зонтичных и лилейных растений.

Активное формирование сельскохозяйственной промышленности Придонского края началось с середины XVII века. Благодаря переселявшимся на Дон заднепровским черкесам были внедрены такие культуры новых растений как: анис, подсолнечник и др. Приведённый ими домашний скот содействовал улучшению местных пород. Переселившиеся на Дон черкесы постепенно оттеснили к югу и юго-востоку ногайцев и других кочевников. Поэтому набеги крымчан и кубанцев резко снизились, что благотворно повлияло на развитие сельского хозяйства воронежцев. Вместе с увеличением производства зерна значительно расширилось рыболовство, пчеловодство, садоводство и огородничество, а у острогожских черкесов особое развитие получило ското- и овцеводство. Черкесы преимущественно занимались возделыванием пшеницы, овса, ячменя, льна и хмеля.

В XVIII веке, вследствие значительного истребления лесов и обмелением рек, пчеловодство и рыболовство, как важные отрасли воронежской промышленности, пришли к упадку. Промысел диких животных прекратился полностью, причём бобровые гоны и жемчужная ловля на Дону исчезли навсегда. Бортничество стало достоянием более северных областей, а рыболовство значительно сместилось к югу.

Бобровский, Воронежский, Задонский, Землянский, Коротоякский, Нижнедевицкий и Новохопёрский уезды составляли северную часть, Бирюченский, Богучарский, Валуйский, Острогожский и Павловский относились к южной. В основном в губернии выращивалась рожь, пшеница, овёс, ячмень, просо, гречиха, лён, конопля, свёкла, подсолнечник, табак и анис. Как в крестьянских, так большей частью и во владельческих хозяйствах была развита трехпольная зерновая система земледелия. В южной части губернии крестьяне использовали в севообороте, так называемый, запольный клин, засеваемый ежегодно, а иногда пускали землю под залеж. В отдельных благоустроенных имениях в севооборот включались корнеплодные, травяные и другие культуры. Большие частновладельческие хозяйства Бобровского, Богучарского, Новохоперского и Острогожского уездов применяли залежную систему, а в иных хозяйствах – многопольную.

В садах произрастали: яблони, вишни, сливы, груши, а также выращивалась земляника, смородина, крыжовник и даже возделывался виноград. Огородничество было представлено набором таких овощей как: баклажаны, капуста, картофель, лук, огурцы, свёкла, чеснок. Бахчеводство существовало повсеместно, но в большей мере в южных уездах: Бирюченском, Богучарском, Валуйском, Острогожском и Павловском.

Принимая во внимание факторы, характеризующие географическое положение, качество плодородных почв и климат, в северной части губернии преимущественно сеялась ози-

мая пшеница, а в южной – яровая, но основным из культивируемых хлебов в Воронежской губернии являлась рожь. Этой культурой ежегодно засевалось до 38 % всей посевной площади. В северных уездах: Воронежском, Задонском, Землянском и других под рожь отводилось до 50 % посевной площади, а в южных: Бирюченском, Богучарском, Валуйском и Острогожском для ржи отчуждалось до 20 % пахотной земли. Средний по губернии урожай ржи с десятины (1,09 га) составлял 58 мер на частновладельческих и 45 мер на крестьянских землях (мера или четверик – одна восьмая четверти, или 26,24 литра; по весу примерно пуд зерна).

Яровая пшеница была распространена в южных уездах: Бирюченском, Богучарском, Валуйском, Острогожском и Павловском, где ею засевалось 25-30 % земельных угодий. В Бобровском, Коротоякском и Новохопёрском уездах пшеница выращивалась в основном на частновладельческих землях, её посевы не превышали 10-15 %. На севере губернии яровая пшеница вообще не возделывалась. Общая площадь возделывания пшеницы в губернии составляла около 15 %. Средний урожай с десятины на частновладельческих землях составлял 40 мер, а на крестьянских – 31 меру.

Овес в общей совокупности по губернии занимал около 14 % посевной площади. В северных уездах возделывалось овса значительно больше, чем в южных. Средний урожай его с десятины по губернии: 78 мер у частновладельцев и 60 мер у крестьян.

Просом засевалось около 11 % всей посевной площади. В северных уездах проса сеяли больше, чем в южных. Его средняя урожайность с десятины составляла у частновладельцев и крестьян соответственно 45 и 34 меры.

Ячмень культивировали исключительно в южных уездах, где он занимал до 9 % посевной площади. Урожайность на владельческих землях с десятины равнялась 50 мерам, а на крестьянских – 40 мерам.

Гречиху под влиянием неурожайных лет стали сеять значительно меньше, ею засевалось не более 5% посевной площади, средний урожай с десятины составлял 35 мер у владельцев и 29 мер у крестьян.

Подсолнечник первоначально разводился в пределах Алексеевской волости Бирюченского уезда, где также возникли и первые маслобойни для переработки этого продукта в масло. Отсюда он постепенно распространился во все уезды Воронежской губернии, а затем в соседние и даже в Киевскую, Полтавскую, Екатеринославскую (Днепропетровскую) и на Северный Кавказ. Основными районами возделывания были: Нижнедевицкий, Коротоякский, Острогожский, Бирюченский и Валуйский уезды. Урожай в среднем составлял 35 пудов с десятины.

Картофель культивировался на небольших площадях преимущественно на огородах, урожай варьировался от 300 до 700 пудов с десятины. В отдельных районах он возделывался в основном с промышленной целью для винокуренных и крахмаленных заводов.

В некоторых волостях Бирюченского и Валуйского уездов возделывался анис; рапс встречался во владельческих и редко в крестьянских землях северной и центральной полосы губернии и преимущественно в Бобровском уезде. Небольшое распространение в губернии имел табак.

Воронежский край издавна входил в число житниц России. Основными поставщиками пшеницы и муки (8-10 млн пудов) являлись восточные и южные уезды: Богучарский, Павловский, Острогожский, Бирюченский и Валуйский. Пшеница отправлялась в южные порты: Ростов, Новороссийск, Николаев, Одессу, а также в подмосковные районы, Петербург и Западный край.

Второе место по количеству вывоза занимала рожь и ржаная мука. Северные уезды: Воронежский, Задонский, Землянский, Нижнедевицкий, Коротоякский, Бобровский и Новохопёрский продавали большую часть муки и ржи, чем южные – Богучарский, Бирюченский, Валуйский и Острогожский, в целом – около 6 млн пудов.

Видное место в торговле занимал овес, вывозившийся из губернии по железнодорожным путям из северных уездов в Западный край и на внутренние рынки в количестве до 3 млн пудов в год.

В то же время из губернии отправлялось на внутренние Российские рынки до миллиона пудов проса, пшеницы, гречихи и различных круп. При этом энергично развивающееся земледелие привело к значительному уменьшению пастбищ и существенному сокращению скотоводства. [1, 10, 8, 4].

**Выводы:** Приведенные статистические данные показывают, что земледелие в Воронежской губернии активно развивалось. Вместе с тем, в результате нерационального ведения этой отрасли в начале XX века наблюдалось усиление истощения почвы от непрерывных вспашек и значительное увеличение неудобий. Из этого следует, что в данный период требовалось внедрение новых методов землепользования. Но введение передовых технологий хозяйствования тормозилось силой традиций, сложившихся в крестьянской среде. Трехпольная система севооборота, крайне ограниченное число возделываемых растений, первобытные орудия обработки почвы и уборки урожая – были характерны не только для крестьянских, но и большинства частновладельческих хозяйств. В переходе от трехполья к многопольным севооборотам, применение современных систем земледелия, восстанавливающих плодородие почв, состояли значительные ресурсы роста аграрного производства в сельском хозяйстве губернии.

#### Библиография

1. Вейберг Л.Б. Период первый. От основания Воронежа и до открытия наместничества / Л.Б. Вейберг // Очерк сельскохозяйственной промышленности Воронежской губернии. Выпуск первый (XVI-XVIII в.). – Воронеж. – 1890. – С. 1-109.
2. Вевитинов М. Краткий очерк истории Воронежского края (1586-1886) / М. Вевитинов // Из Воронежской старины. – Москва. – 1887. – 64 с.
3. Веселовский Г.М. Отдел второй. Воронежская летопись более замечательных событий с 1177 по 1873 год / Г.М. Веселовский // Воронежский календарь на 1873 г. – Воронеж. – 1873. – С. 1-15.
4. Веселовский Г.М. Отдел первый. Общий очерк Воронежской губернии / Г.М. Веселовский // Воронежский календарь на 1873 г. – Воронеж. – 1873. – С. 44-57.
5. Веселовский Г.М., Воскресенский Н.В. Отдел второй. Административное разделение Воронежской губернии на уезды, станы и волости / Г.М. Веселовский, Н.В. Воскресенский // Воронежский календарь на 1874 г. – Воронеж. – 1873. – С. 123-127.
6. Воронежская летопись (хронологическое указание главнейших событий с 1177 по 1861 г.) // Памятная книжка Воронежской губернии на 1861 год. – Воронеж. – 1861. – С. 145-194.
7. История образования Воронежской губернии Копирайт © 2012 [Электронный ресурс]. Воронежская губерния. – Режим доступа: <http://metalloiskateli-info.ru/gubernii-i-oblasti-rossijskoj-imperii/voronezhskaya-guberniya>.
8. Николаевский И. И. Общий обзор губернии / И. Николаевский // Описание Воронежской губернии. – Воронеж. – 1909. – С. 1-33.
9. Сведения о числе городов и селений по Воронежской губернии за 1885 год // Памятная книжка с адрес-календарем Воронежской губернии на 1887 год. – Воронеж. – 1887. – С. 451.
10. Тарачков И.С. Сведения статистические. XXI. Очерк Воронежской губернии / И.С. Тарачков // Памятная книжка для жителей Воронежской губернии на 1856 год; Под. ред. члена комитета Н.И. Второва. – Воронеж. – 1856. – С. 45-54.
11. Шевченко Е.А. История Воронежского наместничества (1779-1796 гг.): Автореф. дис. ... канд. ист. наук: по специальности 07.00.02. – Отечественная история / Воронежский государственный университет. – Воронеж, 2009.

#### Bibliografiya

1. Vejberg L.B. Period pervyj. Ot osnovaniya Voronezha i do otkrytiya namestnichestva / L.B. Vejberg // Oчерk sel'skochozyajstvennoj promyshlennosti Voronezhskoj gubernii. Vypusk pervyj (XVI-XVIII v.). – Voronezh. – 1890. – S. 1-109.
2. Venevitinov M. Kratkij oчерk istorii Voronezhskogo kraja (1586-1886) / M. Venevitinov // Iz Voronezhskoj stariny. – Moskva. – 1887. – 64 s.
3. Veselovskij G.M. Otdel vtoroj. Voronezhskaya letopis' bolee zamechatel'nyh sobytij s 1177 po 1873 god / G.M. Veselovskij // Voronezhskij kalendar' na 1873 g. – Voronezh. – 1873. – S. 1-15.
4. Veselovskij G.M. Otdel pervyj. Obshchij oчерk Voronezhskoj gubernii / G.M. Veselovskij // Voronezhskij kalendar' na 1873 g. – Voronezh. – 1873. – S. 44-57.

5. Veselovskij G.M., Voskresenskij N.V. Otdel vtoroj. Administrativnoe razdelenie Voronezhskoj gu-bernii na uezdy, stany i volosti / G.M. Veselovskij, N.V. Voskresenskij // Voronezhskij kalendar' na 1874 g. – Voronezh. – 1873. – S. 123-127.
6. Voronezhskaya letopis' (hronologicheskoe ukazanie glavnejshih sobytij s 1177 po 1861 g.) // Pamyatnaya knizhka Voronezhskoj gubernii na 1861 god. – Voronezh. – 1861. – S. 145-194.
7. Istoriya obrazovaniya Voronezhskoj gubernii Kopirajt © 2012 [Elektronnyj resurs]. Voronezhskaya guberniya. – Rezhim dostupa: <http://metalloiskateli-info.ru/gubernii-i-oblasti-rossijskoj-imperii/voronezhskaya-guberniya>.
8. Nikolaevskij I. I. Obshchij obzor gubernii / I. Nikolaevskij // Opisanie Voronezhskoj gubernii. – Voronezh. – 1909. – S 1-33.
9. Svedeniya o chisle gorodov i selenij po Voronezhskoj gubernii za 1885 god // Pamyatnaya knizhka s adres-kalendarjom Voronezhskoj gubernii na 1887 god. – Voronezh. – 1887. – S. 451.
10. Tarachkov I.S. Svedeniya statisticheskie. XXI. Oчерк Voronezhskoj gubernii / I.S. Tarachkov // Pamyatnaya knizhka dlya zhitelej Voronezhskoj gubernii na 1856 god; Pod. red. chlena komiteta N.I. Vtorova. – Voronezh. – 1856. – S. 45-54.
11. Shevchenko E.A. Istoriya Voronezhskogo namestnichestva (1779-1796 gg.): Avtoref. dis. ... kand. ist. nauk: po special'nosti 07.00.02. – Otechestvennaya istoriya / Voronezhskij gosudarstvennyj universitet. – Voronezh, 2009.

#### **Сведения об авторах**

В.Д. Буханов, к.вет.н., доцент кафедры теории и методики физической культуры НИУ «БелГУ». Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85, ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет». Тел. 8-980-376-12-92. E-mail: [bukhanov@bsu.edu.ru](mailto:bukhanov@bsu.edu.ru).

Н.П. Зуев, доктор ветеринарных наук, профессор кафедры незаразной патологии факультета ветеринарной медицины БелГАУ им. В.Я. Горина. Россия, 308503, Белгородская область, Белгородский район, поселок Майский, ул. Вавилова, 1, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина». Тел. 8-904-082-46-83. E-mail: [zuev\\_1960\\_nikolai@mail.ru](mailto:zuev_1960_nikolai@mail.ru).

Л.А. Кадуцкая, зав. кафедрой теории и методики физической культуры НИУ «БелГУ», кандидат педагогических наук, доцент кафедры теории и методики физической культуры. Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85, ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет». Тел. 8-910-322-38-48. E-mail: [kadutskaya@bsu.edu.ru](mailto:kadutskaya@bsu.edu.ru).

Е.А. Арсеевко, к.пед.наук, доцент кафедры теории и методики физической культуры. Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85, ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет». Тел. 8-920-558-85-72. E-mail: [arseenko@bsu.edu.ru](mailto:arseenko@bsu.edu.ru).

Е.Е. Зуева, преподаватель каф. экономической теории экономики АПК, 308503, Белгородская область, Белгородский район, поселок Майский, ул. Вавилова, 1, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина». Тел. 8-904-082-46-83. E-mail: [zuev\\_1960\\_nikolai@mail.ru](mailto:zuev_1960_nikolai@mail.ru).

#### **Information about authors**

V.D. Bukhanov, k. vet.n., associate Professor of the theory and methodology of physical culture of NRU "BelGU". Russia, 308015, Belgorod, Pobeda St., 85, Federal STATE Autonomous educational institution "Belgorod state national research University". Tel 8-980-376-12-92. E-mail: [bukhanov@bsu.edu.ru](mailto:bukhanov@bsu.edu.ru)

N.P. Zuev, doctor of veterinary Sciences, Professor of the Department of non-communicable diseases of the faculty of veterinary medicine Belgau. V. I. Gorina. Russia, 308503, Belgorod region, Belgorod district, village Mayskiy, Vavilova str., 1, of the "Belgorod state agricultural University named after V. Gorin". Tel 8-904-082-46-83. E-mail: [zuev\\_1960\\_nikolai@mail.ru](mailto:zuev_1960_nikolai@mail.ru)

L.A. Kadutskaya, head. department of theory and methodology of physical culture of BELSU, candidate of pedagogical Sciences, associate Professor of theory and methodology of physical culture. Russia, 308015, Belgorod, Pobeda St., 85, Federal STATE Autonomous educational institution "Belgorod state national research University". Tel 8-910-322-38-48. E-mail: [kadutskaya@bsu.edu.ru](mailto:kadutskaya@bsu.edu.ru)

E.A. Arseenko, k. ped.sciences, associate Professor of theory and methods of physical culture. Russia, 308015, Belgorod, Pobeda St., 85, Federal STATE Autonomous educational institution "Belgorod state national research University". Tel 8-920-558-85-72. E-mail: [arseenko@bsu.edu.ru](mailto:arseenko@bsu.edu.ru)

E.E. Zueva, teacher Kaf. economic theory of economics of agriculture, 308503, Belgorod region, Belgorod district, settlement Maysky, st. Vavilova 1, Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorina. Tel. 8-904-082-46-83. E-mail: [zuev\\_1960\\_nikolai@mail.ru](mailto:zuev_1960_nikolai@mail.ru).



УДК 631.416.9

*В.А. Волкова, Н.А. Воронкова, В.Д. Дороненко, Н.Ф. Балабанова*

## **ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И СОЛОМЫ НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ И ЗЕРНЕ ЯЧМЕНЯ**

**Аннотация.** Установлено, что содержание тяжелых металлов в лугово-черноземной почве не зависело от длительного применения минеральных удобрений и соломы. Рассчитанные коэффициенты защитных свойств почв показали, что большая часть ТМ находится в недоступной для растений форме. Содержание валовых форм ТМ в почве остается в пределах ОДК, имеется тенденция к увеличению меди, цинка и свинца в варианте внесения полного минерального удобрения и соломы. Содержание изучаемых микроэлементов в зерне ячменя не зависело от вариантов применения минеральных удобрений. Рассчитанные показатели коэффициентов биологического накопления доказывают, что сбалансированное питание растений макро- и микроэлементами способствует повышению коэффициентов их использования из почвы и удобрений. Ежегодное отчуждение микроэлементов с урожаем приводит к их дефициту, который не восполняется с помощью минеральных макроудобрений и запашкой соломы и требует корректировки минерального питания сельскохозяйственных культур в севообороте с помощью микроудобрений.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, минеральные удобрения, солома, почва, ячмень, растениеводческая продукция.

### **THE INFLUENCE OF CONTINUOUS APPLICATION OF MINERAL FERTILIZERS AND STRAW ON THE CONTENT OF HEAVY METALS IN SOIL AND BARLEY GRAIN**

**Abstract.** It was Found that the content of heavy metals in meadow-Chernozem soil did not depend on the long-term use of mineral fertilizers and straw. The calculated coefficients of soil protective properties showed that most of the soil is in a form that is not accessible to plants. The content of gross forms of heavy metals in the soil remains within the UEC, there is a tendency to increase copper, zinc and lead in the embodiment of the introduction of complete mineral fertilizer and straw. Microele the contents of the studied elements in barley grain is not depended on applications of fertilizers. RAS read the indices of the coefficients of biological accumulation of trace elements Doc to provide that balanced plant nutrition with macro - and micronutrients contributes to the improvement of the coefficients of their use of soils and fertilizers. The annual loss of micronutrients with the harvest leads to their deficiency, which is not replenished with the help of mineral macrofertilizers and the smell of straw and requires adjustment of the mineral nutrition of crops in crop rotation with the help of micronutrients.

**Keywords:** heavy metals, mineral fertilizers, straw, soil, barley, crop production.

Внимание ученых не одно десятилетия привлекают вопросы аккумуляции, трансформации тяжелых металлов (далее – ТМ) в почве и накопление их в растениеводческой продукции. К агрогенному источнику поступления ТМ в экосистему относятся удобрения: они влияют на лабильность ТМ в почве, уменьшая либо увеличивая их доступность для растений [1,2,3,4]. Эта противоречивость результатов исследований связана прежде всего со специфической региональных почвенно-климатических условий, агротехникой в опытах, возделываемой культурой и другими факторами [5,6]. В этой связи исследования по изучению особенностей содержания тяжелых металлов в лугово-черноземной почве и зерне ячменя (*Hordeum vulgare*) при длительном внесении минеральных удобрений и соломы в севообороте, несомненно, актуальны.

Исследования проводились в стационарном опыте, заложенном в 1986 году на основе пятипольного зернопарового севооборота в южной лесостепной зоне Западной Сибири. Чередование культур в севообороте: пар–пшеница–soя–пшеница–ячмень. Севооборот развернут во времени и в пространстве. Объекты исследования - лугово-черноземная почва и ячмень изучались в системе «почва-растение-удобрения». В опыте, заложенном методом расщепленных делянок, изучались два фактора: фактор А - средства химизации: система применения удобрений в шестой ротации и суммарная доза удобрений приведена в таблице 1; фактор В – внесение соломы: 1) без внесения соломы; 2) внесение соломы ячменя после уборки, в количестве соответствующем урожаю культуры.

**Таблица 1 - Система применения минеральных удобрений, кг д.в./га севооборотной площади**

Суммарная доза удобрений за шесть ротаций севооборота	до 2010 года	с 2011 года по наст время
-	Без внесения удобрений	Без внесения удобрений
N <sub>240</sub> P <sub>504</sub>	N <sub>12</sub> P <sub>18</sub>	P <sub>18</sub>
N <sub>436</sub> P <sub>872</sub>	N <sub>17</sub> P <sub>34</sub>	N <sub>12</sub> P <sub>24</sub>
N <sub>744</sub> P <sub>1416</sub> K <sub>360</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>54</sub> K <sub>18</sub>	N <sub>18</sub> P <sub>42</sub>

Почвенный покров опытного участка представлен лугово-черноземной среднетяжелосуглинистой почвой с содержанием гумуса - 6,4-6,6% (по Тюрину), подвижного фосфора и обменного калия 101-120 мг/кг и 350-420 мг/кг почвы (по Чирикову), соответственно. Обеспеченность растений нитратным азотом (слое почвы 0-40 см) в вариантах без удобрений и внесения соломы – низкая, в удобренных – высокая.

В качестве минеральных удобрений использовали аммиачную селитру, двойной суперфосфат и калий хлористый. Фосфорные удобрения вносили весной до посева локально сеялкой на глубину 6-8 см, аммиачную селитру, калий хлористый – вразброс под предпосевную культивацию. Солому ячменя измельчали при уборке и оставляли в поле в количестве, соответствующем его урожаю. Защита растений от сорной растительности осуществлялась препаратами, рекомендованными для культуры. В опыте высевали районированный сорт – Саша селекции СибНИИСХ. Учет урожайности ячменя проводили в оптимальные сроки. Агротехника возделывания ячменя общепринятая для зоны.

Отбор почвенных образцов проводили согласно ГОСТ 17.4.4.02-84 методом почвенного конверта до посева культуры, растительных образцов - во время уборки. Почву анализировали на содержание кислоторастворимых форм ТМ по РД 52.18.191–89, подвижных форм по РД 52.18.289-90. Содержание ТМ в зерне ячменя определяли после сухого озоления при температуре 525 ± 25°С (ГОСТ 30692–2000). Конечное определение содержания тяжелых металлов в почвенных и растительных образцах проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрометре Varian 140.

Для установления защитных возможностей почвы рассчитывали:

1. коэффициент защитных свойств (Кз)

$$K_z = 100 - \text{Сподв.} / \text{Свал.} \cdot 100\% \quad (1),$$

где Сподв. – содержание подвижных форм ТМ в почве, Свал. – содержание валовых форм ТМ в почве.

2. коэффициент валового загрязнения (Кв.з.)

$$K_{в.з.} = \text{Свал.} / \text{Сфон.} \cdot 100\% \quad (2),$$

где Свал. – содержание валовых форм ТМ в почве, Сфон. – фоновое содержание ТМ в почве (фоновое содержание в варианте без внесения удобрений).

3. коэффициент биологического накопления (КБН),

$$K_{БН} = \text{Сподв.} / \text{Сзерно} \quad (3),$$

где Сподв. – содержание подвижных форм ТМ в почве, Сзерно – содержание ТМ в зерне ячменя.

4. коэффициент биологического поглощения (КБП):

$$K_{БП} = \text{Свал.} / \text{Сзерно} \quad (4),$$

где Свал. – содержание валовых форм ТМ в почве, Сзерно – содержание ТМ в зерне ячменя.

При статистической обработке данных использовали расчеты доверительного интервала для средней величины ( $\bar{x} \pm t_{05} S\bar{x}$ ) и коэффициента вариации (V, %).

Содержание кислоторастворимых форм элементов в почве отражает валовые запасы элемента, в совокупности их доступные и недоступные формы для растений [7,8]. Анализ почвенных образцов, отобранных с удобренного варианта показал, что содержание ТМ не превышало значения ориентировочно допустимой концентрации (ОДК) (табл. 2).

**Таблица 2 - Содержание кислоторастворимых форм ТМ в почве (слой 0-20 см) в зависимости от внесения минеральных удобрений и соломы, мг/кг**

Варианты	Cu	Pb	Ni	Zn	Mn	Cd
Контроль	17,49±1,23	18,35±3,06	40,22±5,30	58,21±4,50	341,06±0,89	0,20±0,00
Солома	16,70±0,24	19,18±1,40	42,31±2,22	54,56±4,32	339,34±1,53	0,18±0,02
N <sub>18</sub> P <sub>42</sub>	22,67±4,00	20,99±6,03	46,40±12,22	68,65±20,93	342,43±2,57	0,22±0,03
N <sub>18</sub> P <sub>42</sub> +солома	21,47±2,02	26,65±3,53	48,48±6,23	71,26±10,34	344,82±0,51	0,21±0,00
V, %	15%	18%	8%	9%	1%	1%
ОДК	132,00	130,00	80,00	220,00	1500,00	2,0

Основной источник поступления ТМ в почву в наших исследованиях – минеральные удобрения. Валовое содержание ТМ в удобрениях представлено в таблице 3 [9], наибольшее количество поллютантов содержится в двойном суперфосфате.

**Таблица 3 - Валовое содержание ТМ в минеральных удобрениях, мг/кг**

Виды удобрений	Cu	Pb	Ni	Zn	Mn	Cd
Аммиачная селитра	1,4	3,5	4,8	2,4	16,3	0,3
Двойной суперфосфат	20,5	17,0	18,1	20,9	26,5	1,8
Калий хлористый	4,8	10,5	15,5	14,4	19,3	1,5

При систематическом внесении соломы содержание ТМ в почве фактически не изменялось, что вполне закономерно: концентрация изучаемых элементов в побочной растениеводческой продукции низкая, менее 0,015%. А в вариантах систематического внесения минеральных удобрений отмечается тенденция повышения содержания ТМ. Статистическая обработка данных химического анализа почвенных образцов показала, что значение коэффициента вариации по вариантам опыта изменялось от 1 до 18 %. Установлено, что только для меди и свинца степень рассеивания данных средняя (15-18%), это свидетельствует о том, что при внесении минеральных удобрений наблюдается повышение пула этих элементов в почве.

По величине валового содержания элементов в почве невозможно диагностировать доступность их растениям, для этой цели определяют подвижные формы (табл. 4). Средневзвешенное содержание подвижных форм меди составило – 0,08; цинка – 2,56 и марганца – 64,00 мг/кг почвы. В соответствии с градацией Б.А. Ягодина [10] содержание цинка среднее, марганца – высокое, а содержание меди независимо от вариантов опыта очень низкое (менее 0,10 мг/кг почвы).

**Таблица 4 - Содержание подвижных форм ТМ в почве перед посевом ячменя, мг/кг**

Варианты	Cu	Zn	Mn
Контроль	0,08±0,00	2,56±0,05	64,00±±1,15
Солома	0,08±0,01	2,57±0,04	73,19±0,97
N <sub>18</sub> P <sub>42</sub>	0,09±0,02	2,70±0,05	69,04±0,17
N <sub>18</sub> P <sub>42</sub> +солома	0,08±0,02	2,67±0,09	68,92±0,28
ОДК	3,0	23,0	-*

\*- не нормируется СанПиН

Степень подвижности ТМ в почве низкая, доля подвижных форм от содержания кислоторастворимых форм меди, цинка составила от 0,4 до 4,0% , марганца от 18 до 22%. Низкая лабильность ТМ может быть обусловлена тем, что закреплению соединений-металлов твердыми фазами черноземных почв способствует нейтральная реакция среды, тяжелый гранулометрический состав, высокая емкость катионного обмена и содержание гумуса.

Для установления защитных функций почвы по отношению к ТМ для каждого варианта опыта были рассчитаны коэффициенты защитных ее свойств (рис.1). Установлено, что наибольшая часть цинка, меди в почве находится в прочно связанной и недоступной растениям форме и содержание их подвижных форм не зависит от вида и дозы применяемых удобрений (коэффициент близок к 100%).

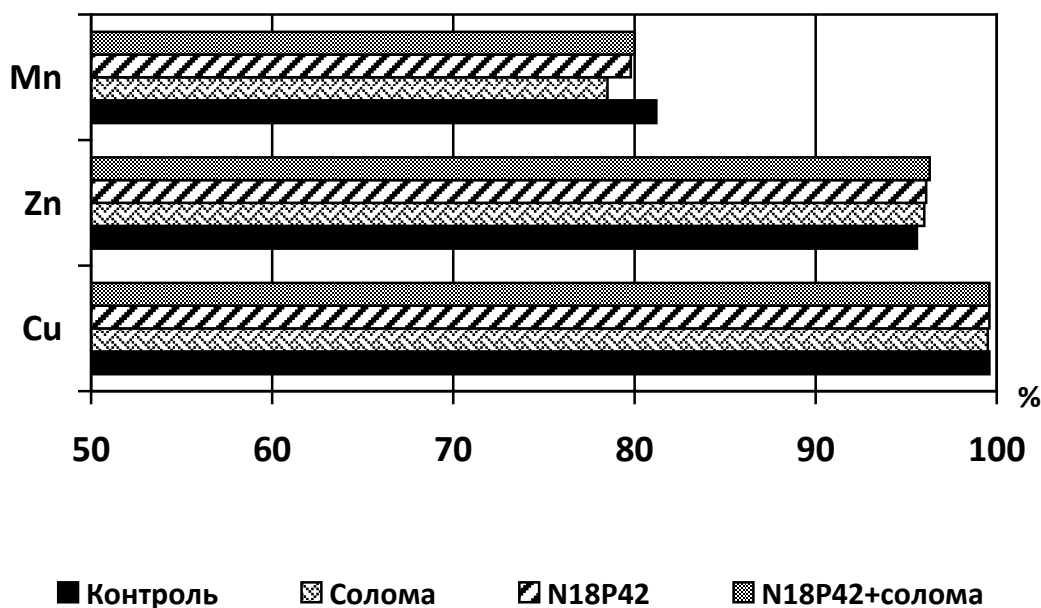


Рис. 1. Коэффициенты защитных свойств лугово-черноземной почвы при длительном внесении минеральных удобрений и соломы

Агроэкологическая оценка загрязненности почв проводилась путем сопоставления содержания поллютантов с их содержанием в неудобренном варианте, для этого рассчитывали коэффициент валового загрязнения. Отмечается тенденция к увеличению содержания кадмия, цинка, меди, никеля, свинца в варианте внесения полного минерального удобрения и соломы. Содержание ТМ превышало фоновое значение (рис.2).

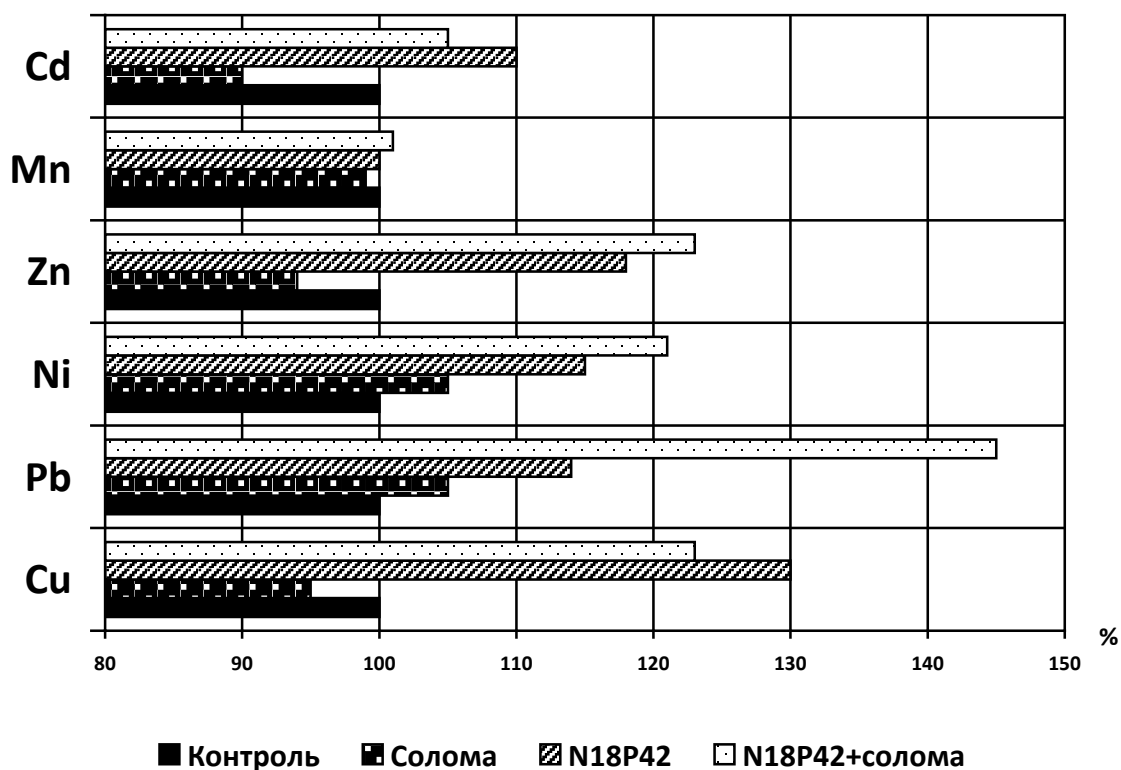


Рис. 2. Коэффициенты валового загрязнения лугово-черноземной почвы в зависимости от применения минеральных удобрений и соломы

Тяжелые металлы и микроэлементы – понятия достаточно близкие в научной литературе, ведь только знание их концентрации в изучаемом объекте разграничивает эти понятия.

Каждый химический элемент имеет определенную роль в онтогенезе растения, его участия в тех или иных физиологических процессах зависит от биологических особенностей растений и условий их произрастания. Установление количественных характеристик интенсивности поступления микроэлементов в растения в зависимости от их концентрации в питательной среде в конкретных условиях выращивания имеет большое значение для решения ряда прикладных агрохимических и агроэкологических задач. В том числе и для прогнозирования эффективности применения микроудобрений, а также в целях нормирования содержания ТМ [8,11].

Установлено, что содержание ТМ в зерне ячменя не превышало предельно-допустимой концентрации (ПДК), и длительное внесение минеральных удобрений и соломы в севообороте не повлияло на их содержание в растениеводческой продукции (табл. 5). Этот факт подтверждается расчётом коэффициента вариации данных химического состава зерна ( $V < 10\%$ ). Это объясняется тем, что почва имеет биогеохимические барьерные функции, сохраняя с помощью процессов антагонизма и синергизма ионное равновесие при поступлении веществ в растения.

**Таблица 5 - Содержание ТМ в зерне ячменя в зависимости от внесения минеральных удобрений и соломы, мг/кг возд.-сухого вещества**

Варианты	Cu	Pb	Ni	Zn	Mn	Cd
Контроль	0,66±0,05	0,00	3,63±0,07	15,20±1,12	14,99±0,98	0,00
Солома	0,68±0,04	0,00	3,87±0,09	15,23±1,05	16,06±0,74	0,00
N <sub>18</sub> P <sub>42</sub>	0,66±0,15	0,00	3,87±0,07	16,23±1,24	17,26±0,58	0,00
N <sub>18</sub> P <sub>42</sub> +солома	0,77±0,10	0,00	3,01±0,08	16,00±0,90	17,28±0,96	0,00
V, %	5%	-	8%	2%	2%	0,00
ПДК	10,0	0,50	-*	50,0	-	0,20

Примечание: Cd и Pb - не обнаружено; -\* - не нормируется СанПиН

По обобщенным данным разных авторов, содержание меди в растениях изменяется в пределах 1,1–40 мг/кг сухой массы [13,14]. Оптимальный уровень меди в кормах для животных – 10–20 мг/кг [12]. Нами установлено, что концентрация меди в зерне низкая, менее 1 мг/кг, что говорит о недостаточной минеральной полноценности продукции. Концентрация цинка в растениях, по мировым данным составляет 1,2–73 мг/кг [13]. Растения испытывают дефицит цинка при концентрации его в тканях 10–20 мг/кг. Для животных недостаток элемента проявляется при его количестве в кормах менее 30 мг/кг [14]. В наших исследованиях содержание цинка в зерне ячменя варьировало от 14,08 до 17,47 мг/кг.

Поступление химических элементов в растения – сложный физиологический процесс, зависящий от их биологических особенностей, факторов окружающей среды, химического состава и свойств почвы. Для оценки степени биофильности нами были рассчитаны значения коэффициентов: КБП и КБН тяжелых металлов растениями. Доказано, что растения обладают избирательной способностью к поглощению элементов минерального питания, что подтверждается величиной коэффициента биологического поглощения (табл. 6).

**Таблица 6 - Коэффициенты биологического поглощения и накопления ТМ в зависимости от вариантов применения удобрений и соломы**

Варианты	Cu	Mn	Zn	Ni
Коэффициенты биологического поглощения				
Контроль	3,77	4,40	25,77	8,96
Солома	4,07	4,72	23,22	9,22
N <sub>18</sub> P <sub>42</sub>	2,91	4,39	21,83	8,41
N <sub>18</sub> P <sub>42</sub> +солома	3,58	4,35	22,44	6,21
Коэффициенты биологического накопления				
Контроль	8,25	5,94	0,23	-*
Солома	8,25	5,93	0,22	-
N <sub>18</sub> P <sub>42</sub>	7,33	6,01	0,25	-
N <sub>18</sub> P <sub>42</sub> +солома	8,25	5,99	0,25	-

Примечание: -\* - подвижная форма Ni не определялась

Из представленных в таблице ТМ, в наиболее активно поглощаемую группу (КБП>10) входит цинк и менее активно – медь, марганец, никель (КПБ 1-10). Поступление ТМ в растение зависит от их полифункциональности. Так скорость поглощения марганца определяется его активным участием в ферментных системах, регулирующих обменные окислительно-восстановительные процессы в растениях. Критический период в потребности марганца зерновых культур от вазы кущения до фазы колошения. Медь положительно влияет на фотосинтез и синтез белка. Многими исследователями доказана связь между обеспеченностью растений цинком и образованием и содержанием в них ауксинов, значительна роль этого элемента также в фенольном, азотистом, нуклеиновом обменах. С влиянием цинка на фотосинтез и на процессы фосфорилирования, по-видимому, связана роль цинка в углеводном обмене. Никель оказывает неспецифическое действие на целый ряд металло-ферментных комплексов, также получены данные о положительном влиянии никеля на активность нитратредуктазы злаковых культур, играющей важную роль как в восстановлении нитратов, так и в азотфиксации [15].

Однако, коэффициенты поглощения, рассчитанные на валовое содержание элемента в почве, не всегда отражают объективную лабильность его в системе почва-растение, т.к. в почве одновременно присутствуют различные формы элементов, отличающиеся прочностью связи и доступностью их для поглощения растениями. Для более точной оценки связи подвижности ТМ в почве и накопления их в растениях используют коэффициент накопления. В удобренных вариантах накопление цинка и марганца превысило вариант без внесения удобрений и внесения только соломы в севообороте. Это свидетельствует о том, что оптимизация минерального питания растений способствует повышению коэффициентов их использования из почвы и удобрений

Таким образом, исследованиями, проведенными в стационарном опыте с длительным применением удобрений, установлено, что содержание как валовых, так и подвижных форм цинка, меди, марганца, никеля, свинца, кадмия в неудобренном варианте не превышало ОДК. Ежегодное внесение соломы в дозе, соответствующей урожаю культуры, не оказало влияние на содержание ТМ в почве. При систематическом внесении минеральных удобрений в севообороте, отмечается тенденция увеличения содержания в почве валовых форм меди и свинца, значение коэффициента вариации - 15-18%. Установлено, что подвижность ТМ низкая, на долю подвижных форм меди и цинка из валовых приходится от 0,4 до 4%, марганца и от 18 до 22%. Содержание подвижных форм меди в пахотном слое почвы очень низкое (менее 0,10 мг/кг), цинка среднее – 2,56-2,70 мг/ кг и марганца – высокое – 64,00-73,19 мг/кг. Использование минеральных удобрений в севообороте не оказало существенного влияния на содержание ТМ в зерне ячменя. Длительное применение научно-обоснованных доз удобрений в зернопаровом севообороте не привело к аккумуляции ТМ в почве и растительной продукции, превышающих действующие санитарно-гигиенические нормативы. Однако почвенная и растительная диагностика ТМ позволяет своевременно решать агроэкологические вопросы в земледелии региона.

#### Библиография

1. Азаренко Ю.А. Влияние процессов почвообразования на содержание и распределение микроэлементов в почвах лесостепной и степной зон Омской области // Вестник АГАУ. № 3 (77), 2011. – С. 26-31.
2. Ефимова Л.А., Морозова Т.А., Лицуков С.Д. Экологические аспекты применения удобрений на черноземе типичном юго-западной части центрально-черноземного района // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2017. №1(13). С. 81-89.
3. Волкова В.А., Воронкова Н.А., Дороненко В.Д., Цыганова Н.А. Микроэлементный состав черноземной почвы при длительном применении удобрений // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства. Материалы 6-й международной научно-технической конференции. 2016. С. 163-164
4. Зубкова В.М. Физиологические и агрохимические основы применения удобрений в условиях техногенной нагрузки на почву // Совершенствование технологий возделывания сельскохозяйственных культур: сборник научных трудов. Ярославль. 2000. С. 13-19.
5. Сысо А.И., Ильин В.Б. Эколого-агрохимическая оценка содержания микроэлементов в почвах и растительной продукции на юге Западной Сибири // Проблемы агрохимии и экологии. 2008. №2

6. Носовская И.И., Соловьев Г.А., Егоров В.С. Влияние длительного систематического применения различных форм минеральных удобрений и навоза на накопление в почве и хозяйственный баланс меди и цинка // *Агрохимия*. 2000. №9. С. 50-56.
7. Азаренко Ю.А. Закономерности содержания, распределения, взаимосвязей микроэлементов в системе почва-растение в условиях юга Западной Сибири: монография / Ю.А. Азаренко. – Омск : Вариант-Омск, 2013. 230 с.
8. Ермохин Ю.И. Взаимосвязи в питании растений: монография / Ю.И. Ермохин, А.В. Синдирева - Омск: Вариант-Омск, 2011. – 208 с.
9. Якименко В.Н. Конарбаева Г.А. Баланс тяжелых металлов в полевом опыте на серой лесной почве // *Агрохимия*. 2016. №12. С. 51-59.
10. Агрохимия. Б.А. Ягодин и др. – М.: Агропромиздат, 1989. 639 с.
11. Азаренко Ю.А., Ильин В.Б., Сысо А.И. Содержание микроэлементов в растениях и на почвах лесостепных ландшафтов Омского Прииртышья // *Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях*. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 229 с.
12. Скуковский Б.А. Микроэлементы в кормах и продуктах животноводства Западной Сибири / Б.А. Скуковский. – Новосибирск : Зап.-Сиб. кн. изд-во, 1978. – 101 с.
13. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, FL : Crc Press, 2010. – 548 p.
14. Биогеохимические основы экологического нормирования / В.Н. Башкин [и др.]. – М. : Наука, 1993. – 304 с.
15. Битюцкий Н.П. Микроэлементы высших растений / Н.П. Битюцкий. СПб: Изд-во СПб. ун-та, 2011. — 368 с.

#### References

1. Azarenko Yu.A., Influence of soil formation processes on the content and distribution of trace elements in soils of forest-steppe and steppe zones of Omsk region. *Vestnik AGAU*. № 3 (77), 2011. – P. 26-31.
2. Efimova L.A., Morozova T.A., Lizunov S. D. Ecological aspects of application of fertilizers on Chernozem typical the southwestern part of the Central black earth region // *Innovations in agriculture: problems and prospects*. 2017. №1(13). P. 81-89.
3. Volkova V.A., Voronkova N.Ah., Doronenko V.D., Tsyganova N.Ah. Microelement composition of Chernozem soil with long-term use of fertilizers // *Equipment and technology of oil, chemical and oil and gas production. Proceedings of the 6th international scientific and technical conference*. 2016. C. 163-164
4. Zubkova V.M. Physiological and agrochemical bases of application of fertilizers in conditions of technogenic load on the soil // *Improvement of technologies of cultivation of agricultural crops: collection of scientific works*. Yaroslavl. 2000. Pp. 13-19.
5. Syso A.I. , Ilyin V.B. Ecological and agrochemical assessment of trace elements in soils and plant products in the South of Western Siberia // *Problems of Agrochemistry and ecology*. 2008. No. 2
6. Nosovskaya I.I., Solov'ev G.A., Egorov B.C. Effect of long-term systematic application of various forms of mineral fertilizers and manure on accumulation in soil and host balance of copper and zinc // *Agrochemistry*. 2000. No. 9. Pp. 50-56.
7. Azarenko Yu.A. Regularities of the content, distribution, interactions of trace elements in the soil-plant system in the South of Western Siberia: monograph / Yu.A. Azarenko. – Омск : Variant-Omsk, 2013. 230 p.
8. Yermokhin, Y.I. Interrelationships in plant nutrition: monograph / Y.I. Yermokhin, A.V. Shin-dereva - Омск : Option-Omsk, 2011. – 208 p.
9. Yakimenko V.N. Konarbaeva, G.A. the Balance of heavy metals in field experiments on gray forest soil No-ah // *Agrochemistry*. 2016. No. 12. P. 51-59.
10. Agrochemistry. B.A. Yagodin and others – М.: Agropromizdat, 1989. 639 p.
11. Azarenko Yu. a., Ilyin V.B., Syso A.I. Content of trace elements in plants and on soils of forest-steppe landscapes of Omsk Irtysh region // *trace Elements and heavy metals in soils and plants*. – Novosibirsk: publishing house of SB RAS, 2001. – 229 p.
12. Sukowski B.A. Microelements in feeds and livestock products in Western Siberia / B. A. Skalovski. – Novosibirsk : Зап.-Сиб. кн. publ., 1978. – 101 p.
13. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, FL: Crc Press, 2010. – 548 p.
14. Biogeochemical bases of ecological rationing / V.N. Bashkin [and others]. – М.: Science, 1993. – 304 p.
15. Bityutsky N.P. Microelements of higher plants / N.P. Bityutsky. St. Petersburg: Publishing House. UN-TA, 2011. — 368 p.

#### Сведения об авторах

Волкова Виктория Андреевна, аспирант третьего года обучения кафедры агрохимии и почвоведения, ФГБОУ ВО «Омский ГАУ им. П.А. Столыпина», Институтская площадь, 1, 644008, г. Омск, Россия; младший научный сотрудник лаборатории агрохимии и защиты растений, ФГБНУ «Омский АНЦ», ул. Королёва, 26, 644012, г. Омск, Россия, e-mail: prutkovskaia@mail.ru, т:89045880709

Воронкова Наталья Артемовна, главный научный сотрудник лаборатории агрохимии и защиты растений, ФГБНУ «Омский АНЦ», ул. Королёва, 26, 644012, г. Омск, Россия; заведующий кафедрой «Химия» ФГБОУ ВО «ОмГТУ», пр. Мира, 11, 644050, г. Омск, Россия, e-mail: voronkova.67@bk.ru, т:77-65-39

Дороненко Вера Дмитриевна, научный сотрудник лаборатории агрохимии и защиты растений, ФГБНУ «Омский АНЦ», ул. Королёва, 26, 644012, г. Омск, Россия

Балабанова Наталья Федоровна, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией агрохимии и защиты растений, ФГБНУ «Омский АНЦ», ул. Королёва, 26, 644012, г. Омск, Россия; доцент кафедры агрохимии и почвоведения, ФГБОУ ВО «Омский ГАУ им. П.А. Столыпина», Институтская площадь, 1, 644008, г. Омск, Россия, т:77-65-39

#### **Information about authors**

Volkova Viktoriya Andreevna, postgraduate student of the third years of education in the Department of agricultural chemistry and soil science, Federal state educational institution of higher professional education "Omsk state agrarian University named after P. A. Stolypin", Institutskaya square, 1, 644008, Omsk, Russia; Junior research associate of laboratory of Agrochemistry and plant protection, Federal state budgetary scientific institution "the Omsk Agricultural research center", Koroleva street, 26, 644012, Omsk, Russia, e-mail: prutkovskaia@mail.ru, Ph:89045880709

Voronkova Natalia Artemovna, chief researcher of the laboratory of Agrochemistry and plant protection, Federal state budgetary scientific institution "Omsk Agricultural research center", Koroleva str., 26, 644012, Omsk, Russia; head of the Department "Chemistry" Federal state educational institution of higher education "Omsk state technical University", Mira Ave., 11, 644050, Omsk, Russia, e-mail: voronkova.67@bk.ru, Ph:77-65-39

Doronenko Vera Dmitrievna, researcher of the laboratory of Agrochemistry and plant protection, Federal state budgetary scientific institution "Omsk Agricultural research center", Koroleva str., 26, 644012, Omsk, Russia

Balabanova Natalya Fyodorovna, senior researcher, head of laboratory of Agrochemistry and plant protection, Federal state budgetary scientific institution "the Omsk Agricultural research center", Koroleva street, 26, 644012, Omsk, Russia; associate Professor of agricultural chemistry and soil science, Federal state educational institution of higher professional education "Omsk state agrarian University named after P. A. Stolypin", Institutskaya square, 1, 644008, Omsk, Russia, Ph:77-65-39



УДК 378.147:63

*А.Ф. Дорофеев, В.Н. Наумкин, С.Д. Лицуков, Н.А. Белогурова, А.Н. Крюков,  
А.Г. Демидова*

## О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ УРОВНЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ АГРАРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Сегодня нужно делать то, что другие будут делать завтра.  
О.В. Шумакова

**Аннотация.** В настоящее время повышение профессиональной, интеллектуальной и морально-нравственной подготовки специалистов может оказаться ключевым звеном в жизни нашего общества. Ведь именно через них можно активно осуществить научно-технический прогресс в производстве, интеллектуальные прорывы в науке и технологиях, а также повысить морально-нравственный уровень всего общества. Результативность готовящихся сейчас специалистов проявится в будущем, в ближайшие 5-7 лет, поэтому в настоящее время надо вложить в их подготовку весь багаж научно-теоретических и практических знаний, внушить дух поиска и перспективы через обучение интеллектуальным технологиям и инструментариям. Ведь многое пока остаётся неизученным и малоизвестным, не все знания доведены до технологического освоения.

**Ключевые слова:** аграрная наука, агропромышленный комплекс, аграрное образование, совершенствование, подготовка, вуз, выпускники, специалисты.

### ABOUT IMPROVEMENT OF LEVEL OF TRAINING OF SPECIALISTS AGRARIAN EDUCATION

**Abstract.** Now increase in professional, intellectual and moral training of specialists can be key link in life of our society. Through them it is possible to carry out actively scientific and technical progress in production, intellectual breaks in science and technologies, and also to increase the moral level of all society. Effectiveness of the specialists preparing now will be shown in the future, in the next 5-7 years therefore now it is necessary to enclose all baggage of scientific-theoretical and practical knowledge in their preparation, to inspire spirit of search and perspective through training in intellectual technologies and tools. A lot of things remain not studied and little-known so far, not all knowledge is brought to technological development.

**Keywords:** agrarian science, agribusiness industry, agrarian education, improvement, preparation, higher education institution, graduates, specialists.

**Введение.** Центральном-черноземный регион Российской Федерации, в том числе и Белгородская область, является крупным производителем сельскохозяйственной продукции. В регионе успешно реализуют программу биологизации земледелия, предусматривающую известкование кислых почв, осуществление комплексных мероприятий по защите почв от водной эрозии, эффективное использование органических удобрений и биологических средств защиты растений, накопление биологического азота, освоение почвосберегающих технологий. Дальнейшая интенсификация агропромышленного производства напрямую зависит от уровня социально - экономического развития региона и подготовки высококвалифицированных специалистов. В связи с этим, кадровое и научное обеспечение АПК - ключевые задачи, решение которых способно кардинально повлиять на аграрное состояние региона. Дальнейшее технологическое обновление и плодотворное, динамическое развитие агропромышленного комплекса невозможно без аграрной науки и преобразования технических и технологических процессов, наличия молодых высокопрофессиональных специалистов [1, 2].

**Основная часть.** Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина является многоуровневым центром научно - образовательной, учебно-методической и новаторской деятельности региона, который проводит подготовку конкурентно - способных молодых специалистов для научной, производственной и экономической сферы сельскохозяйственного производства региона, и России в целом. Университет ведёт подготовку аграрных специалистов по широкому спектру направлений при максимальном приближении процесса обучения к условиям будущей профессиональной деятельности. Готовит университет специалистов под конкретные задачи реального сектора экономики, формируя знания и

компетенции для всех функциональных отраслей АПК, в том числе отрасли растениеводства [3].

Белгородская область – традиционный аграрный регион, потенциал которого постоянно укрепляется и совершенствуется. Реализуются крупнейшие инфраструктурные проекты, расширяется логистическая сеть, непрерывно растут кадровые ресурсы региона, как в технической, так и гуманитарных сферах [1, 4].

Нами предлагается один из возможных вариантов повышения (улучшения, совершенствования, модернизации) уровня подготовки специалистов на примере агрономов. Агроном всю последующую жизнь имеет дело с органической формой движения материи, которая превосходит физическую, химическую и уступает только общественной. Так как студенты агрономического факультета решили посвятить свою жизнь растениям, их профессиональная деятельность должна быть направлена на реализацию технологий их выращивания, повышение плодородия почвы, а уникальные почвенно - климатические условия Белгородской области в сочетании с профессиональными знаниями специалистов, будут способствовать получению стабильных урожаев высокого качества в новых условиях хозяйствования.

Урожайность сельскохозяйственных культур формируется на основе диалектических взаимосвязей, обмена веществ между живыми организмами и окружающей средой. Особенности климата, погодная обстановка обуславливают выбор агроприёмов и оптимальных сроков их проведения, всю стратегию земледелия, поэтому агрономам нельзя работать по шаблону под девизом «вносить больше удобрений», так как всякий прогресс одновременно является регрессом, что-то есть положительным, а что-то отрицательным. Возникает вопрос, всегда и везде ли эта должность (штатная единица) используется как профессия? И в настоящее время специалист - это чиновник, который пишет много бумаг и отчётов, он выполняет бригадирские функции, может быть экспедитором, он составляет наряды, учитывает объём работы и т. д. Собственно агрономическая сторона, т.е. профессиональная, как бы исчезает из должности агронома, остается только административная [3].

Агроном - носитель всего научного и практического опыта, достигнутого в лучших сельскохозяйственных предприятиях в стране, мире. Он должен этот опыт конкретно реализовать - через управление, через обучение кадров, через непрерывный анализ успехов и неудач. Несомненно, агроном как должностное лицо имеет не только профессиональные, но и административные функции. К сожалению, отношение этих функций не просто нарушено в пользу административных, но они стали почти не агрономическими. Но ведь агроному административные функции даны для исполнения, реализации в дело профессиональных функций.

Раньше агроном обладал ореолом мудреца, знатока почвы и растений, носителя высших знаний. Он нес не только знания, но и чутьё к растительному миру. На агронома надеялись и верили, что даст нужный совет, чтобы получить надёжный урожай. Сейчас не вина, а беда агронома, что роль его стала незначительной, обязанности его возросли не в профессиональной, а в административно- хозяйственной деятельности. К сожалению, по этой причине, часто научные разработки не доводятся не только до технического обеспечения, но и до технологического понимания [5].

Нынешнему аграрному образованию, как нам представляется, присущи принципиальные недостатки. Это разрыв во времени между научными достижениями и включением их в образовательный процесс. В отдельных случаях этот недостаток преодолевается за счёт объединения научных и учебных заведений. Однако, в целом этот недостаток свойствен всему нынешнему сельскохозяйственному образованию. Образовательные технологии не гарантируют эффективное освоение учебного материала. Сейчас эффективность образования больше связана с индивидуальным мастерством преподавателя. Почти полное отсутствие учебных программ и курсов по интеллектуальному инструментарию (интеллектуальным технологиям мышления). Образование построено на усвоении готовых примеров и тренинге по их использованию. В тоже время морально-

нравственное (гуманистическое) воспитание выведено за пределы образовательного процесса. Но гуманистический фактор личности любого специалиста несёт рациональное начало и вполне доступен для усвоения сознанием [6].

Слабо представлено в учебных программах и обучение управленческим технологиям. Специалисты неизбежно сталкиваются с управленческой деятельностью, но чаще всего постигают её эмпирически. В образовательном процессе также необходимо усилить экологическое обучение. Крайне важно соединить общемировые экологические проблемы с природно-территориальными особенностями региона.

Недостатки, свойственные образованию, активно обсуждаются и находятся оригинальные варианты их преодоления. Возникает вопрос: как можно сократить или ослабить разрыв между результатами исследований и включением их в учебные программы (учебный процесс)? Эту проблему можно поставить и как сближение научного и учебного процессов, т.е. как усвоение готовых знаний и получение новых знаний собственным интеллектом. Этот вопрос давно поставлен и частично решается: в аграрных учебных заведениях ведутся научные исследования, студенты готовят дипломные работы с элементами научного исследования, иногда приглашаются из научных учреждений исследователи, ведущие оригинальный научный поиск. Но наиболее плодотворно происходит процесс при наличии в учебных заведениях научных подразделений: проблемных лабораторий, опытных станций и даже научно - исследовательских институтов. Такой подход остро необходим для ближайшего будущего, ведь в мире началась эра «наукоёмкой экономики», когда важнейшими факторами экономики, определяющими конкурентоспособность отраслей, станут наука и технологии, владение стратегией управления, знание законов эволюции общества и человечества в целом. В ближайшее время самыми важными ресурсами станут специалисты, способные к творческому созиданию [7, 8].

Было бы целесообразно при некоторых кафедрах сельскохозяйственных ВУЗов организовать проблемные лаборатории. Главным в их статусе должна быть именно проблемность, т.е. решение вопросов, имеющих принципиальное значение по содержанию, по способу решения, эффективности, а также по возможности быстрой реализации в технологическом и коммерческом отношениях. Такие лаборатории должны быть на  $\frac{1}{2}$  -  $\frac{3}{4}$  хозрасчётными. Они не должны по тематике совпадать с отраслевыми научно-исследовательскими учреждениями.

Важным мероприятием, уменьшающим разрыв между научным и учебным процессами, могло быть более регулярное приглашение для чтения отдельных лекций или курсов сотрудников научных учреждений, имеющих оригинальные результаты исследований. При взыскательном выборе таких сотрудников результат может быть очень полезным как для студентов, так и для преподавателей, а также для всей атмосферы учебного заведения.

В подготовке агрономов недостатком является несовершенство практической подготовки студентов: проведение учебных, научно-агрономической и производственной практик. Если в университете для прохождения учебных и научно-агрономической практик имеется хорошая база (опытное поле, коллекционный питомник, агротехпарк), то для производственной практики необходимы базовые государственные, общественные и крестьянские (фермерские) хозяйства.

Следующим мероприятием для обсуждаемого вопроса могла стать организация регулярных чтений лекций по важным проблемам аграрного производства. Например, «Теоретические проблемы земледелия», «Явления синергизма в агрономии», «Всепогодные технологии в растениеводстве», «Растениеводческий прогноз», «Резервы современного земледелия» и т.д. Недостаток или слабость образовательных технологий хорошо известны давно. Для преодоления этого недостатка нужны усилия всей педагогической науки. На уровне ВУЗа можно только повышать мастерство, перенимать опыт и повышать требовательность к преподавателям. За рубежом все преподаватели - от школьных учителей до вузовских преподавателей - постоянно проходят переаттестацию в базовых учебных учреждениях страны. При этом повышение преподавательского уровня сопровождается

повышением зарплаты: существуют градации уровня преподавательского мастерства [7].

Крупным недостатком образования можно считать отсутствие учебных курсов по интеллектуальному инструментарию (интеллектуальным технологиям). Уже выработано много подходов в этой области (теория принятия решений, «мозговой штурм», «метод экспертных решений», «алгоритм решения изобретательских задач – АРИЗ», алгоритмика, эвристика, прогностика, системный анализ, синергетика, концепция ППБ - познавательно-психологического барьера и т. д.). Общий фон потребности и поиска в области интеллектуальных инструментов очень велик. Накопленные знания и обобщения достаточны для того, чтобы во всех аграрных вузах начать преподавание основ интеллектуальных технологий. Общество созрело для понимания, что главный ресурс человечества - интеллект. Интеллектуальные способности человека можно развивать аналогично развитию мышечных и чувственных способностей, т.е. как любые способности. Свой вклад в эту проблематику внесли Аристотель, Гегель, Лейбниц, Кант и другие философы. Тот ВУЗ, который первым начнет преподавание основ интеллектуальных инструментариев для студентов, приблизит ближайшее будущее, в котором главным ресурсом будет интеллект [8].

Повсеместно и длительное время морально - нравственный фактор в жизни общества недооценивался, и почти все виды профессиональной подготовки кадров эту сторону мало учитывали. Обществоведы с некоторым удивлением выявили, что морально-нравственный фактор в жизни общества не менее значим, чем естественные ресурсы, научно-технический потенциал, исторические достижения, честность, верность данному слову, патриотизм, увлечённость своим делом и своей профессией, преданность своей стране и народу, гордость за историю всей страны и т. д., не менее значимы, чем уровень профессиональной подготовки. К сожалению, текущая действительность продемонстрировала яркие примеры безнравственности власти, отдельных её лидеров и руководителей. Примеров же морально-нравственных подвигов почти нет. И это происходит одновременно с разрушением связи поколений.

Выпускники ВУЗов с необыкновенной лёгкостью, без каких-либо угрызений совести и чувства долга отказываются от своих профессий. Закончив вуз, они идут работать в полицию, таможенную службу, налоговую службу, торговлю и т.д. Несомненно, главная причина, в общей настроенности в стране. Но есть вина и всего образовательного процесса - ведь профессиональная этика, гордость и значимость могут играть весомую роль в выборе деятельности.

При подготовке специалистов нужно искать формы воспитания морально-нравственных качеств в профессиональной деятельности. Так, сохранение и повышение плодородия почвы, несёт в себе плодотворную компоненту, как заботу о будущем, о потомках. Борьба с эрозией, посадки леса, лесополос, окультуривание среды обитания, активное вовлечение в дело возобновляемых ресурсов, поиск надёжных приёмов для повышения продовольственной безопасности и т. д. - это примеры деловой нравственности и делового оптимизма [9].

**Заключение.** Специалистов готовят как проводников опыта высших достижений практики и научных разработок в производство, где они осуществляют свою профессиональную деятельность. В том их главный должностной, профессиональный и нравственный долг. Хорошо исполнять свои профессиональные обязанности – это нравственно, ведь с профессиональной деятельностью специалистов связан уровень производства и благосостояние людей. К сожалению, профессиональная деятельность в действительности не стала предметом хорошо развитой науки. Она больше зависит от личного опыта преподавателя. Совершенно ненормально, что подготовка специалистов до сих пор проходит без усвоения ими научных основ, специфики в образовательном процессе, теории управления. Поэтому преподавание нужно вести, усиливая теорию и практику, научные факты излагать с учётом их открытий, с насыщением их живыми примерами. Каждый преподаватель должен найти способы более эффективного усвоения студентом научного и учебного материала.

### Библиография

1. Савченко Е.С. Агропромышленный комплекс Белгородской области: инновационное отечественное экологичное качественное /Е.С. Савченко // Белгородский агромир. – 2015. - № 5(93). – С. 1.
2. Мельников В.И. Основные итоги и перспективы развития земледелия Белгородской области // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т.33. № 1. С. 4-5. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10101.
3. Турьянский А.В. Кадровое и научное обеспечение АПК как один из приоритетов социально-экономической политики в Белгородской области. /А.В. Турьянский //Белгородский агромир. – 2005. - № 4(23). – С. 16-9.
4. Турьянский А.В. О повышении уровня подготовки специалистов /А.В. Турьянский, А.Ф. Дорофеев, В.Н. Наумкин //Белгородский агромир. – 2005. - № 7(26). – С. 34-37.
5. Турьянский А.В. О повышении уровня подготовки специалистов /А.В. Турьянский, И.И. Василенко, В.Н. Наумкин //Достижения науки и техники АПК. – 2006. - № 6. – С. 50-51.
6. Наумкин В.Н. Совершенствование уровня подготовки учёных агрономов /В.Н. Наумкин // Белгородский агромир. – 2003. - № 3(10). – С. 13-16.
7. Наумкин В.Н. Актуальные направления исследований в земледелии /В.Н. Наумкин // Бюллетень научных работ. Выпуск № 3. Белгород: Издательство БелГСХА. – 2005. – С. 3-9.
8. Шумакова О.В. Развитие аграрного образования в РФ: системный подход, основанный на современных трендах /О.В. Шумакова, Т. Г. Мозжерина, О. Н. Крюкова //Аккредитация в образовании. - 2017. - № 6 (98). – С. 16-17.6.
9. Котлярова Е.Г. Значение лесонасаждений в создании экологически безопасной конструкции агроландшафта //Вестник Курской ГСХА. – 2014. - № 9. – С. 62-66.

### References

1. Savchenko E. S. Agribusiness industry of the Belgorod region: innovative domestic eco-friendly qualitative / E. S. Savchenko//Belgorod agroworld. - 2015. - No. 5(93). - Page 1.
2. V. I. millers. Main results and perspectives of development of agriculture of the Belgorod region//Achievement of science and technology agrarian and industrial complex. 2019. T.33. No. 1. Page 4-5. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10101.
3. Turyansky A. V. Personnel and scientific providing agrarian and industrial complex as one of priorities of social and economic policy in the Belgorod region. / A. V. Turyansky//Belgorod agroworld. - 2005. - No. 4(23). - Page 16-9.
4. Turyansky A. V. About increase in level of training of specialists/A.V. Turyansky, A. F. Dorofeyev, V. N. Naumkin//Belgorod agroworld. - 2005. - No. 7(26). - Page 34-37.
5. Turyansky A. V. About increase in level of training of specialists/A.V. Turyansky, I. I. Vasilenko, V. N. Naumkin//Achievements of science and technology of agrarian and industrial complex. - 2006. - No. 6. - Page 50-51.
6. Naumkin V. N. Improvement of level of training of licentiate agronomists / V. N. Naumkin//Belgorod agroworld. - 2003. - No. 3(10). - Page 13-16.
7. Naumkin V. N. The urgent directions of researches in agriculture / V. N. Naumkin//the Bulletin of scientific works. Release No. 3. Belgorod: Publishing house of BELGSKHA. - 2005. - Page 3-9.
8. Shumakova O. V. Development of agrarian education in the Russian Federation: the systemic approach based on modern trends / O. V. Shumakova, T. G. Mozzherin, O. N. Kryukov//Accreditation in education. - 2017. - No. 6 (98). - Page 16-17.6.
9. Kotlyarova E. G. Value of afforestations in creation of ecologically safe design of agrolandscape//the Messenger of the Kursk GSHA. - 2014. - No. 9. - Page 62-66.

### Сведения об авторах

Дорофеев Андрей Фёдорович, проректор по научной работе и инновациям, доктор экономических наук, доцент ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, т. 39-22-94, [dorofeev@bsaa.edu.ru](mailto:dorofeev@bsaa.edu.ru)

Наумкин Виктор Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры растениеводства, селекции и овощеводства ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, т. +79103223797, [naumkin47@mail.ru](mailto:naumkin47@mail.ru).

Лицуков Сергей Дмитриевич, декан агрономического факультета, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры земледелия, агрохимии и экологии ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, т. +79155254266, [litzukov\\_sd@bsaa.edu.ru](mailto:litzukov_sd@bsaa.edu.ru)

Белогурова Нина Афанасьевна, руководитель учебно-методического отдела Института переподготовки и повышения квалификации кадров агробизнеса, кандидат педагогических наук, доцент ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, т. 392139

Крюков Александр Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры растениеводства, селекции и овощеводства ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, т. +79155270161, [krukov31@rambler.ru](mailto:krukov31@rambler.ru).

Демидова Анна Геннадьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры растениеводства, селекции и овощеводства ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, т. +79524271783, [ya-demidova-any@Yandex.ru](mailto:ya-demidova-any@Yandex.ru).

#### **Information about authors**

Dorofeyev Andrei Fedorovich, vice rector for scientific work and innovations, Doctor of Economics, associate professor FGBOOU WAUGH Belgorod GAU, Vavilov St., 1, item. May, Belgorod district, Belgorod Region, Russia, 308503, t. 39-22-94, [dorofeev@bsaa.edu.ru](mailto:dorofeev@bsaa.edu.ru)

Naumkin Victor Nikolaevich, doctor of agricultural sciences, professor of department of crop production, selection and vegetable growing FGBOOU WAUGH Belgorod GAU, Vavilov St., 1, item. May, Belgorod district, Belgorod Region, Russia, 308503, t. 89103223797, [naumkin47@mail.ru](mailto:naumkin47@mail.ru).

Litsukov Sergey Dmitrievich, dean of agronomical faculty, doctor of agricultural sciences, professor of department of agriculture, agrochemistry and ecology FGBOOU WAUGH Belgorod GAU, Vavilov St., 1, item. May, Belgorod district, Belgorod Region, Russia, 308503, t. 89155254266, [litzukov\\_sd@bsaa.edu.ru](mailto:litzukov_sd@bsaa.edu.ru)

Belogurova Nina Afanasievna, head of educational and methodical department of Institute of retraining and professional development of shots of agrobusiness, candidate of pedagogical sciences, associate professor FGBOOU WAUGH Belgorod GAU, Vavilov St., 1, item. May, Belgorod district, Belgorod Region, Russia, 308503, t. 392139

Kryukov Alexander Nikolaevich, candidate of agricultural sciences, associate professor of crop production, selection and vegetable growing FGBOOU WAUGH Belgorod GAU, Vavilov St., 1, item. May, Belgorod district, Belgorod Region, Russia, 308503, t. 89155270161, [krukov31@rambler.ru](mailto:krukov31@rambler.ru).

Demidova Anna Gennadievna, candidate of agricultural sciences, associate professor of crop production, selection and vegetable growing FGBOOU WAUGH Belgorod GAU, Vavilov St., 1, item. May, Belgorod district, Belgorod Region, Russia, 308503, t. 89524271783, [ya-demidova-any@Yandex.ru](mailto:ya-demidova-any@Yandex.ru).

УДК 633.174:631.527:632.4

С.И. Капустин, А.Б. Володин, А.С. Капустин, М.Ю. Кухарук

## ОЦЕНКА СЕЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА СОРГО НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ПОКРЫТОЙ ГОЛОВНЕ

**Аннотация.** Сорговые культуры отличаются высокой устойчивостью к засушливым климатическим условиям Юга России. Однако увеличение их площадей сдерживается недостаточным вниманием производителей к требованиям агротехники, биологических условий культуры и недостаточным количеством новых сортов и гибридов. Существенный недобор урожая сорго происходит вследствие повреждения культурных растений болезнями, в частности покрытой головней. Создание и внедрение в производство сортов и гибридов сорго, устойчивых к болезням является важной проблемой для получения экологически чистого, качественного зерна и зеленой массы. В статье обобщены результаты селекционных исследований по выделению и созданию сортового и линейного материала сорго, устойчивого к 4 расам покрытой головни. Установлено, что методом индивидуального отбора и многократного самоопыления из сортов и гибридных популяций были получены соответствующие закрепители стерильности. Новые стерильные линии Зерста 38А, Княжна, Коричневозерное 11С, А-1012, А-3615 создавались на основе селекционного материала, который был получен в 1985-2005 гг. на специальном инфекционном фоне с участием 4 рас покрытой головни. У полученных гибридов они обеспечивают высокий уровень гетерозиса зеленой массы, зерна, высоты растений, размеров листьев, метелки, массы 1000 зерен. Выделены наиболее продуктивные сорта и гибриды сорго конкурсного, коллекционного питомников, обладающие комплексом положительных хозяйственных признаков, в том числе и высокой устойчивостью к расам покрытой головни. Уточнены показатели устойчивости сортов и гибридов отечественной и зарубежной селекции. Подобраны более 30 родительских форм, которые будут использоваться в дальнейшей селекционной работе.

**Ключевые слова:** сорго, селекция, линия, сорт, гибрид, покрытая головня.

## EVALUATION OF THE SORGO SELECTION MATERIAL FOR RESISTANCE TO THE COVERED HEAD

**Abstract.** Sorghum cultures are highly resistant to the arid climatic conditions of southern Russia. However, the increase in their area is hampered by insufficient attention of producers to the requirements of agricultural technology, biological conditions of the culture and insufficient number of new varieties and hybrids. A significant shortage of sorghum is due to damage to cultivated plants by diseases, in particular covered smut. The creation and introduction of disease-resistant sorghum varieties and hybrids into production is an important problem for obtaining ecologically clean, high-quality grain and green mass. The article summarizes the results of breeding studies on the selection and creation of varietal and linear sorghum material resistant to 4 races of covered smut. It was established that the method of individual selection and repeated self-pollination from varieties and hybrid populations were used to obtain appropriate sterility fixers. New sterile lines Zersta 38A, Knyazhna, Korichnevozernoje 11S, A-1012, A-3615 were created on the basis of breeding material, which was obtained in 1985-2005. on a special infectious background with the participation of 4 races covered with smut. In the resulting hybrids, they provide a high level of green mass heterosis, grain, plant height, leaf size, panicle, 1000 grain weight. The most productive varieties and hybrids of sorghum of competitive, collection nurseries with a complex of positive economic traits, including a high resistance to races of covered smut, have been identified. The indicators of resistance of varieties and hybrids of domestic and foreign selection are specified. More than 30 parental forms were selected to be used in further breeding work.

**Keywords:** sorghum, selection, line, variety, hybrid, covered smut.

**Введение.** Сорго обладает комплексом защитных свойств по отношению к болезням, вредителям и неблагоприятным условиям. Наличие воскового налета, содержание алкалоидов, кремнезема и других веществ обеспечивает высокую степень резистентности этой культуры. Однако ряд болезней и вредителей могут причинять существенный вред растениям и значительно снизить урожай зерна и зеленой массы [1,2]. Наиболее вредоносными болезнями сорговых культур остаются головневые, поражение которыми вызывает недобор зерна сорго до 80%, а зеленой массы – 30% и более [3,4]. Внедрение в производство сортов и гибридов устойчивых к болезням является экономичным и безопасным путем увеличения производства и повышения качества продукции [5,6,7]. За рубежом создание новых гибридов сорго повышает всхожесть семян и устойчивость к тле, летучей мухе, плесени, головне [8,9,10]. В органическом земледелии для получения натуральных продуктов указывается на важность нехимической обработки семян физическими методами, использовании микроорганизмов, аллелопатических экстрактов разных культур [11, 12]. Возбудитель пыльной головни сорго – *Sorosporium reilianum* эта

форма имеет широкий круг хозяев, распространение, большое патогенетическое разнообразие расового состава. Гриб с обычного сорго инфицирует сахарное сорго, суданскую траву и другие виды данного рода. При инфицировании у сорго поражается обоеполоая метелка. Такое соцветие формирует крупные вздутия, прикрытые серовато-розовой оболочкой, содержащие обильные телиоспоры. Новообразование имеет шаровидную или яйцевидную форму до 15 см длины, кроме метелки может поражать 2-4 верхних листа, а также участки стебля, прилегающие к метелке. У инфицированных растений сорго снижается рост до 55%, всхожесть, растения выпадают в послевсходовый период, повышается восприимчивость к корневым гнилям, усиливается кустистость, уменьшается продуктивность. Возбудитель имеет проростковый тип инфекции. Споры находящиеся на поверхности зерновок, а также в почве, являются источником заражения. В ранней стадии развития (3 мм длины) проростки восприимчивы к инфекции и сохраняют её до достижения растениями высоты 20-24 см. Пазушные почки также восприимчивы к инфекции и из них формируются побеги, пораженные головней.

*Sphaceloheca sorghi* – покрытая (обыкновенная) головня сорго является наиболее вредоносным заболеванием в Ставропольском крае. Угнетает почти все виды сорго, наибольшее количество устойчивых сортов отмечается у кафрского сорго. Поражает отдельные завязи в соцветии. Сорусы гриба заметны после выметывания метелки, их размеры составляют 6-12 мм длины и 3-5 мм ширины. Телиоспоры возбудителя активно прорастают и инфицируют колеоптиль сорго на 5-й день после начала прорастания семян, за 3-4 дня до появления всходов. Заражение осуществляется телиоспорами, расположенными на поверхности зерновок.

Покрытая головня сорго лучше развивается при температуре 26-28°C. Возрастание её выше 30°C или снижение менее 20°C подавляет формирование споридий. Ранний посев хорошо откалиброванными по удельному весу семенами уменьшает поражаемость растений. Протравливание семян сорго системными фунгицидами ограничивает распространение заболевания.

У (мелкопузырчатой головни) споры гриба распространяются вместе с семенами и прорастают после посева. Поражают все завязи соцветия и прилегающие к ним участки стеблей. Инфицирование растений патогеном крупнопузырчатой головни (*Tolyposporium ehrenbergii*) происходит в период цветения сорго. Телиоспоры и споридии заносятся ветром на зерновки, прорастают и мицелий внедряется в зерновки, где зимует в покоящемся состоянии. При прорастании зерновок мицелий инфицирует проросток. Имеет место и непосредственное заражение растений в период прорастания от телиоспор, находящихся в почве.

В Ставропольском крае пыльная, мелкопузырчатая и крупнопузырчатая головни не имеют существенного распространения. Согласно исследований Пурдик Н.П. [13,14], выполненных в «Северо-Кавказском ФНАЦ», идентифицировано четыре расы покрытой головни сорго. Задача исследований – создание и оценка новых фертильных линий и их стерильных аналогов, сортов и гибридов сорго, устойчивых к 4 расам покрытой головни, и способных сформировать высокий урожай зерна и зеленой массы. Это позволит сократить затраты на защиту растений от инфицирования. Выделение источников устойчивости к головневым болезням является актуальным направлением в селекции сорго [15,16].

Цель работы – выделение источников устойчивости сорго к поражению покрытой головней для использования их в селекционном процессе.

**Материалы и методы исследований.** В 2015-2017 гг. определение поражения покрытой головней линий, сортов и гибридов осуществляли на опытном поле и лабораторной базе ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», расположенном в г. Михайловске Ставропольского края.

Климат зоны умеренно-континентальный. Среднегодовое количество осадков 550 мм. В летний период специфическими погодными факторами являются неравномерное распределение осадков и длительные суховеи при температуре воздуха до 37-42°C. 2015 г. и



2017 г. характеризуются как острозасушливые, 2016 г. – умеренно теплый и влажный. Среднесуточная температура воздуха за май-сентябрь в 2015 г. имела значения 20,6°C; в 2016 г. – 18,6°C; в 2017 г. – 20,2°C при среднемноголетнем показателе 18,0°C. Количество осадков за этот период составило соответственно 214 мм, 385 мм и 245 мм. Почвенный покров опытного поля представлен среднесуглинистым мицеллярно-карбонатным черноземом с глубиной гумусового горизонта 120 см и содержанием гумуса в слое 0-30 см – 3,2%. Обеспеченность почвы подвижными формами минерального питания – средняя. Оценку селекционного материала осуществляли методом проведения полевых и лабораторных опытов в соответствии с «Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» на естественном фоне [17]. Посев селекционных питомников проводили во второй декаде мая. Обработку почвы, уход за посевами выполняли согласно «Возделывание сорго и однолетних полевых культур на семена» [18]. Учетная площадь делянки 25 м<sup>2</sup>, повторность четырехкратная. Поражение растений сорго покрытой головней определяли в процентах в фазу молочно-восковой спелости сорго. В качестве объектов исследований было изучено 455 образцов, в том числе стерильных материнских линий – 8, отцовских форм – 22, в конкурсном испытании – 52 образца, контрольном питомнике – 65 вариантов, коллекционном питомнике – 158 и питомнике гибридов первого поколения – 150 комбинаций.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Устойчивость сорго к покрытой головне контролируется генами и не зависит от цитоплазмы клетки. Степень доминирования проявляется в полном или в промежуточном доминировании. Невосприимчивость образцов сорго обуславливается двумя генами, которые проявляются как два дубликатных доминантных гена (устойчивость доминанта в обоих случаях) или как два дубликатных гена, один доминантный, а второй рецессивный (устойчивость доминирует в случае Аа и рецессивна в случае Вв) [13].

При подборе пар для гибридизации важно иметь информацию о устойчивости материнских и отцовских форм к головневым болезням, чтобы более целенаправленно использовать её в селекции. Проведенными исследованиями установлено, что высокой устойчивостью к покрытой и пыльной головне в условиях Ставропольского края обладают образцы 1917, 2513, 2522, 3012, 3221, а к покрытой головне также и 2342, 4338, 3212, 3615, 3732, 8466. Проведенный отбор позволил получить устойчивые к головне линии, которые широко используются и в настоящее время. Методом насыщающих скрещиваний ЦМС передавали образцам – закрепителям стерильности А823, А803 3622/80, 3529/88, Л3615/90, которые были получены путем отбора и самоопыления из гибридной популяции от скрещивания сортов Скороспелое 89 и Сарваши, а также индивидуальным отбором, многократного самоопыления и последующих отборов из сорта зернового сорго Надежда Ставрополя. Систематическое уточнение степени повреждения головней привело к выбраковке ряда неустойчивых линий – А922, 3661/94 и др.

В 2015-2017 гг. высевалось ежегодно по восемь стерильных линий и их фертильных аналогов, а также более 20 отцовских форм. Стерильные линии Княжна, Зерста 38А, Коричневозерное 11С, А-1012 и А-3615 в изучаемые годы показали полную устойчивость к покрытой головне. У линии А-3529 повреждалось 0,7% растений, А-63 – 3,5%, а у Зерста 90С инфицирование составило 4,6%. В умеренно теплом и влажном 2016 г. угнетение этих линий увеличилось и достигло у А-63 – 4,0%, а у Зерста 90С – 5,5% (табл. 1).

**Таблица 1 – Устойчивость стерильных линий сорго к покрытой головне**

Стерильные линии	Наличие головни, %			
	2015 г.	2016 г.	2017 г.	среднее
Зерста 90С	4,0	5,5	4,3	4,6
А-63	3,8	4,0	2,7	3,5
А-3529	0,6	1,0	0,5	0,7

В наших исследованиях установлено, что защита гибридов сорго от головневых болезней в значительной степени определяется устойчивостью к ним материнских линий Княжна и Зерста 38А. Так новые районированные гибриды Ярик, Алга, Калаус, созданные с участием этих линий имеют высокую устойчивость к головневым болезням, хотя их отцовские формы Галия и Ларец поражаются этой болезнью в пределах 0,3-0,7% (табл. 2).

**Таблица 2 – Урожайность и поражение покрытой головней линий, сортов и гибридов сорго (среднее за 2015-2017 гг.)**

Линия, сорт, гибрид	Поражение головней, %	Урожайность, т/га		Высота растений, см	Масса 1000 зерен, г
		зерна	зеленой массы		
Гибрид Силосное 88 (St.)	2,0	4,06	62,8	235	22,5
Линия А-63	3,5	3,36	19,7	135	25,4
Сорт Ставропольское 36	1,3	2,65	42,9	224	20,9
Гибрид Ярик (Зерста 38А х Галия)	-	2,58	104,2	301	19,4
Линия Зерста 38А	-	3,01	14,1	116	24,8
Сорт Галия	0,3	2,91	53,5	243	21,8
Гибрид Калаус (Княжна х Ларец)	-	2,41	86,3	287	23,1
Линия Княжна	-	3,65	22,5	188	23,2
Линия Ларец	0,7	2,83	59,3	250	20,9
Гибрид Алга (Княжна х Галия)	-	3,77	74,5	271	23,0
Гибрид А-3529 х Ерген	1,0	6,34	17,9	168	24,1
Линия А-3529	0,7	2,88	14,9	116	23,2
Сорт Ерген	0,2	6,08	16,6	116	25,8
Гибрид Зерста 38А х Оранжевое 66	1,0	3,71	63,4	243	24,8
Оранжевое 66	1,5	2,63	48,1	205	23,1
НСР 0,05 т/га	-	0,17	2,38	-	-

Для сравнения старый гибрид Силосное 88, созданный с участием недостаточно устойчивых родительских форм А-63 и Ставропольское 36, в изучаемые годы поражался головней на уровне 2,0%. У вновь созданных гибридов Зерста 38А х Оранжевое 66 поражение растений головней (1,0%) произошло вследствие слабой устойчивости отцовской формы Оранжевое 66 (1,5%), а у комбинации А-3529 х Ерген (1,0%) из-за сравнительно высокого угнетения материнской (0,7%) и отцовской форм (0,2%). С участием стерильных линий Зерста 38А и Княжна созданы и районированы в Российской Федерации новые гибриды сахарного сорго – Ярик, Калаус, Алга. Урожайность зеленой массы в среднем за 2015-2015 гг. у них составила соответственно 104,2 т/га; 86,3 т/га и 74,5 т/га. У стандарта Силосное 88 этот показатель имел значение 62,8 т/га.

В представленных в таблице 2 исходных родительских форм и гибридов установлении высокий истинный гетерозис зеленой массы и высоты растений. У стандарта Силосное 88 в сравнении со средними показателями его родительских форм (А-63 х Ставропольское 36) гетерозис зеленой массы составил 31,5 т/га (50,2%), высоты растений – 55 см (23,4%). У нового гибрида Ярик аналогичные показатели имели значение соответственно 70,4 т/га (67,6%) и 121 см (40,2%), гибрида Калаус – 45,4 т/га (52,6%) и 68 см (23,7%), гибрида Алга – 36,5 т/га (49,0%) и 55 см (20,3%). У комбинаций А-3529 х Ерген и Зерста 38А х Оранжевое 66 уровень истинного гетерозиса зеленой массы в сравнении со средней урожайностью родительских форм достиг соответственно 11,7% и 50,9%, высоты растений – 31,0% и 33,7%. При этом у А-3529 х Ерген изучаемый показатель по урожайности зерна составил 18,6 т/га (29,3%). Приведенные данные свидетельствуют о хорошей сочетаемости признаков непроражения покрытой головней и высокой урожайности зеленой массы новых районированных гибридов сахарного сорго Ярик, Калаус и Алга.

Остальной селекционный материал в конкурсном испытании, контрольном и коллекционном питомниках показал в изучаемые годы высокую устойчивость к покрытой головне. В коллекционном питомнике хорошо защищенными от этой болезни оказались комбинации Подарок, Сюрприз, Одесское 335 из Одесского СГИ; Крымбел, Крупинка 10,

Азарий, Прогресс из Крыма; Магистр, Бакалавр, Ассистент из Саратова; Атаман, Хазине 28 Зерноградской селекции.

**Выводы.** 1. Стерильные линии Княжна, Зерста 38А, Коричневозерное 11С, А-1012, А-3615 являются источником высокой устойчивости к покрытой головне сорго и отвечают требованиям, предъявляемым к родительским формам. В полученных гибридах они обеспечивают высокий уровень гетерозиса зеленой массы, высоты растений, размеров метелки. У линий Зерста 90С, А-63, А-3529 повреждение растений сорго составило соответственно 4,6; 3,5 и 0,7%.

2. Выделены 22 отцовские формы, обеспечивающие при скрещивании с изучаемыми материнскими формами у полученных гибридов полную устойчивость к головне.

3. Подтверждена высокая устойчивость к головне новых гибридов сахарного сорго Ярик, Алга, Калаус, созданных с участием материнских форм Зерста 38А и Княжна.

#### Библиография

1. Багринцева Н.А., Вахопский Э.К. Исходный материал для селекции зернового сорго // Современные методы адаптивной селекции зерновых и кормовых культур. Самара, 2003. С. 199-202.
2. Пурдик Н. П. Селекция сорго на устойчивость к головневым болезням // Проблемы и задачи по селекции, семеноводству и технологии производства и переработки сорго в СССР. Зерноград, 1990. С. 32-36.
3. Силаев А.И., Костина Г.И., Ишин А.Г. Рекомендации по защите сорго от головневых болезней в Поволжье. Санкт-Петербург: ВИЗР, 2005. 16 с.
4. Гурский Н. Г., Землянов В. А. Защита сорго сахарного от болезней // Защита и карантин растений. 2012. № 2. С. 51-52.
5. Алабушев А.В., Ковтунова Н.А., Ковтунов В.В. и др. Оценка исходного материала сорго сахарного на устойчивость к пыльной головне // Кормопроизводство. 2018. № 4. С. 26-30.
6. Багринцева Н.А., Вахопский Э.К. Княжна – новая стерильная линия зернового сорго // Селекция и семеноводство. 2003. № 2. С. 36.
7. Матвиенко Е.В. Оценка селекционного материала сорго зернового к различным болезням для засушливых условий среднего Поволжья // АгроЭкоИнфо. 2017. № 4 (30). С. 19.
8. Reddy P.S., Bhagwat V.R., Prasad G.S., Tonapi V.A. Breeding for insect resistance in sorghum and millets // Breeding Insect Resistant Crops for Sustainable Agriculture. Hyderabad: Springer Singapore, 2017. P. 231-264.
9. Reddy P.S., Reddy B.V.S., Kumar A.A., Sharma H.C. Performance of A1 , A2, A3, A4(M), A4(G) and A4(VZM) cytoplasm based iso-nuclear sorghum hybrids for shoot fly resistance across-rainy and post-rainy seasons // Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. 2015. №75(3). P. 324-329.
10. Knoll J.E., Anderson W.F., Harris-Shultz K.R., Ni X. The Environment Strongly Affects Estimates of Heterosis in Hybrid Sweet Sorghum // Sugar Tech. 2018. №20(3). P. 261-274.
11. Koch E., Roberts S.J. Non-chemical seed treatment in the control of seed-borne pathogens // Global Perspectives on the Health of Seeds and Plant Propagation Material. Vol. 6. Darmstadt: Springer, 2014. P. 105-123.
12. Jabranab K., Cheemaa Z.A., Khanc M.B., Hussainc M. Control of cabbage aphid *brevicoryne brassicae* (Homoptera: Aphididae) through allelopathic water extracts // Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research Series B: Biological Sciences. 2016. №59(1). P. 48-51.
13. Пурдик Н.П., Вахопский Э.К. Высокопродуктивные, устойчивые к покрытой головне образцы сорго // Селекция и семеноводство. 1990. № 4. С. 26-28.
14. Пурдик Н.П. Результаты изучения исходного материала мировой коллекции сорго // Сб. науч. тр. Ставропольского НИИ сельского хозяйства. 1987. С. 141-144.
15. Володин А.Б., Капустин С.И., Капустин А.С. Селекция гибридного сорго в Ставропольском крае // Таврический вестник аграрной науки. 2017. № 4(12). С. 50-56.
16. Володин А.Б., Капустин С.И. Эффективность выращивания новых перспективных сортов и гибридов зернового сорго в условиях Ставропольского края // Бюллетень Ставропольского научно-исследовательского института сельского хозяйства. 2016. № 8. С. 35-41.
17. Федин М.А. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Москва: МСХ СССР, 1985. 267 с.
18. Кулинцев В.В., Капустин С.И., Володин А.Б., Капустин А.С., Паньков Ю.И. Возделывание сорго и однолетних кормовых культур на семена. Ставрополь: Изд-во ВНИИОК, 2019. 128 с.

#### References

1. Bagrintseva N.A., Vakhopsky E.K. The source material for the selection of grain sorghum // Modern methods of adaptive selection of grain and fodder crops. Samara, 2003. P. 199-202.
2. Purdik N.P. Sorghum selection for resistance to smut diseases // Problems and tasks on selection, seed production and technology of production and processing of sorghum in the USSR. Zernograd, 1990. P. 32-36.

3. Silaev A.I., Kostina G.I., Ishin A.G. Recommendations for the protection of sorghum from smut diseases in the Volga region. St. Petersburg: VIZR, 2005. 16 p.
4. Gursky N. G., Zemlyanov V. A. Protection of sugar sorghum from diseases // Protection and quarantine of plants. 2012. No. 2. P. 51-52.
5. Alabushev A.V., Kovtunova N.A., Kovtunov V.V. et al. Evaluation of the starting material of sugar sorghum for resistance to head smut // Feed production. 2018. No. 4. P. 26-30.
6. Bagrintseva, H.A., Vakhopsky, E.K. Princess - a new sterile grain sorghum line // Selection and seed production. 2003. No. 2. P. 36.
7. Matvienko E.V. Evaluation of grain sorghum breeding material to various diseases for arid conditions of the middle Volga region // AgroEcoInfo. 2017. No. 4 (30). P. 19.
8. Reddy P.S., Bhagwat V.R., Prasad G.S., Tonapi V.A. Breeding for insect resistance in sorghum and millets // Breeding Insect Resistant Crops for Sustainable Agriculture. Hyderabad: Springer Singapore, 2017. P. 231-264.
9. Reddy P.S., Reddy B.V.S., Kumar A.A., Sharma H.C. Performance of A1 , A2, A3, A4(M), A4(G) and A4(VZM) cytoplasm based iso-nuclear sorghum hybrids for shoot fly resistance across-rainy and post-rainy seasons // Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. 2015. No.75(3). P. 324-329.
10. Knoll J.E., Anderson W.F., Harris-Shultz K.R., Ni X. The Environment Strongly Affects Estimates of Heterosis in Hybrid Sweet Sorghum // Sugar Tech. 2018. No.20(3). P. 261-274.
11. Koch E., Roberts S.J. Non-chemical seed treatment in the control of seed-borne pathogens // Global Perspectives on the Health of Seeds and Plant Propagation Material. Vol. 6. Darmstadt: Springer, 2014. P. 105-123.
12. Jabranab K., Cheemaa Z.A., Khanc M.B., Hussainc M. Control of cabbage aphid *brevicoryne brassicae* (Homoptera: Aphididae) through allelopathic water extracts // Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research Series B: Biological Sciences. 2016. No.59(1). P. 48-51.
13. Purdik N.P., Vakhopsky E.K. Sorghum samples, highly productive, resistant to covered smut // Selection and seed production. 1990. No. 4. P. 26-28.
14. Purdik N.P. The results of the study of the source material of the world collection of sorghum // Proc. scientific tr. Stavropol Research Institute of Agriculture. 1987. P. 141-144.
15. Volodin A.B., Kapustin S.I., Kapustin A.S. Selection of hybrid sorghum in the Stavropol Territory // Tavrichesky Vestnik agrarian science. 2017. No. 4 (12). P. 50-56.
16. Volodin A.B., Kapustin S.I. Efficiency of growing new promising varieties and hybrids of grain sorghum in the conditions of the Stavropol Territory // Bulletin of the Stavropol Research Institute of Agriculture. 2016. No. 8. P. 35-41.
17. Fedin M.A. Methods of state variety testing of agricultural crops. Moscow: USSR Ministry of Agriculture, 1985. 267 p.
18. Kulintsev V.V., Kapustin S.I., Volodin A.B., Kapustin A.S., Pan'kov Yu.I. The cultivation of sorghum and annual forage crops for seed. Stavropol: Publishing house VNIPOK, 2019. 128 p.

#### Сведения об авторах

Капустин Сергей Иванович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства сорго, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», Ставропольский край, Шпаковский район, г. Михайловск, ул. Никонова, 49, тел.: +7 988 678 98 57, e-mail: sniish@mail.ru.

Володин Александр Борисович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства сорго, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», Ставропольский край, Шпаковский район, г. Михайловск, ул. Никонова, 49, тел.: +79624512303, e-mail: sniish@mail.ru.

Капустин Андрей Сергеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры общей биологии и биоразнообразия института живых систем, старший научный сотрудник центра развития публикационной активности и патентно-лицензионной работы управления науки и технологий, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет», Ставропольский край, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, тел.: +79880964726, e-mail: akapustin@ncfu.ru.

Кухарук Максим Юрьевич, кандидат биологических наук, и.о. заведующего кафедрой общей биологии и биоразнообразия института живых систем, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет», Ставропольский край, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, тел.: +79620043932, e-mail: kuth87@mail.ru.

#### Information about authors

Kapustin Sergey Ivanovich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, senior researcher of the laboratory of selection and primary seed production of sorghum, Federal State Budget Scientific Institution «North Caucasus Federal Scientific Agrarian Center», Stavropol region, Mikhailovsk, ul. Nikonova, 49, tel.: +79886789857, e-mail: sniish@mail.ru.

Volodin Aleksandr Borisovich, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory of selection and primary seed sorghum, Federal State Budget Scientific Institution «North Caucasus Federal Scientific Agrarian Center», Stavropol region, Mikhailovsk, ul. Nikonova, 49, tel.:+79624512303, e-mail: sniish@mail.ru.

Kapustin Andrey Sergeevich, Candidate of Agricultural Sciences, associate professor of the department general biology and biodiversity of the institute living systems, senior researcher at the center for the development of publication activity and patent-licensing work of the department science and technology, Federal State Autonomous Educational Institution for Higher Education "North-Caucasus Federal University", 1, Pushkin Street, Stavropol, tel.: +79880964726, e-mail: akapustin@ncfu.ru.

Kukharuk Maksim Yuryevich, Candidate of Biological Sciences, head of the department general biology and biodiversity of the institute living systems, Federal State Autonomous Educational Institution for Higher Education "North-Caucasus Federal University", 1, Pushkin Street, Stavropol, tel.: +79620043932, e-mail: kuth87@mail.ru.

УДК 631.82:631.86/87:633.11 «324»

*Т.С. Морозова, С.Д. Лицуков*

## ОЦЕНКА НАКОПЛЕНИЯ КАДМИЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЕЙ

**Аннотация.** Изучение накопления тяжелых металлов растениями имеет важное значение в связи с возросшим загрязнением окружающей среды. Внесение минеральных, вследствие органических и внесение минеральных на фоне последствие навоза не привело к увеличению подвижных форм кадмия в почве и не оказывает отрицательного влияния на агроэкологическое состояние почвы. Коэффициент подвижности кадмия при внесении минеральных удобрений и при их внесении на фоне последствие навоза снижается с 23,6 до 14,0 % в фазу кущения и с 22,2 до 12,0 % в фазу полной спелости. Внесение минеральных удобрений повышало содержание кадмия в зерне озимой пшеницы на 0,03 -0,01 мг/кг, однако это не превышало ПДК. Таким образом, исследованиями, проведенными в длительном стационарном опыте при систематическом применении удобрений на черноземных почвах в юго-западной части ЦЧР, установлено, что растительная продукция экологически безопасна по содержанию кадмия. Коэффициент биологического поглощения и коэффициент накопления кадмия озимой пшеницей под влиянием удобрений повышаются. В соломе озимой пшеницы процесс накопления кадмия происходит интенсивнее, чем в зерне. Коэффициенты накопления Cd соломой превышали КН зерном в 1,5 раза. В результате исследований установлено положительное действие минеральных удобрений на фоне последствие навоза на снижение поступления кадмия в зерно и солому озимой пшеницы, за счёт образования труднорастворимых соединений с кадмием. Прослеживается закономерность увеличения выноса кадмия зерном и соломой озимой пшеницы, в зависимости от доз удобрений и их комбинаций.

**Ключевые слова:** навоз, минеральные удобрения, кадмий, подвижность, коэффициент накопления, коэффициент биологического поглощения.

### ASSESSMENT CADMIUM ACCUMULATION OF THE WINTER WHEAT

**Abstract.** Studying of accumulation of heavy metals plants is important in connection with the increased environmental pollution. Introduction mineral, organic and introduction mineral against the background of an after-effect of manure did not lead an after-effect to increase in mobile forms of cadmium in the soil and has no negative impact on an agroecological condition of the soil. The coefficient of mobility of cadmium at introduction of mineral fertilizers and at their introduction against the background of an after-effect of manure decreases from 23.6 to 14.0% in a phase of tillering stage and from 22.2 to 12.0% in a phase of full ripeness. Introduction of mineral fertilizers increased cadmium content in grain of a winter wheat by 0.03 - 0.01 mg/kg, however it did not exceed maximum allowable concentration. Thus, by the researches conducted in long stationary experience at systematic use of fertilizers on chernozem soils in a southwest part of CCHZ it is established that the vegetable products are ecologically safe on cadmium content. The coefficient of biological absorption and coefficient of accumulation of cadmium a winter wheat under the influence of fertilizers increase. In straw of a winter wheat process of accumulation of cadmium happens more intensively, than in grain. Coefficients of accumulation of CD straw exceeded KN grain by 1.5 times. As a result of researches positive effect of mineral fertilizers against the background of a manure after-effect on decrease in intake of cadmium in grain and straw of a winter wheat, due to formation of almost insoluble connections with cadmium is established. The regularity of increase in carrying out of cadmium by grain and straw of a winter wheat, depending on doses of fertilizers and their combinations is traced.

**Keywords:** dung, mineral fertilizers, cadmium, mobility, accumulation factor, coefficient of biological absorption.

Почва является исходным звеном миграции большинства химических элементов в природной среде и агроэкосистемах. Мощным аккумулятором загрязняющих веществ, в том числе и тяжёлых металлов, служит почва. Из почвы растения поглощают до 70% кадмия, а из воздуха лишь 30%, следовательно, что позволяет считать растительную пищу основным источником кадмиевой интоксикации живых организмов [7,10,11].

Накопление биогенных и токсичных элементов в растении находится в прямой зависимости от их распределения в системе твердая фаза почва–почвенный раствор–корневая система растения, что обусловлено физико-химическими свойствами элементов и почв, а также климатическими факторами [1,2,8].

Среди тяжелых металлов, наибольшей подвижностью в системе почва–растение характеризуется кадмий. Аккумуляция кадмия растениями может стать причиной развития негативных для них физиологических и биохимических эффектов: снижение скорости транспирации, ухудшение минерального питания, нарушение работы клеточных ферментов, накопление в клетках оксидантов [3,5].

В результате высокой подвижности катионов тяжелых металлов в корни растений поступает избыточное их количество. В таком случае мембраны клеток их просто не выдерживают и клеточные механизмы перестают регулировать поступление катионов тяжелых металлов, что приводит к их накоплению в растениях и угнетению растений, и, как следствие, потере урожая и его качества [4,6].

Интенсивное применение в сельском хозяйстве минеральных удобрений, химических средств защиты растений обострили экологическую проблему состояния пашни.

В удобрениях кадмий находится в основном в подвижном состоянии и легкодоступен растениям. Этим и объясняется незначительное повышение содержания его в почве при существенном повышении количества кадмия в растениях. С фосфорными удобрениями в течение года в почву поступает кадмия в 2-3 раза больше, чем потребляют растения. Фосфорные удобрения являются источником поступления кадмия в почву, так за их счёт ежегодный прирост составляет 0,15%. Белгородской области среднее содержание кадмия в навозе КРС (влажность 60 %) составляет 0,11 мг/кг, в аммиачной селитре – 0,04 мг/кг в азофоске (16:16:16) – 0,1 мг/кг [9].

Цель исследований – изучить влияние удобрений на подвижность кадмия в почве и накопление его озимой пшеницей.

Исследования проведены на базе многолетнего стационарного полевого опыта лаборатории мониторинга и плодородия почв ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН» в 2012-2015 гг..

Мы провели анализ содержания кадмия в почве в зависимости от действия доз минеральных удобрений, последствий органических удобрений и совместного их действия в течение длительного периода (опыт заложен в 1987 г.).

Схема опыта: 1. без удобрений (контроль); 2.  $N_{60}P_{60}K_{60} + N_{30}$  рано весной; 3.  $N_{120}P_{120}K_{120} + N_{30}$  рано весной; 4. навоз 40 т/га (последствие); 5.  $N_{60}P_{60}K_{60} + N_{30}$  рано весной + навоз 40 т/га (последствие); 6.  $N_{120}P_{120}K_{120} + N_{30}$  рано весной + навоз 40 т/га (последствие); 7. навоз 80 т/га (последствие); 8.  $N_{60}P_{60}K_{60} + N_{30}$  рано весной + навоз 80 т/га (последствие); 9.  $N_{120}P_{120}K_{120} + N_{30}$  рано весной + навоз 80 т/га (последствие).

Согласно схеме опыта минеральные удобрения в виде азофоски ежегодно вносили под основную обработку и 30 кг/га д.в. азота для проведения подкормки аммиачной селитрой рано весной.

Из органических удобрений применяли навоз КРС. Навоз вносили под сахарную свёклу один раз за ротацию севооборота. В расчете на простое воспроизводство почвенного плодородия навоз вносился в одинарной дозе, которая составляла 40 т/га, а в расчете на расширенное воспроизводство доза внесения навоза была увеличена вдвое и составляла 80 т/га.

Содержание кадмия в почве, зерне и соломе озимой пшеницы было определено в аккредитованной испытательной лаборатории почв, кормов, пищевой и сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО «Белгородского государственного аграрного университета им. В.Я. Горина» (ГОСТ 30178-96).

В результате исследований установлено, что как в весенний период (фаза кущения), так и летом (фаза полной спелости) содержание подвижных форм кадмия под влиянием удобрений изменяется незначительно (рис. 1).

Содержание подвижных форм кадмия в слое почвы 0-30 см по вариантам опыта колеблется от 0,12 до 0,17 мг/кг весной и от 0,10 до 0,17 мг/кг в фазу полной спелости, что составляет 14,0-18,6 и 12,8-21,8 % от валового содержания элемента.

Содержание подвижных форм кадмия в варианте без внесения удобрений существенно не отличалось по фазам вегетации озимой пшеницы и в слое почвы 0-30 см в среднем за три года составило на контроле – 0,16- 0,17 мг/кг.

Весной, в фазу кущения, внесение минеральных удобрений привело к снижению содержания подвижного кадмия, что может быть связано, на наш взгляд, с образованием нерастворимых соединений с ортофосфорной кислотой.

В вариантах с последствием 40 т/га и 80 т/га навоза содержание подвижных форм кадмия составило 0,13 и 0,12 мг/кг почвы соответственно, что на 0,04-0,05 мг/кг ниже по сравнению с контролем. Это, видимо, связано с образованием органо-минеральных соединений с кадмием.

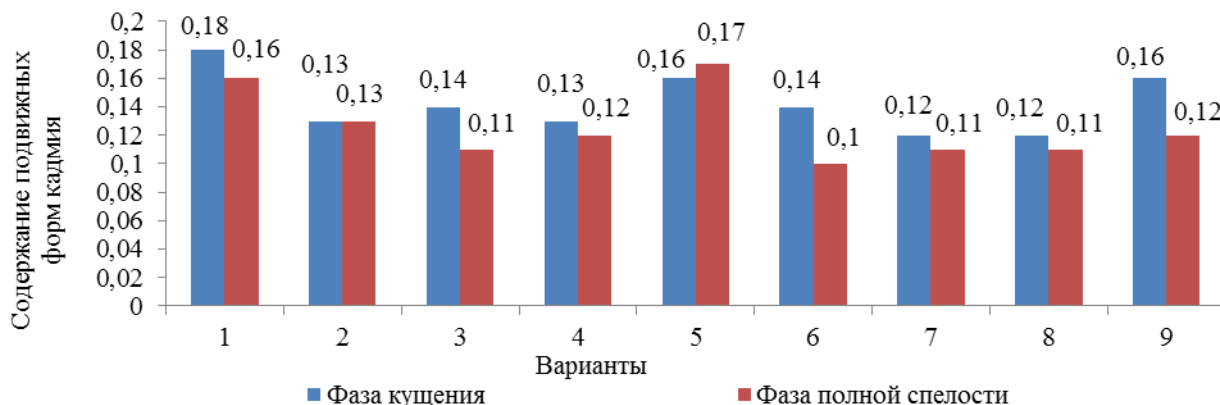


Рис. 1. Содержание подвижных форм кадмия в почве (слой 0-30 см) в среднем за 2013-2015 гг., мг/кг

В вариантах с внесением минеральных на фоне последствия навоза, как при одинарных, так и при двойных дозах содержание кадмия не превышало уровня контрольного варианта и составило от 0,12 до 0,16 мг/кг почвы.

Анализ почвенных образцов, отобранных в фазу полной спелости, показывает, что содержание подвижных форм кадмия в почве на контроле составило 0,16 мг/кг. В вариантах с внесением минеральных удобрений, последствием навоза и внесением минеральных удобрений на фоне последствия навоза его содержание изменялось от 0,10 до 0,17 мг/кг почвы.

Следовательно, как в весенний период (фаза кущения), так и летом (фаза полной спелости) содержание подвижных форм кадмия изменяется незначительно. Внесение минеральных удобрений, органических удобрений и внесение минеральных удобрений на фоне последствия навоза за длительный период не приводит к увеличению подвижных форм кадмия в почве и, следовательно, не оказывает отрицательного влияния на агроэкологическое состояние почвы.

Для оценки влияния средств химизации на превращения кадмия в почве нами рассчитан коэффициент его подвижности, который представлен на рисунке 2.

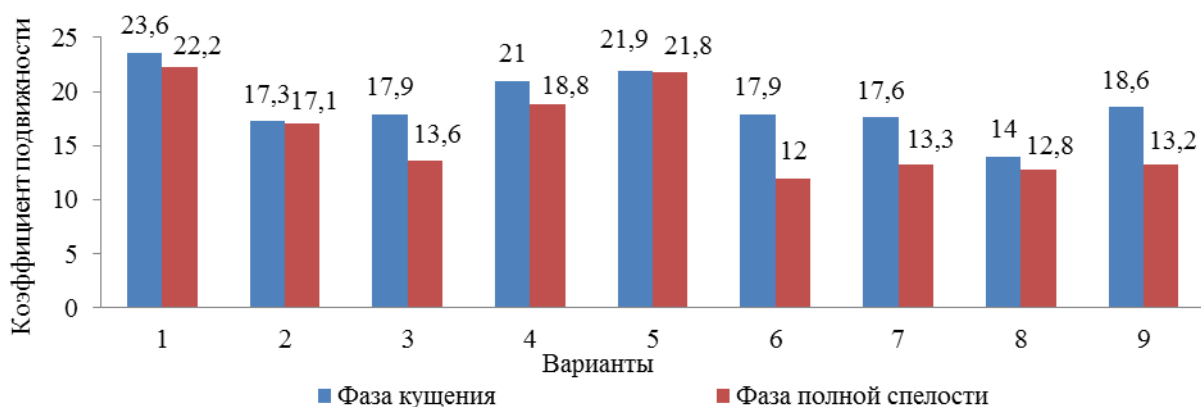


Рис. 2. Коэффициент подвижности кадмия в среднем за 2013-2015 гг., %

Анализ диаграммы показывает, что коэффициент подвижности кадмия на контрольном варианте весной несколько выше, чем летом и в среднем за три года он составил 23,6 и 22,2 % соответственно. Внесение минеральных удобрений в одной и двух дозах оказало положительное влияние на снижение коэффициента подвижности. Так, в вариантах N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> и N<sub>150</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub> он составил 17,3 и 17,9 % соответственно, что ниже по сравнению с контролем.



Последствие 40 т/га навоза снижало коэффициент подвижности кадмия весной на 2,6 % по сравнению с контролем. В варианте  $N_{90}P_{60}K_{60}$  + навоз 40т/га (последствие) коэффициент подвижности составил 21,9 %, что на 1,7 % ниже, чем в варианте без внесения удобрений. Применение двойной дозы минеральных удобрений на фоне последствия 40 т/га навоза способствовало снижению коэффициента подвижности кадмия до 17,9 %. Последствие двойной дозы навоза, а также внесение  $N_{90}P_{60}K_{60}$  и  $N_{150}P_{120}K_{120}$  на фоне последствия двойной дозы навоза снижали коэффициент подвижности кадмия до 17,6; 14,0 и 18,6 %, что на 6,0; 9,6 и 5,0 % ниже значений контрольного варианта.

Положительное действие навоза и минеральных удобрений на снижение коэффициента подвижности кадмия объясняется тем, что одновременно с образованием карбонатов и бикарбонатов в почве образуются и комплексные соединения кадмия с органическим веществом почвы и фосфат ионами.

В фазу полной спелости озимой пшеницы коэффициент подвижности кадмия на контрольном варианте составил 22,2 %, что незначительно ниже, чем в весенний период. Такая же тенденция наблюдалась в вариантах с внесением минеральных удобрений и внесением минеральных удобрений на фоне последствия навоза. Однако в вариантах  $N_{150}P_{120}K_{120}$  + навоз 40 т/га (последствие); в варианте навоз 40т/га (последствие); в варианте  $N_{90}P_{60}K_{60}$  + навоз 80т/га (последствие) и в варианте  $N_{150}P_{120}K_{120}$  + навоз 80 т/га (последствие) коэффициент подвижности кадмия снизился до 12,0; 13,3; 12,8 и 13,2 % соответственно.

Снижение коэффициента подвижности может быть обусловлено изменением среды почвенного раствора в результате гидролиза вносимых удобрений. Кроме этого повышенные дозы комплексных удобрений снижают подвижность кадмия в результате образования нерастворимых соединений с фосфат ионами.

Таким образом, на контрольном варианте, в варианте  $N_{90}P_{60}K_{60}$  и в варианте с внесением минеральных удобрений в дозе  $N_{90}P_{60}K_{60}$  на фоне последствия 40 т/га навоза в фазу полной спелости озимой пшеницы коэффициент подвижности кадмия снизился по сравнению с весенним периодом незначительно. Однако в вариантах  $N_{150}P_{120}K_{120}$ ;  $N_{150}P_{120}K_{120}$  + навоз 40т/га (последствие); навоз 80 т/га (последствие);  $N_{90}P_{60}K_{60}$  + навоз 80т/га (последствие) и в варианте  $N_{150}P_{120}K_{120}$  + навоз 80т/га (последствие) коэффициент подвижности кадмия снизился до 13,6; 12,0; 13,3; 12,8 и 13,2 % соответственно. Это связано, прежде всего, с окислительно-восстановительными процессами, происходящими в почве под воздействием удобрений, климатическими условиями и действием самих растений в процессе их питания.

Наибольшее снижение подвижности кадмия обусловлено совместным действием двойной дозы минеральных удобрений на фоне последствия 40 т/га и 80 т/га навоза, а также последствием двойной дозы навоза (80 т/га) и внесении  $N_{90}P_{60}K_{60}$  на фоне последствия двойной дозы навоза.

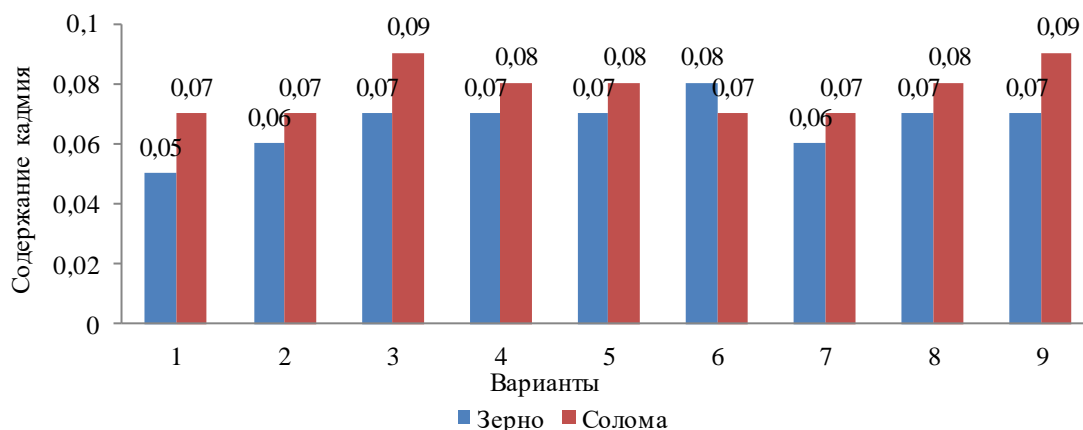


Рис. 3. Содержание кадмия в озимой пшенице в среднем за 2013-2015 гг., мг/кг

Под действием удобрений отмечается тенденция к повышению содержания кадмия в зерне, однако его содержание не превышало ПДК. По всем вариантам опыта содержание кадмия в соломе в 1,4 раза превышает содержание его в зерне.

Показателем степени накопления элементов растениями является коэффициент биологического поглощения (КБП), позволяющий косвенно судить о степени доступности элемента для растений и его поведении в системе «почва–растение».

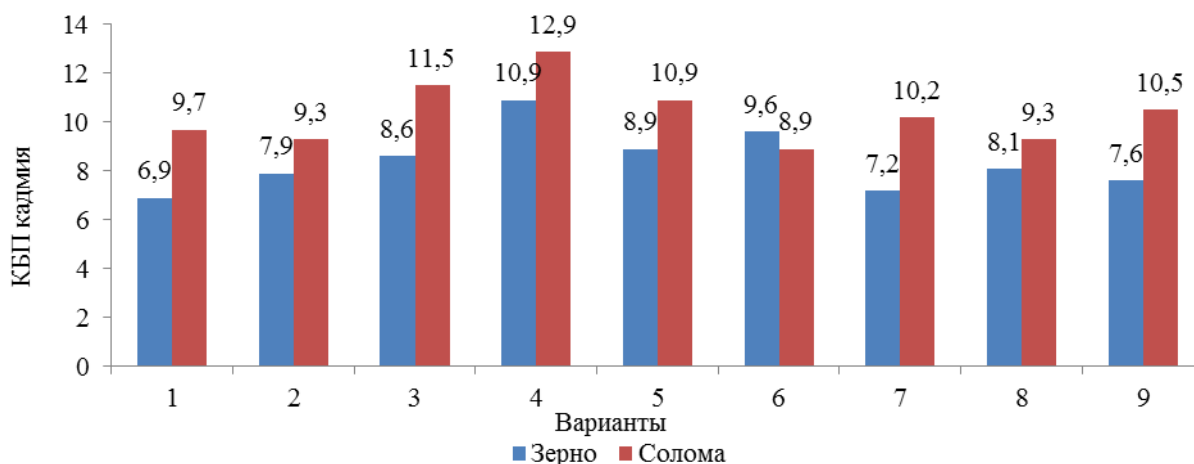


Рис. 4. Коэффициент биологического поглощения кадмия продукцией озимой пшеницы в среднем за 2013-2015 гг., %

Коэффициент биологического поглощения кадмия варьирует в широких пределах: 6,9-10,9 % для зерна и 8,9-12,5 % для соломы, что позволяет отнести кадмий к элементам сильной интенсивности поглощения.

Оценивая величину КБП, следует отметить, что наблюдается тенденция накопления в вегетативных органах более значительных количеств поллютанта, чем в генеративных.

Более информативным критерием оценки количества металла, перешедшего из почвы в растения является коэффициент накопления (Кн) – отношение содержания элемента в золе растений к содержанию его подвижных форм в почве, так как именно они доступны растениям.

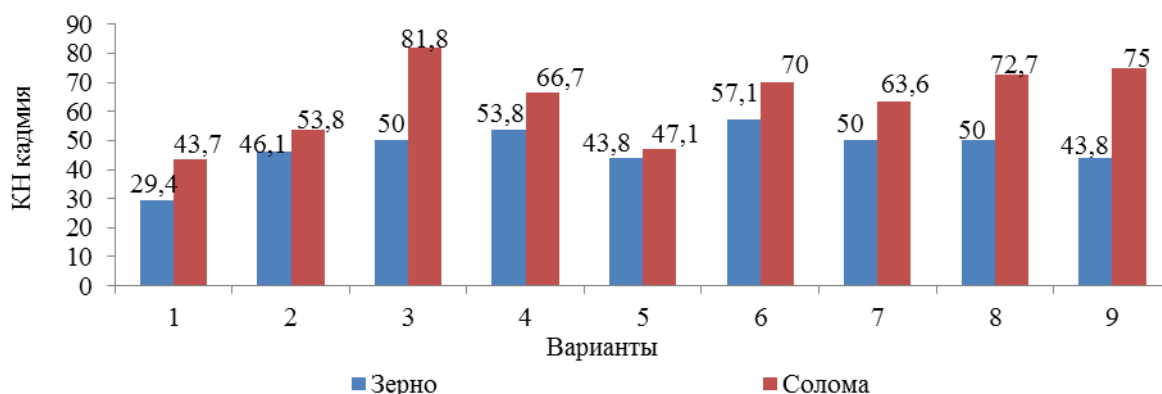


Рис. 5 – Коэффициент накопления кадмия продукцией озимой пшеницы в среднем за 2013-2015 гг., %

Анализ коэффициентов накопления показал, что кадмий накапливается растениями озимой пшеницы с вариацией значений в пределах Кн = 29,4-57,1 % для зерна и 43,7-81,8 % для соломы. Коэффициент накопления кадмия зерном озимой пшеницы изменялся от 24,3% в варианте без применения удобрений, до 55,4 % – при внесении минеральных удобрений в дозе N<sub>150</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub> на фоне последействия 80 т/га навоза. Минимальные значения Кн кадмия соломой (7,6 %) отмечены в контрольном варианте и в варианте с внесением N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> на фоне последействия 80 т/га навоза.

Одним из показателей накопления элементов растениями является величина биологического выноса кадмия с урожаем растений.

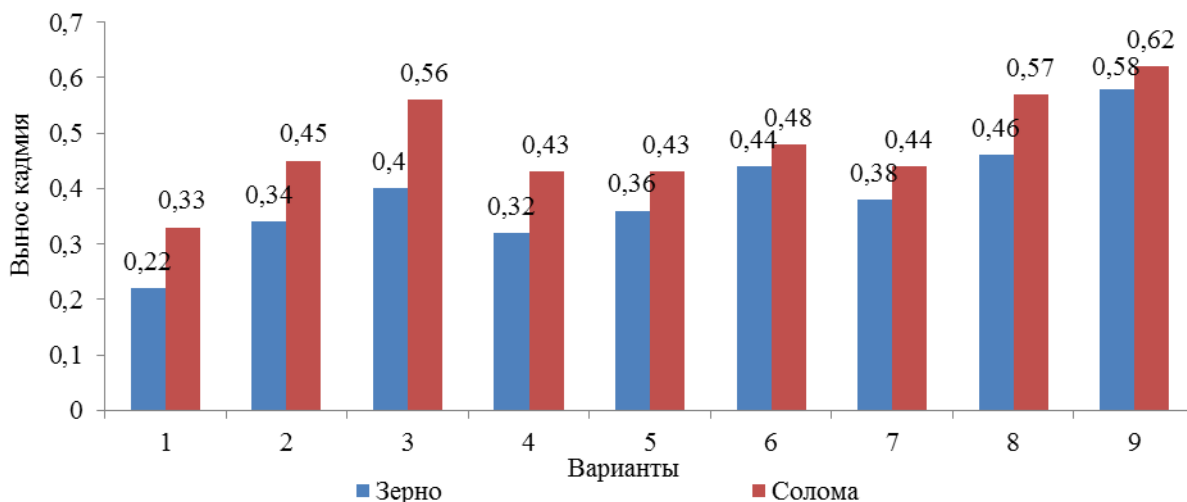


Рис. 6 – Вынос кадмия основной и побочной продукцией озимой пшеницей в среднем за 2013-2015 гг., г/га

Вынос кадмия основной продукцией на контроле был минимальным и составил 0,22 г/га. Удобрения способствуют повышению данного показателя.

Так, при внесении минеральных удобрений в дозе  $N_{90}P_{60}K_{60}$  и  $N_{150}P_{120}K_{120}$  вынос увеличился на 0,12 г/га или на 35,3 % и 0,18г/га или на 45 % соответственно. В вариантах с последствием навоза вынос также увеличивался, но несколько меньше. Двойная доза минеральных удобрений на фоне 80 т/га навоза максимально повысила вынос кадмия зерном, где он составил 0,58 г/га, что на 0,36 г/га или 62,1 % превышает вынос в варианте без применения удобрений.

Внесение минеральных удобрений, последствие навоза и внесение минеральных удобрений на фоне последствия навоза увеличили вынос кадмия соломой по сравнению с контролем. Внесение минеральных удобрений в дозе  $N_{150}P_{120}K_{120}$  на фоне последствия 80 т/га навоза повысило вынос кадмия соломой озимой пшеницы на 0,29 г/га или 46,8 %, по сравнению с контрольным вариантом.

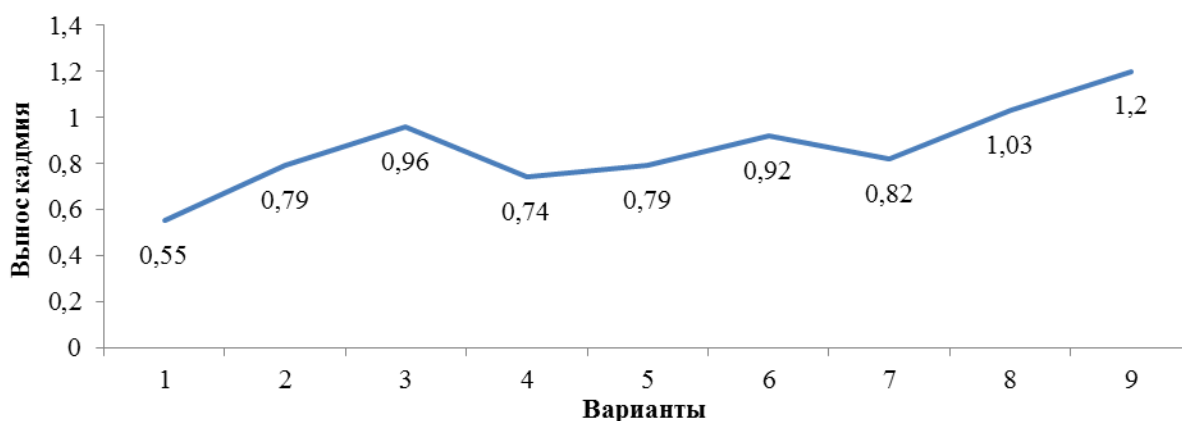


Рис. 7. Вынос кадмия озимой пшеницей в среднем за 2013-2015 гг., г/га

Вынос кадмия с основной и побочной продукцией возрастает с ростом уровня применения удобрений. Наибольший суммарный вынос– 1,20 кг/га, выявлен в варианте с внесением двойной дозы минеральных удобрений на фоне последствия 80т/га навоза.

Таким образом, в результате исследований установлено:

1. В соломе озимой пшеницы процесс накопления кадмия происходит интенсивнее, чем в зерне.
2. Совместное внесение минеральных и органических удобрений снижают коэффициент накопления кадмия.

3. Вынос с основной и побочной продукцией возрастает с ростом уровня применения удобрений.

#### Библиография

1. Ефимова Л.А. Экологические аспекты применения удобрений в чернозёме типичном юго-западной части Центрально-Черноземного региона / Л.А. Ефимова, Т.С. Морозова, С.Д. Лицуков // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. –2017. –№ 1 (13). –С. 81-88.
2. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение / В. Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1991. –151 с.
3. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях/ А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
4. Лицуков С.Д. Подвижность тяжелых металлов на черноземе типичном / С.Д. Лицуков // Бюллетень научных работ. – Белгород: Изд-во. БелГСХА, 2009. – Вып. 16. – С.22-27.
5. Минеев В. Г. Химизация земледелия и природная среда / В.Г. Минеев. – М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.
6. Морозова Т.С. Влияние длительного внесения минеральных удобрений и навоза на подвижность кадмия в почве / Т.С. Морозова // Материалы XX Международной научно-производственной конференции (Белгород, 23-25 мая 2016г.). Том 1.– Белгород: Изд-во ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2016. – С. 31-32.
7. Никитин С. Н.Влияние средств химизации и биологизации на изменение содержания свинца и кадмия в зерне сельскохозяйственных культур / С. Н. Никитин // Земледелие. – 2014. – № 8. – С. 35-37.
8. Панин С.И. Оценка аккумуляции тяжёлых металлов древесными растениями полевых и лесополосных культур / С.И. Панин, Е.Ю. Колесниченко, Т.С. Морозова, В.И. Соловьёва // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. – 2014. – № 1. – С. 75 – 80.
9. Тютюнов С.И. Загрязнение почв Белгородской области и технологические приёмы по их восстановлению: Учебно-производственное пособие / С.И. Тютюнов, В.Д. Соловиченко, Г.И. Уваров [и др.]. – Белгород: «Отчий край», 2012. – 40 с.
10. Черных Н.А. Экотоксикологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами / Н.А.Черных, Н.З. Милащенко, В.Ф. Ладонин. – М.: Агроконсалт, 1999. – 176 с.
11. Четверикова Н.С. Кадмий в агроландшафтах Лесостепной зоны ЦЧО / Н.С. Четверикова, Л.В. Марциневская // Достижения науки и техники АПК. –2013. – № 7. – С. 69-70.

#### References

1. Efimova L. A. Environmental aspects of fertilizer application in the black soil typical of the South-Western part of Central Chernozem region / L. A. Efimova, T. S. Morozova, S. D. Litsukov // Innovation in agriculture: problems and prospects. –2017. –№ 1 (13). –P. 81-88.
2. Ilyin V. B. Heavy metals in the soil – plant system / V. B. Ilyin. – Novosibirsk: Nauka, 1991. –151 p.
3. Kabata-Pendias A. trace elements in soils and plants/ A. Kabata-Pendias, H. Pendias. – М.: World, 1989. – 439 p.
4. Litsukov S. D. Mobility of heavy metals in typical black soil / S. D. Litsukov // the Bulletin of scientific works. – Belgorod: Publishing house. BelGSHA, 2009. – Issue. 16. – P. 22-27.
5. Mineev V. G. Chemization of agriculture and natural environment / V. G. Mineev. – М.: Agropromizdat, 1990. – 287 p.
6. Influence of long-term application of mineral fertilizers and manure on the mobility of cadmium in the soil / T. S. Morozova // Proceedings of the XX International scientific and production conference (Belgorod, may 23-25, 2016). Volume 1.– Belgorod: publishing House of BELGOROD state UNIVERSITY, 2016. – P. 31-32.
7. Nikitin S. N. Influence of means of chemicalization and biologization on the change in the content of lead and cadmium in grain crops / S.N. Nikitin // Agriculture. – 2014. – № 8. – P. 35-37.
8. Panin S. I. Assessment of accumulation of heavy metals by woody plants of protective forest belt and field crops / S. I. Panin, E. Yu. Kolesnichenko, T. S. Morozova, V. I. Soloviev // Bulletin of the Moscow state regional University. Series: Natural Sciences. – 2014. – № 1. – P. 75 – 80.
9. Tyutyunov, S. I. Contamination of soils of the Belgorod region and processing methods for their recovery: industrial Training manual / S. I., Tyutyunov, V. D., Solovchenko, G. I. Uvarov [and others]. – Belgorod: «Fatherland», 2012. – 40 p.
10. Black N.A. Ecotoxicological aspects of soil pollution with heavy metals / N. A. Black, N. Z. Milashenko, V. F. Ladonin. – Moscow: Agroconsult, 1999. – 176 p.
11. N. Chetverikova With. Cadmium in agricultural landscapes of forest-Steppe zone of the Central black earth region / N. With. Chetverikova, L. V. Martsinovskaya // Achievements of science and technology of agriculture. –2013. – № 7. – P. 69-70.

#### Сведения об авторах

Морозова Тамара Сергеевна, ассистент кафедры земледелия, агрохимии и экологии ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ имени В.Я. Горина, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, контактный телефон 8-951-132-88-79

Лицуков Сергей Дмитриевич, профессор кафедры земледелия, агрохимии и экологии ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ имени В.Я. Горина, доктор сельскохозяйственных наук, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, контактный телефон 8-915-525-42-66

**Information about authors**

Morozova Tamara Sergeevna, assistant professor of the department of agriculture, agrochemistry and ecology, Belgorod state agricultural University named after V. Gorin, Vavilov St.1, set. Mayskiy, Belgorod district, Belgorod Region, 308503, contact phone 8-951-132-88-79

Litsukov Sergey Dmitrievich, professor of the department of agriculture, agrochemistry and ecology, Belgorod state agricultural University named after V. Gorin, doctor of agricultural, Vavilov St.1, set. Mayskiy, Belgorod district, Belgorod Region, 308503, contact phone 8-915-525-42-66

УДК 631.445.4:631.43:633.854.78

*М.Н. Рязанов, Е.Г. Котлярова*

## **СТРУКТУРА И ВОДОПРОЧНОСТЬ ПОЧВЕННЫХ АГРЕГАТОВ ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО ПОД ПОДСОЛНЕЧНИКОМ В ЛАНДШАФТНЫХ УСЛОВИЯХ ЦЧР**

**Аннотация.** Целью исследования является выявление оптимального сочетания органических удобрений и способов основной обработки, способствующих повышению противозерозионной устойчивости почв при возделывании подсолнечника в условиях склона 3-5° северной экспозиции, что приведет к эффективному использованию таких земель в системе ландшафтного земледелия. В результате исследований установлено, что в наиболее эрозионно-опасный в ЦЧЗ весенний период участки разной крутизны не имели существенных различий по доли агрономически-ценных агрегатов почвы, но они определяли направленность влияния способов основной обработки почвы и органических удобрений. Отличная структура почвы верхнего десятисантиметрового слоя почвы, имеющего важное значение в эрозионном отношении, в период посева на равнинном участке формировалась при применении органических удобрений под основную обработку почвы, независимо какой способ, отвальный или безотвальный использовался ( $K=1,7-1,9$ ), а на склоновом участке при их применении, в большей степени сидерата, по No-till ( $K=1,6-1,8$ ). Для повышения водопрочности структурных агрегатов почвы равнинного участка также следует применять глубокое рыхление либо вспашку в сочетании с соломопометным компостом (54%), в склоновом рельефе – предпочтение отдавать нулевой обработке (53%). Применение No-till также обусловлено повышением водопрочности почвы по этому агрофону в летне-осенний период (58%), эрозионная опасность которого связана с ливневыми осадками. Некоторое положительное влияние сидерата к моменту уборки подсолнечника выявляется, если он заделывается в почву при проведении основной ее обработки, на склоне 3-5° – только под глубокое рыхление.

**Ключевые слова:** подсолнечник, агрофизические свойства, структура почвы, водопрочность, обработка почвы, органические удобрения, соломопометный компост, сидерат, склон северной экспозиции, ландшафтное земледелие.

## **STRUCTURE AND WATER STABILITY OF SOIL AGGREGATES OF TYPICAL CHERNOZEM UNDER SUNFLOWER IN THE LANDSCAPE CONDITIONS OF THE CENTRAL CHERNOZEM REGION**

**Abstract.** The aim of the study was to identify the optimal combination of organic fertilizers and basic tillage methods, contributing to the increase of erosion resistance of soils in the cultivation of sunflower on the slope of 3-5° North exposure, which will pull weight to the effective use of such lands in the landscape agricultural systems. As a result of research it was established that in the most erosion dangerous in Chernozem Region spring period the sites of different steepness didn't have essential differences in a share of agronomically valuable soil aggregates, but they defined the direction of influence of the soil tillage methods and organic fertilizers. During the sowing period the excellent structure of the top ten-centimeter layer of soil, having important value in relation to erosion, on the flatland site was formed due to using organic fertilizers under the tillage, no matter plowing or subsurface tillage ( $K=1,7$  to  $1,9$ ), and on the slope plot - also due to organic fertilizers application, to a greater extent, green manure, with No-till ( $K=1,6-1,8$ ). To improve the water stability of the soil structural aggregates on the flat area should also use deep loosening or plowing in combination with straw-litter compost (54%), in the slope relief – preference should be given to No-till (53%). The use of No-till was also due to the increase in water stability of the soil in the summer-autumn period (58%), the erosion danger of which is associated with heavy rainfall. Some positive effect of green manure at the time of sunflower harvesting was revealed if it had been embedded in the soil during its main tillage, on the slope of 3-5° - only with subsurface tillage.

**Keywords:** sunflower, agrophysical properties, soil structure, water stability, tillage, organic fertilizers, straw-litter compost, green manure, slope of the North exposition, landscape agriculture.

**Введение.** Повышение противозерозионной устойчивости почвы, во многом связанное с улучшением ее структуры и водопрочности [1], может обусловить возделывание подсолнечника на склонах Среднерусской возвышенности северной экспозиции, обладающих сходным уровнем плодородия с равнинными землями [10]. Это особенно важно в регионах, где возможности расширения площадей под посевами подсолнечника вследствие высокой их эрозионной опасности практически исчерпаны [9], что определяет актуальность представленного исследования. Хорошо известно положительное влияние органических удобрений, как источника гумусовых веществ, на изучаемые агрофизические показатели [1, 6]. Процесс структурообразования и формирование водопрочных почвенных агрегатов зависит также от интенсивности способа основной обработки почвы [7, 8].

Агрофизические свойства почвы являются одним из важнейших факторов управления её плодородием и продуктивностью растений, играют значимую роль в оптимизации водного, воздушного и теплового режимов почвы [3]. Выявление оптимального сочетания органических удобрений и способов основной обработки, способствующих повышению противоэрозионной устойчивости почв при возделывании подсолнечника в условиях склона 3-5° северной экспозиции в системе ландшафтного земледелия, является целью данного исследования.

**Материалы и методы исследования.** Исследования проводились в 2016-2018 гг. на базе ЗАО «Краснояржская зерновая компания» (Белгородская область) с полным освоением ландшафтных систем земледелия. Почва участков: чернозем типичный несмытый (0-3°): содержание гумуса 4,9% (среднее), рН<sub>сол.</sub> – 6,4, содержание подвижного фосфора и калия (по Чирикову) соответственно 134 и 234 мг/кг почвы; чернозем типичный слабосмытый (3-5°): содержание гумуса 4,5% (среднее), рН<sub>сол.</sub> – 6,1, содержание подвижного фосфора и калия соответственно 210 и 190 мг/кг почвы. Опыт трехфакторный: фактор А (рельефные условия): 1. склон 0-3°, 2. склон 3-5° северной экспозиции; фактор В: 1. вспашка (контроль) – ПЛН-4-35 на глубину 25-27 см, 2. глубокая безотвальная обработка – SunFlower на глубину 25-27 см, 3. без обработки (No-till); фактор С: 1. без удобрений; 2. сидерат (горчица белая); 3. компост соломопоятный (20 т/га). Посевная площадь делянок – 100 м<sup>2</sup>, учетная площадь – 50 м<sup>2</sup>, повторность трехкратная. Перед посевом сидератов и внесением компоста проводилась послеуборочное лушение стерни Amazone – Catros, исключая вариант с нулевой обработкой почвы. Сев подсолнечника производился сеялкой Massey Ferguson семенами гибрида НК Неома фирмы Syngenta.

**Динамика структурно-агрегатного состояния почвы под подсолнечником.** Структурно-агрегатный состав почвы определяет характер ее водного, воздушного и теплового режимов. Увеличение доли агрономически-ценной фракции (0,25-10 мм) положительно влияет на свойства почвы, повышает плодородие, а также ее противоэрозионную устойчивость, что особенно важно для склоновых земель, характерных для зоны проведения исследований.

В период посева содержание макроструктуры по слоям почвы изменялось в пределах 50,3-65,7%. Наибольшая изменчивость показателя характерна для верхнего десятисантиметрового слоя. Однако следует отметить, что ее величина в слое 0-10 см достоверно зависела только от сочетания изучаемых факторов – НСР<sub>05(ABC)</sub>=8,9%.

Несмотря на то, что участки разной крутизны не имели существенных различий между собой, они определяли направленность влияния способов основной обработки почвы и органических удобрений. На равнинном участке органические удобрения способствовали повышению структурности верхнего слоя почвы с удовлетворительного (56-59%) до хорошего состояния при использовании под глубокую обработку почвы: в наибольшей степени компост на вспашке (65,7%) и сидераты по глубокой безотвальной обработке почвы – 63,3% (рис. 1). Тогда как использование удобрений по No-till приводило к снижению показателя.

Противоположный эффект наблюдался на склоновом участке, когда применение органических удобрений приводило к уменьшению возросшей в этих условиях на 3,3-3,7% доли агрономически-ценных агрегатов на фоне глубоких обработок почвы. Наоборот, снижение положительного влияния нулевой обработки на 9% по сравнению с равнинными условиями компенсировалось применением и компоста (до 61,7%), и особенно сидерата (до 64,7%).

Изменчивость структуры почвы в основном связано с преобразованием макроструктуры в глыбистую фракцию: доля микроструктуры незначительно и составляла как в период посева, так и в период уборки 1,3-2,7%. Это характерно для всех изучаемых слоев почвы.

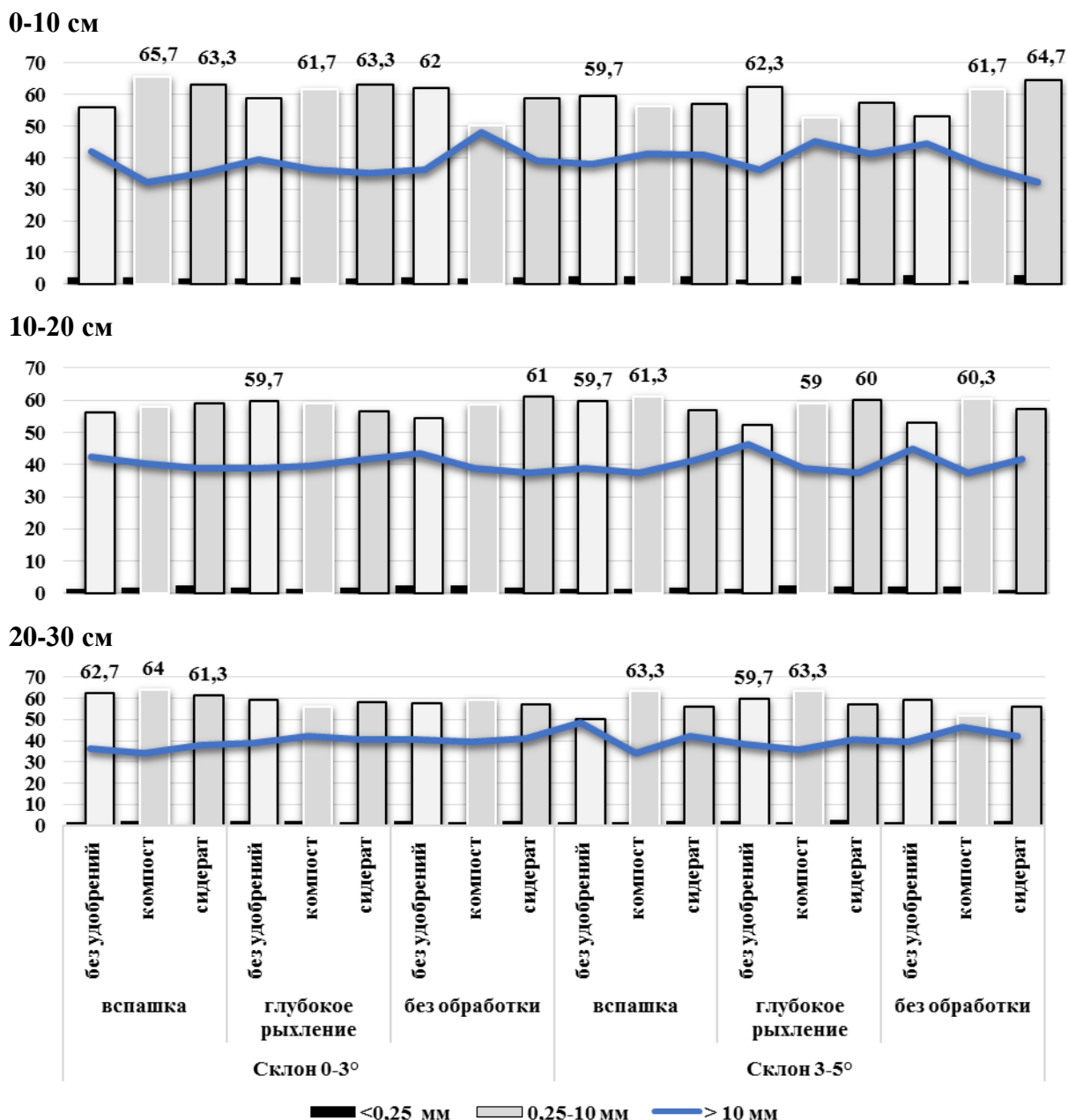


Рис. 1. Структурно-агрегатный состав по слоям почвы при посеве, в % к общей массе воздушно-сухой почвы (2016-2018 гг.)

Для слоя 10-20 см достоверных отличий между факторами не установлено, тем не менее, характер их влияния несколько менялся. Особенно это касалось глубокой безотвальной обработки почвы, при которой применение органических удобрений в отличие от верхнего слоя на равнинном участке привело к ухудшению структуры, тогда как на склоне крутизной 3-5°, наоборот, к ее улучшению. Внесение компоста благоприятно повлияло на структуру почвы и в нижних ее слоях, и на равнине, и на склоне, особенно в слое 20-30 см под вспашку (прирост составил 13% при  $НСР_{05}=6,7\%$ ).

При применении No-till органические удобрения способствовали повышению структурности почвы в слое 10-20 см независимо от рельефных условий; в слое 20-30 см в равнинных условиях их влияние не установлено, в склоновом рельефе оно даже носит негативных характер.

К уборке подсолнечника происходит общее снижение доли макроструктуры в среднем на 10,2%, приводя практически к равнозначному участию ее и глыбистой фракции (рис.2).



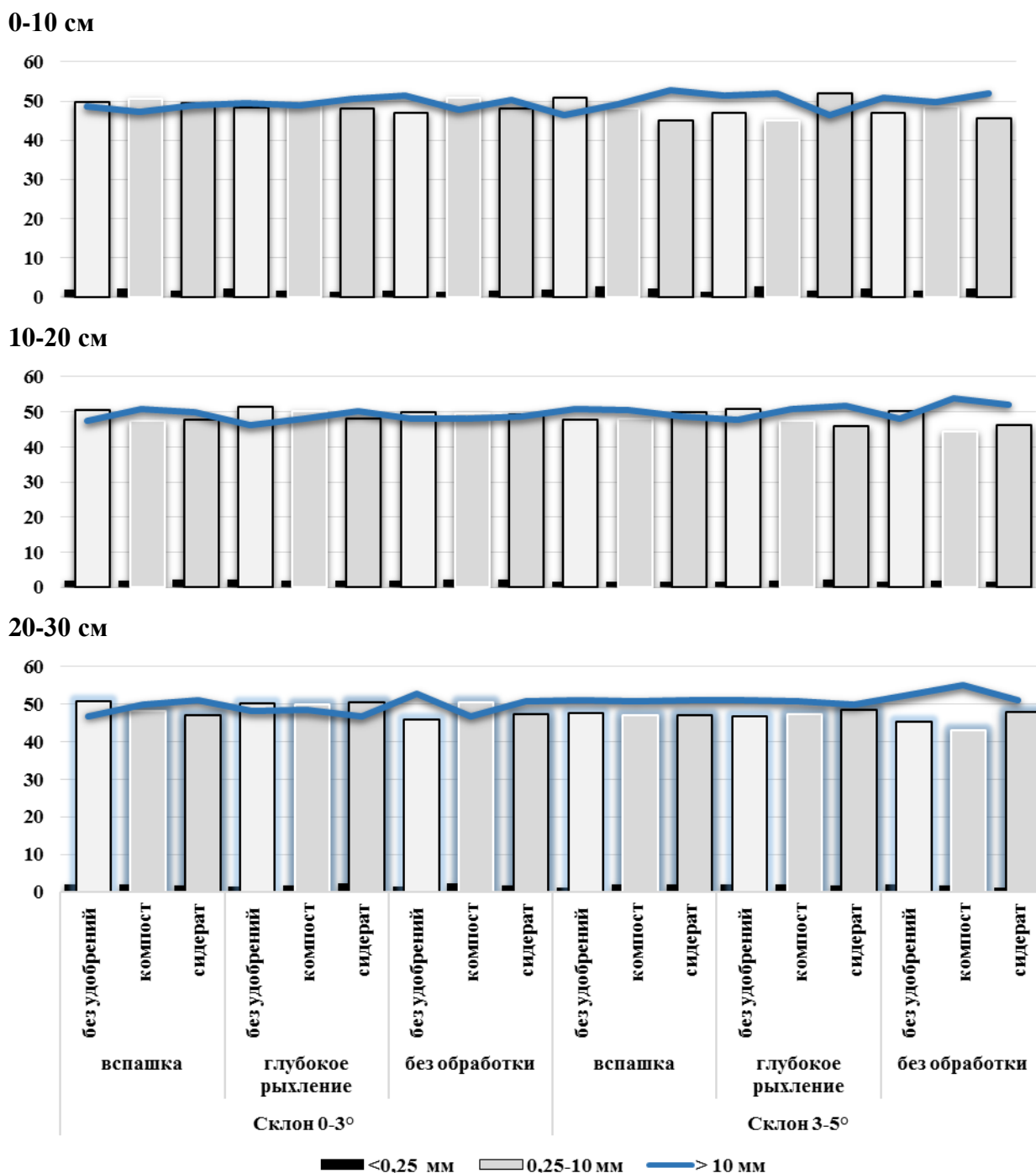


Рис. 2. Структурно-агрегатный состав по слоям почвы при уборке, в % к общей массе воздушно-сухой почвы (2016-2018 гг.)

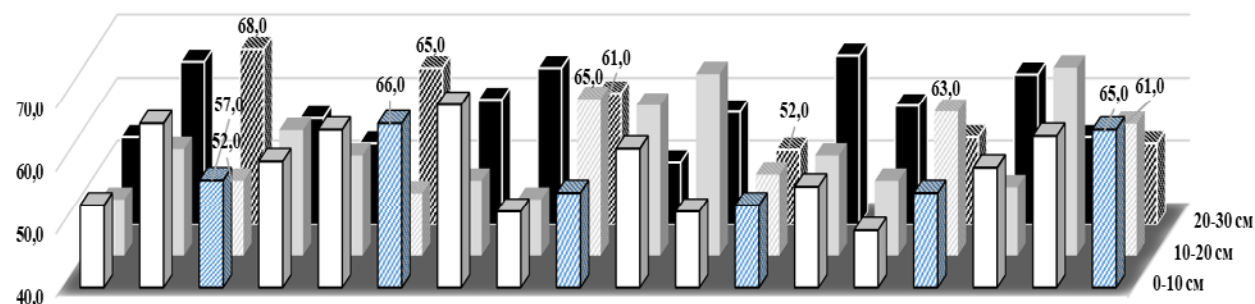
Положительное влияние компоста на структуру почвы в слое 0-10 см сохранялось на равнинном участке, на склоновом участке – только по нулевой обработке. В нижерасположенных слоях почвы происходит выравнивание влияния и способов основной обработки почвы и применения органических удобрений, что свидетельствует о завершении почвенных процессов, зависящих от этих факторов.

Влияние сидерата достоверно можно оценить только по результатам 2018 года, когда был получен полноценный урожай его зеленой массы.

Применение зеленого удобрения под вспашку привело к повышению содержания агрономически-ценной фракции по всей глубине пахотного слоя равнинного участка, особенно

в слое 20-30 см (68%), что обусловлено заделкой большей части его массы в этот слой (рис. 3, А). На склоновом участке положительного влияния заделки сидерата под вспашку не установлено. Применение зеленого удобрения под глубокую безотвальную обработку почвы имело сходные тенденции: положительный эффект отмечался только в условиях равнинного рельефа в слоях 0-10 см (66%) и 20-30 см (65%), тогда как в условиях склона 3-5° только в слое 10-20 см (63%).

А



Б

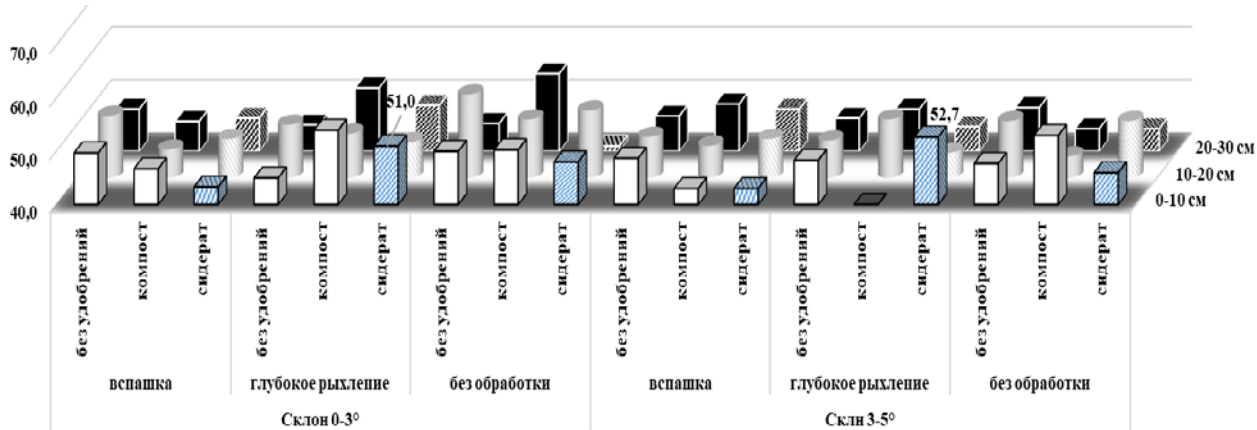


Рис. 3. Структурно-агрегатный состав почвы: А – при посеве, Б – при уборке, в % к общей массе воздушно-сухой почвы (2018 г.)

По нулевой обработке на равнинном участке содержание макроструктуры значительно возрастает только лишь в слое 10-20 см (65%), на склоновом участке положительный эффект отмечается и в верхнем слое (61-65%).

К уборке культуры положительное влияние сидерата сохраняется только при применении глубокого рыхления – (+4-6%) в слое 0-10 см (рис. 3, Б).

Описанные выше особенности вариабельности агрегатного состояния почвы в зависимости от изучаемых факторов подтверждаются расчетом коэффициента структурности почвы. Отличная структура почвы ( $K > 1,5$ ) верхнего десятисантиметрового слоя почвы в период посева на равнинном участке формировалась при применении органических удобрений под основную обработку почвы, независимо какой способ, отвальный или безотвальный использовался, а на склоновом участке при их применении, в большей степени сидерата, по No-till (рис. 4, А).

Следует отметить, что для слоя 0-10 см между равнинными ( $K=1,6$ ) и склоновыми условиями ( $K=1,4$ ) выявлены достоверные отличия ( $НСР_{05}=0,19$ ).

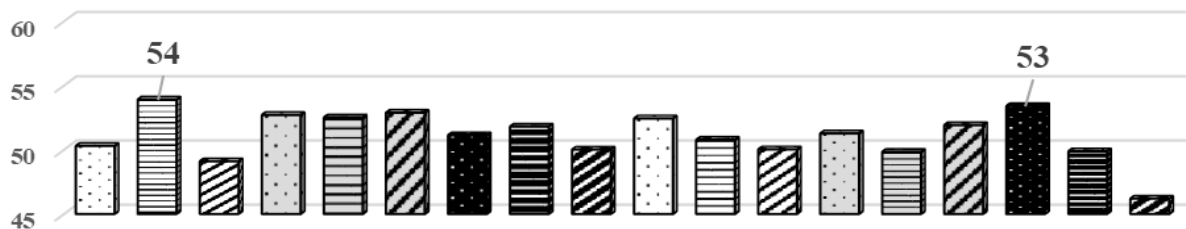
В слое 10-20 см эффективны сочетания «компост под глубокое рыхление» и «сидерат по No-till», но только в равнинном рельефе.

В нижнем 20-30 см слое на равнине преимущество имеет вспашка, тогда как на склоновом участке она эффективна только в сочетании с компостом; это справедливо и в отношении глубокого рыхления.



нологии, с одной стороны, и микроклиматических показателей, изменяющихся как по годам исследований, так и в зависимости от ландшафтных условий. Более того, уменьшение величины коэффициента вариации свидетельствует, что разнонаправленное влияние изучаемых факторов в период посева к уборке имело сходные тенденции.

А



Б

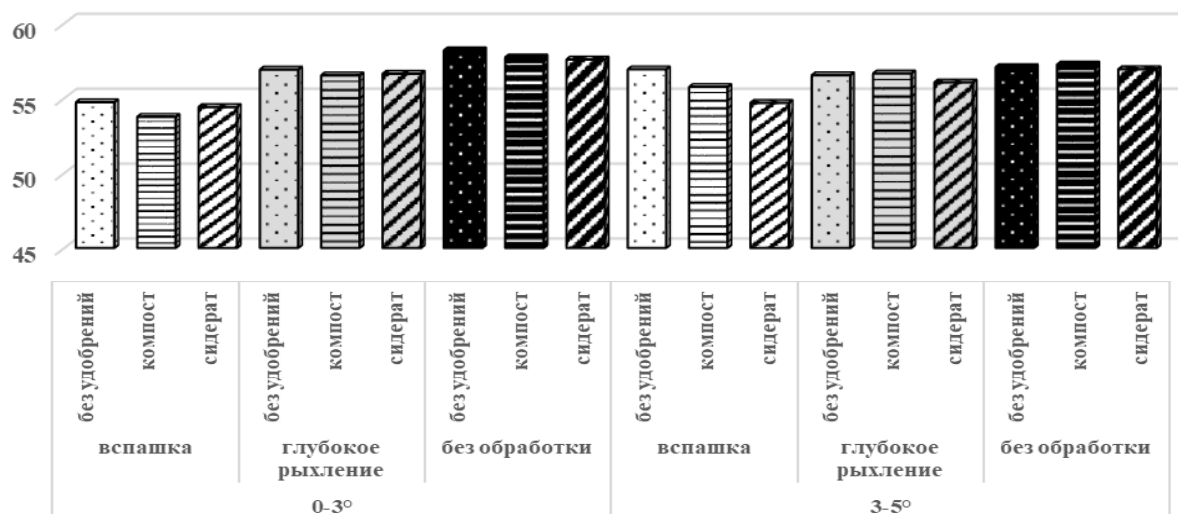


Рис. 5. Водопрочность структурных агрегатов в слое 0-30 см: А – при посеве, Б – при уборке (2016-2018 гг.), %

В период посева водопрочность почвы в слое 0-10 см на равнинном участке по сравнению со склоновым достоверно выше на 5,4% ( $НСР_{05}=3,7\%$ ). В этот период при общем удовлетворительном уровне водопрочности структурных агрегатов внесение компоста под вспашку, а также применение глубокой безотвальной обработки почвы и No-till без органических удобрений на равнинном участке способствовало повышению водопрочности до хорошего уровня – 56-59% (рис. 6). Выделившиеся «хорошие» варианты очевидно связаны с характером обработки почвы и ее влиянием в том числе и на особенности трансформации органических удобрений. Можно предположить, что положительное влияние на водопрочность сочетания вспашки с компостом на участке крутизной 0-3° явилось результатом более интенсивных процессов гумификации, причем по всей глубине пахотного слоя.

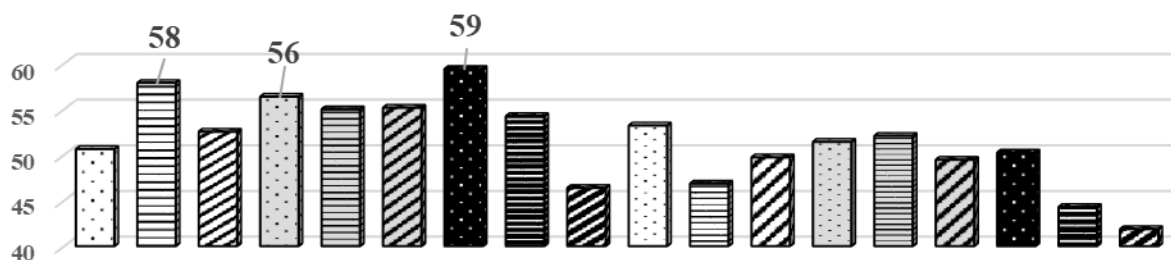
Применение органических удобрений под глубокое рыхление привело лишь к незначительному повышению водопрочности в слое 10-20 см под влиянием компоста и в слое 20-30 см под влиянием сидерата.

При применении No-till резко отрицательное влияние удобрений на водопрочность верхнего слоя почвы меняется на положительное в нижележащих слоях и возрастает с увеличением глубины. На участке с крутизной 3-5° даже с увеличением глубины положительный эффект от применения органических удобрений по нулевой обработке не наступает.

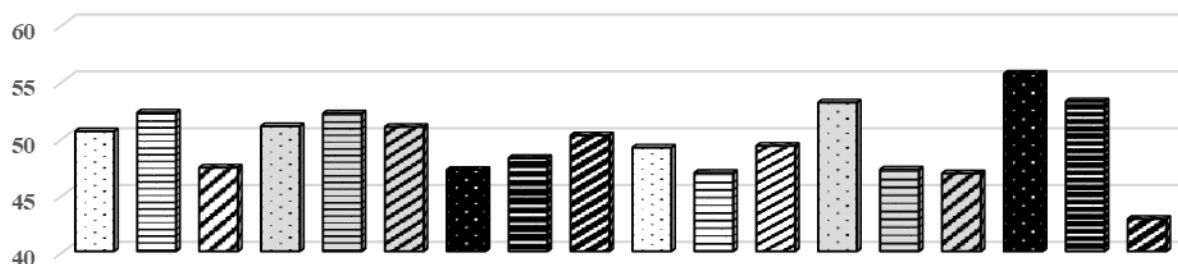
Более того, на склоне 3-5° не наблюдалось установленное положительное влияние компоста, вносимого под вспашку на равнинном участке ни в слое 0-10 см, ни в слое 10-20

см. Положительный эффект проявлялся лишь в склоновом рельефе в слое 20-30 см. Влияние сидерата под глубокое рыхление в слое 20-30 см давало даже более значительный эффект.

**0-10 см**



**10-20 см**



**20-30 см**

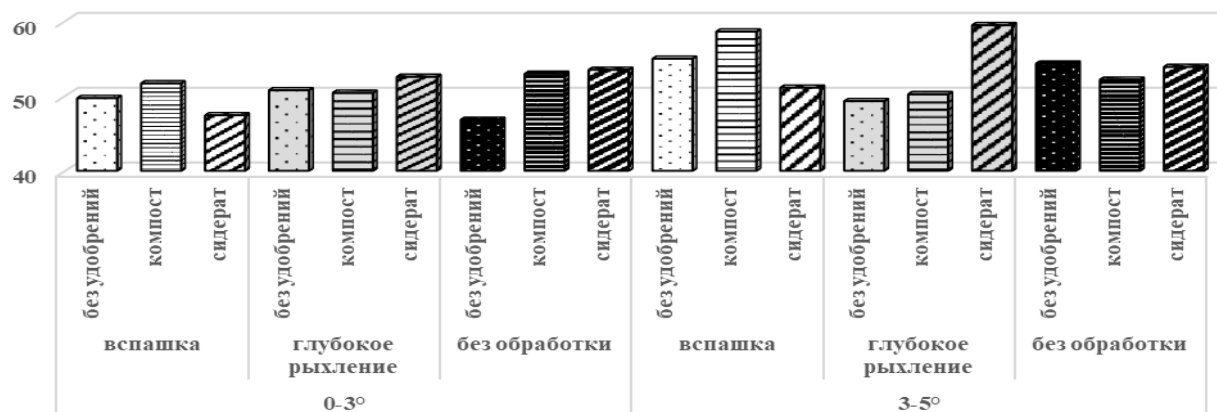


Рис. 6. Водопрочность структурных агрегатов при посеве, % (2016-2018 гг.)

Следует отметить, что в отличие от верхнего слоя, водопрочность которого достоверно выше на равнинном участке, в нижнем слое 20-30 см уровень водопрочности структурных агрегатов существенно выше ( $НСР_{05}=2,8\%$ ) на склоновом участке (53,8%), чем в равнинном рельефе (50,6%).

Низкая эффективность сидерата могла быть обусловлена плохим его развитием в первые два года исследований. Поэтому для оценки его воздействия отдельно проанализированы данные 2018 года (рис. 7).

Установлено, что и при получении полноценного урожая зеленой массы сидерат не оказал положительного влияния на водопрочность структурных агрегатов. Очевидно в следствии того, что трансформация свежего органического вещества имеет качественно иной характер по сравнению с преобразованием компоста и пожнивно-корневых остатков. Показано, что в случае сидерации процессы минерализации преобладают над гумификацией [2, 5] и, значит, не создается благоприятных условий для формирования водопрочных агрегатов. Эффективность сидерата по нулевой обработке на равнинном участке возможно обусловлена положительным влиянием его корневой системой.

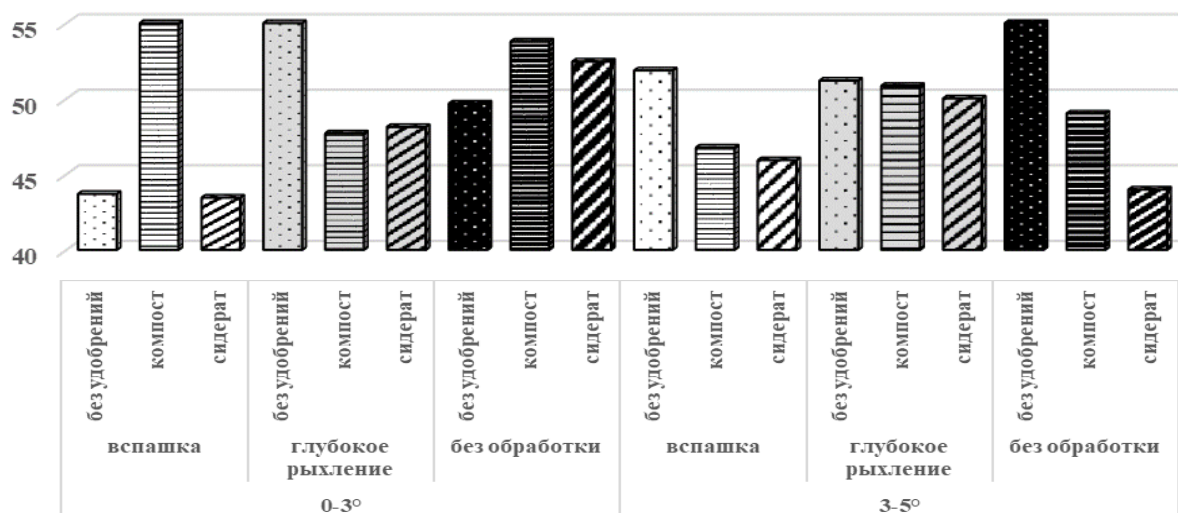


Рис. 7. Водопрочность структурных агрегатов при посеве в слое 0-30 см (2018 г.), %

Как уже отмечалось, к уборке культуры средний уровень водопрочности почвы увеличился до «хорошего». В зависимости от сочетания факторов в слое 0-30 см отмечался его рост на 4-11% с тенденцией увеличения при переходе от равнинного рельефа к склоновому, от вспашки – к No-till (рис. 5). Различия между этими способами основной обработки, которые составили в среднем 2,5%, были достоверны на 5% уровне значимости ( $HCp_{05}=1,7\%$ ). Следует отметить, что только по одному варианту не произошло увеличения водопрочности: внесение компоста под вспашку, на котором в период посева была наибольшая величина показателя – 54%. К уборке она практически не изменилась – 53%.

В 2018 году, «удачном» в отношении сидерата, применение зеленого удобрения имело положительный эффект при проведении основной обработки почвы (+1-2%), кроме вспашки на склоне 3-5° (рис. 8).

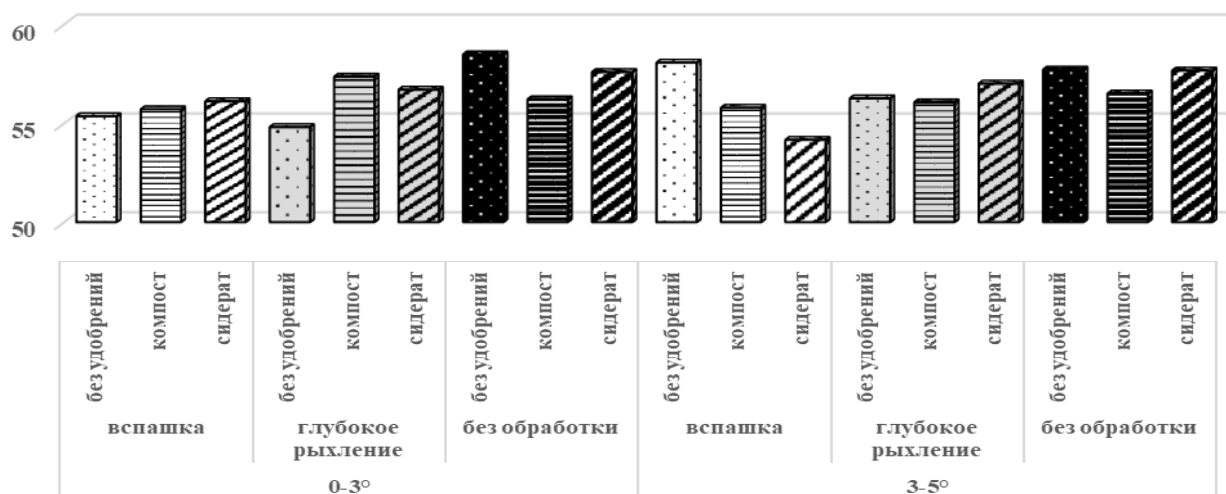


Рис. 8. Водопрочность структурных агрегатов при уборке в слое 0-30 см (2018 г.), %

Можно предположить, что установленная динамика водопрочности структурных агрегатов обусловлена неодинаковой скоростью трансформации органического вещества различного происхождения при применении основной обработки почвы и в ее отсутствие. Более того, имел значение также и какой способ, отвальный или безотвальный, использовался: при глубоком рыхлении водопрочность почвы в среднем на 1,5% больше.

Учитывая, что наиболее опасный в эрозионном отношении весенний период – период снеготаяния, поскольку сток в этот период составляет 70% от годового стока [4], для повышения водопрочности структурных агрегатов, а значит, и противоэрозионной устойчивости почвы равнинного участка следует применять глубокое рыхление либо вспашку в сочетании

с компостом, в склоновом рельефе – предпочтение отдавать нулевой обработке. Применение No-till также обусловлено повышением водопрочности почвы по этому агрофону в летне-осенний период, эрозионная опасность которого связана с ливневыми осадками. Некоторое положительное влияние сидерата к моменту уборки подсолнечника выявляется, если он заделывается в почву при проведении основной ее обработки, на склоне 3-5° – только под глубокое рыхление.

**Выводы.** В результате исследований установлено, что в наиболее эрозионно-опасный в ЦЧЗ весенний период участки разной крутизны не имели существенных различий по доли агрономически-ценных агрегатов почвы, но они определяли направленность влияния способов основной обработки почвы и органических удобрений. Отличная структура ( $K=1,7-1,9$ ) верхнего десятисантиметрового слоя почвы, наиболее важного в эрозионном отношении, в период посева формировалась на равнинном участке при применении органических удобрений под основную обработку почвы, на склоновом участке при их применении, в большей степени сидерата, по No-till ( $K=1,6-1,8$ ). К уборке коэффициент структурности снизился ( $K=0,8-1,1$ ), характеризуя агрегатное состояние почвы как хорошее.

В период посева водопрочность почвы была достоверно выше на равнинном участке в слое 0-10 см, на склоновом – в слое 20-30 см. Очевиден положительный эффект в этот период от внесения компоста под вспашку в равнинных условиях (54%) и применения нулевой обработки на склоне 3-5° (53%). К уборке возрастало влияние энергосберегающих способов обработки, особенно No-till, по которой водопрочность независимо от условий рельефа составляла в среднем 57,5%, что существенно выше (на 2,5%) по сравнению со вспашкой. Глубокое рыхление по влиянию на водопрочность почвы занимает промежуточное положение в полном соответствии с его интенсивностью. При обоснованном применении сидерата, в случае сформированной полноценной зеленой массы для достижения наибольшего эффекта заделывать его следует путем проведения глубокой безотвальной обработкой почвы.

Выявленные наиболее оптимальные сочетания органических удобрений и способов основной обработки почвы, способствующих повышению противоэрозионной устойчивости почв склонов (3-5°) северной экспозиции, дают основание для продолжения исследований в отношении других важнейших аспектов возделывания подсолнечника с целью возможного расширения его посевов за счет таких земель при обязательном условии полного освоения ландшафтных систем земледелия.

#### Библиография

1. Иванов, В.Д. Эрозия и охрана почв Центрального Черноземья России: Учебное пособие / В.Д. Иванов, Е.В. Кузнецова. - Воронеж: ВГАУ, 2003. – 360 с.
2. Коржов, С.И. Сидераты и их роль в воспроизводстве плодородия черноземов / С.И. Коржов, В.В. Верзилин, Н.Н. Королев. – Воронеж: ФГОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2011. – 98 с.
3. Котлярова, О.Г. Влияние основной обработки на агрофизические свойства чернозема типичного в посевах гороха / Котлярова О.Г., Котлярова Е.Г., Лубенцов С.М. // Земледелие - 2012. - № 4.- С. 27-28.
4. Котлярова, О.Г. Ландшафтная система земледелия Центрально-Черноземной зоны / О.Г. Котлярова. – Белгород, 1995. – 293 с.
5. Морковкин, Г.Г. Интенсивность минерализации сидератов и изменение содержания гумуса в черноземах выщелоченных умеренно засушливой и колючей степи Алтайского края / Г.Г. Морковки, И.В. Демина // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 1 (51). – С. 12-16.
6. Семендяева, Н.В. Водопрочность структуры и содержание гумуса в черноземах выщелоченных Новосибирского Приобья в различных севооборотах / Н.В. Семендяева, Л.А. Ковешникова, Т.Н. Крупская // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 6 (68), – С. 31-37.
7. Сорокина, М.В. Структурно-агрегатный состав и водопрочность почвы в зависимости от интенсивности обработки / М.В. Сорокина // Вестник сельского развития и социальной политики. – 2018. – №1(17). – С. 20-22.
8. Титовская, Л.С. Водопрочность почвенных агрегатов в зависимости от способов основной обработки под подсолнечник / Л.С. Титовская // Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия. Сборник докладов международной научно-практической конференции Курского отделения МОО «Общества почвоведов имени В.В. Докучаева». – Курск: ФГБНУ ВНИИЗиЗПЭ, 2018. – С. 457-459.
9. Титовская, Л.С. Факторы повышения урожайности и экономической эффективности возделывания подсолнечника / Л.С. Титовская, А.И. Титовская, Е.Г. Котлярова // Нива Поволжья. – 2018. - № 3 (48). – С. 67-73.

10. Экологические факторы и свойства почв склонов ЦЧР: коллективная монография: в 2 ч. Ч.1 / науч. ред. Е.П. Проценко. – Курск: Курск. гос. ун-т, 2009. - 145 с.

### References

1. Ivanov, V.D. Eroziya i okhrana pochv Tsentral'nogo Chernozem'ya Rossii: Uchebnoye posobiye [Erosion and soil protection of the Central Chernozem region of Russia: Study Guide] / V.D. Ivanov, E.V. Kuznetsova. - Voronezh: VSAU, 2003. - 360 p.
2. Korzhov, S.I. Sideraty i ikh rol' v vosproizvodstve plodorodiya chernozemov [Siderates and their role in reproduction of black soil fertility] / S.I. Korzhov, V.V. Verzilin, N.N. Korolev. - Voronezh: Voronezh State Agrarian University, 2011. - 98 p.
3. Kotlyarova, O.G. Vliyaniye osnovnoy obrabotki na agrofizicheskiye svoystva chernozema tipichnogo v posevakh gorokha [The influence of the main treatment on the agrophysical properties of typical chernozem in pea crops] / Kotlyarova OG, Kotlyarova EG, Lubentsov S.M. // Agriculture - 2012. - № 4. - P. 27-28.
4. Kotlyarova, O.G. Landshaftnaya sistema zemledeliya Tsentral'no-Chernozemnoy zony [Landscape system of agriculture of the Central Black Earth Zone] / OG Kotlyarova. - Belgorod, 1995. - 293 p.
5. Morkovkin, G.G. Intensivnost' mineralizatsii i izmeneniye soderzhaniya gumusa v chernozemakh vyshchelochennykh umerenno zasushlivoy i kolochnoy stepey Altayskogo kraya [The intensity of mineralization of siderates and the change in the content of humus in leached chernozems of the moderately arid and colonic steppe of the Altai Territory] / GG Carrots, I.V. Demina // Bulletin of the Altai State Agrarian University. - 2009. - № 1 (51). - pp. 12-16.
6. Semendiyayev, N.V. Vodoprochnost' struktury i soderzhaniya gumusa v chernozemakh vyshchelochennykh Novosibirskogo Priob'ya v razlichnykh sevooborotakh [Water resistance of the structure and content of humus in leached chernozems of the Novosibirsk Priobye in various crop rotations] / N.V. Semendiyayeva, L.A. Kovesnikova, T.N. Krupskaya // Bulletin of the Altai State Agrarian University. - 2010. - № 6 (68), - P. 31-37.
7. Sorokina, M.V. Strukturno-agregatnyy sostav i vodoprochnost' pochvy v zavisimosti ot intensivnosti obrabotki [Structural-aggregate composition and water resistance of soil depending on the intensity of treatment] / M.V. Sorokina // Bulletin of rural development and social policy. - 2018. - №1 (17). - pp. 20-22.
8. Titovskaya, L.S. Vodoprochnost' pochvennykh agregatov v zavisimosti ot sposobov osnovnoy obrabotki pod podsolnechnik [Durability of soil aggregates, depending on the main processing methods under sunflower] / L.S. Titovskaya // Actual problems of soil science, ecology and agriculture. Collection of reports of the international scientific-practical conference of the Kursk branch of the IPO "Society of soil scientists named after V.V. Dokuchaeva. - Kursk: FGBNU VNIIZIZPE, 2018. - p. 457-459.
9. Titovskaya, L.S. Faktory povysheniya urozhaynosti i ekonomicheskoy effektivnosti vozdeliyvaniya podsolnechnika [Factors increasing the yield and economic efficiency of sunflower cultivation] / L.S. Titovskaya, A.I. Titovskaya, E.G. Kotlyarova // Niva Volga. - 2018. - № 3 (48). - p. 67-73.
10. Ekologicheskiye faktory i svoystva pochv sklonov TSCHR: kollektivnaya monografiya: v 2 ch. ch.1 [Ecological factors and properties of soil on the slopes of the Central Chernozem Region: a collective monograph: in 2 hours. Part 1 / scientific. ed. E.P. Protsenko. - Kursk: Kursk. state University, 2009. - 145 p.

### Сведения об авторах

Рязанов Михаил Николаевич, аспирант кафедры земледелия, агрохимии и экологии, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д.1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел. +7-904-090-17-58, e-mail: [ryazanov1993@bk.ru](mailto:ryazanov1993@bk.ru)

Котлярова Екатерина Геннадиевна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры земледелия, агрохимии и экологии, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д.1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел. +7-906-567-44-59, e-mail: [kotlyarovaeg@mail.ru](mailto:kotlyarovaeg@mail.ru)

### Information about authors

Ryazanov Mikhail Nikolaevich, graduate student of the Department of Agriculture, Agrochemistry and Ecology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V.Gorin», ul.Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, tel.+7-904-090-17-58, e-mail: [ryazanov1993@bk.ru](mailto:ryazanov1993@bk.ru)

Kotlyarova Ekaterina Gennadiyevna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agriculture, Agrochemistry and Ecology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V.Gorin», ul.Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, , tel.+ 7-906-567-44-59, e-mail: [kotlyarovaeg@mail.ru](mailto:kotlyarovaeg@mail.ru)



## Нашим авторам

В журнале публикуются результаты открытых научных исследований в области сельскохозяйственной науки и техники, материалы о результатах инновационных разработок и проектов предприятий и фирм различных форм собственности, изобретениях; материалы конференций, выставок, конкурсов.

Содержание статей рецензируется (в соответствии с профилем журнала) на предмет актуальности темы, четкости и логичности изложения, научно-практической значимости рассматриваемой проблемы и новизны предлагаемых авторских решений.

Общий объем публикации определяется количеством печатных знаков с пробелами. Рекомендуемый диапазон значений составляет от 12 тыс. до 40 тыс. печатных знаков с пробелами (0,3 – 1,0 печатного листа). Материалы, объем которых превышает 40 тыс. знаков, могут быть также приняты к публикации после предварительного согласования с редакцией. При невозможности размещения таких материалов в рамках одной статьи, они могут публиковаться (с согласия автора) по частям, в каждом последующем (очередном) номере журнала.

Статьи должны быть оформлены на листах формата А4, шрифт – Times New Roman, кеглем (размером) – 12 пт, для оформления названий таблиц, рисунков, диаграмм, структурных схем и других иллюстраций: Times New Roman, обычный, кегль 10 пт; для примечаний и сносок: Times New Roman, обычный, кегль 10 пт. Для оформления библиографии, сведений об авторах, аннотаций и ключевых слов используется кегль 10 пт, межстрочный интервал – 1,0. Поля сверху и снизу, справа и слева – 2 см, абзац – 1,25 см (не задавать пробелами), формат – книжный. Если статья была или будет отправлена в другое издание необходимо сообщить об этом редакции.

При подготовке материалов не допускается использовать средства автоматизации документов (колонтитулы, автоматически заполняемые формы и поля, даты), которые могут повлиять на изменение форматов данных и исходных значений.

### Оформление статьи

Слева в верхнем углу с абзаца печатается УДК статьи (проверяйте корректность выбранного УДК на сайте Всероссийского института научной и технической информации – ВИНТИ либо в сотрудничестве с библиографом учредителя журнала по тел. +7 4722 39-27-05).

Ниже, через пробел, слева с абзаца – инициалы и фамилии автора(ов), полужирным курсивом. Далее, через пробел, по-центру строки – название статьи (должно отражать основную идею выполненного исследования, быть по возможности кратким) жирным шрифтом заглавными буквами.

Затем с красной строки приводится аннотация, оформленная в соответствии с требованиями, предъявляемыми к рефератам и аннотациям ГОСТ 7.9-95, ГОСТ 7.5-98, ГОСТ Р 7.0.4-2006, объемом 200 – 250 слов (не более 2000 знаков), с нового абзаца – ключевые слова.

Далее необходимо разместить на английском языке: название статьи, аннотацию (Abstract), ключевые слова (Keywords).

После этого через пробел – текст статьи, библиография (библиографическое описание приводится в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка») и ее вариант на английском языке (References). При составлении описаний на английском языке рекомендуется использовать международный стандарт Harvard, с учетом того, что фамилии и инициалы авторов русскоязычных источников, название статьи транслитерируются (согласно правилам Системы Библиотеки Конгресса США – LC), затем в квадратных скобках приводится перевод названия публикации, далее – ее выходные данные (на английском языке либо в транслитерации, без сокращений и аббревиатур).

Далее размещаются сведения об авторах, которые включают фамилию, имя и отчество, ученую степень, ученое звание (при наличии), занимаемую должность или профессию, место работы (учебы) – полное наименование учреждения или организации, включая структурное подразделение (кафедра, факультет, отдел, управление, департамент и пр.), и его полный почтовый адрес, контактную информацию – телефон и(или) адрес электронной почты, а также другие данные по усмотрению автора, которые будут использованы для размещения в статье журнала и на информационном сайте издательства. В коллективных работах (статьях, обзорах, исследованиях) сведения авторов приводятся в принятой ими последовательности. Затем следует англоязычный вариант информации об авторах (Information about authors).

Основной текст публикуемого материала (статьи) приводится на русском или английском языках. Текст публикуемой работы должен содержать введение, основную часть и заключение. Объем каждой из частей определяется автором. Вводная часть служит для обоснования автором цели выбранной темы, актуальности. Затем необходимо подробно изложить суть проблемы, провести анализ, обосновать выбранное решение, отразить, а также привести достаточные основания и доказательства, подтверждающие их достоверность. В заключительной части автор формулирует обобщенные выводы, основные рекомендации или предложения; прогнозы и(или) перспективы, возможности и области их использования. Для выделения наиболее важных понятий, выводов допускается полужирный шрифт и курсив. Не допускается применять подчеркивание основного текста, ссылок и примечаний, а также выделение его (окраска, затенение, подсветка) цветным маркером.

Авторский текст может сопровождаться монохромными рисунками, таблицами, схемами, фотографиями, графиками, диаграммами и другими наглядными объектами. В этом случае в тексте приводятся соответствующие ссылки на иллюстрации. Подписи к рисункам и заголовки таблиц обязательны.

Иллюстрации в виде схем, диаграмм, графиков, фотографий и иных (кроме таблиц) изображений считаются рисунками. Подпись к рисунку располагается под ним посередине строки. Например: «Рис. 1. Получение гибридных клеток».

При подготовке таблиц разрешается только книжная ориентация таблицы. Подпись таблицы располагается над ней, по центру. Например: «Таблица 3. Стандарт породы по живой массе племенных телок».

Иллюстрации, используемые в тексте, дополнительно предоставляются в редакцию в виде отдельных файлов хорошего качества, формата TIFF (с разрешением 300 dpi) или EPS, все шрифты должны быть переведены в кривые. Исключения составляют графики, схемы и диаграммы, выполненные непосредственно в программе Word, в которой предоставляется текстовый файл, или Excel. Их дополнительно предоставлять в виде отдельных файлов не требуется.

Математические формулы следует набирать в формульном редакторе Microsoft Equation или Microsoft MathType. Формулы, набранные в других редакторах, а также выполненные в виде рисунков, не принимаются. Все обозначения величин в формулах и таблицах должны быть раскрыты в тексте.

При цитировании или использовании каких-либо положений из других работ даются ссылки на автора и источник, из которого заимствуется материал в виде отсылок, заключенных в квадратные скобки [1]. Все ссылки должны быть сведены автором в общий список (библиография), оформленный в виде затекстовых библиографических ссылок в конце статьи, где приводится полный перечень использованных источников. Использовать в статьях внутритекстовые и подстрочные библиографические ссылки не допускается.

### **Порядок представления материалов**

Авторы предоставляют в редакцию (ответственным секретарям соответствующих тематических разделов) следующие материалы:

- статью в печатном виде, без рукописных вставок, на одной стороне стандартного листа, подписанную на последнем листе всеми авторами,
- статью в электронном виде, каждая статья должна быть в отдельном файле, в имени файла указывается фамилия первого автора,
- сведения об авторах (в печатном и электронном виде) – анкету автора,
- рецензию на статью, подписанную (доктором наук) и заверенную печатью,
- аспиранты предоставляют справку, подтверждающую место учебы.

При условии выполнения формальных требований к материалам на публикацию предоставленная автором рукопись статьи рецензируется согласно установленного порядка рецензирования рукописей, поступающих в редакцию журнала. Решение о целесообразности публикации после рецензирования принимается главным редактором (заместителями главного редактора), а при необходимости – редколлегией в целом. Автору не принятой к публикации рукописи редколлегия направляет мотивированный отказ.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Адреса электронной почты ответственных секретарей тематических разделов приведены ниже.

#### **Тематический раздел «Инновационная экономика, управление предприятиями АПК и социальное развитие села»:**

Наседкина Татьяна Ивановна, д. э. н., профессор – ответственный редактор,  
Груздова Людмила Николаевна, к. э. н., доцент – ответственный секретарь,  
e-mail: [konf.econom@yandex.ru](mailto:konf.econom@yandex.ru)  
тел. +7 919 229-09-96.

#### **Тематический раздел «Инновационные технологии в агрономии»:**

Лицуков Сергей Дмитриевич, д. с.-х. н., профессор – ответственный редактор,  
Муравьев Александр Александрович, к. с.-х. н., доцент – ответственный секретарь,  
e-mail: [Aleksandr16\\_1988@mail.ru](mailto:Aleksandr16_1988@mail.ru)  
тел. +7 951 142-75-77.

#### **Тематический раздел «Агроинженерия и энергоэффективность»:**

Пастухов Александр Геннадиевич, д. т. н., профессор – ответственный редактор,  
Колесников Александр Станиславович, к. т. н., доцент – ответственный секретарь,  
e-mail: [a.c.kolesnikov@mail.ru](mailto:a.c.kolesnikov@mail.ru)  
тел. +7 908 783-88-92.

## Пример оформления статьи

УДК 633.11(470.325)

**В.В. Смирнова, Н.А. Сидельникова, И.В. Кулишова**

### ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

**Аннотация.** Текст аннотации Текст аннотации Текст аннотации Текст аннотации Текст аннотации Текст аннотации Текст аннотации Текст аннотации Текст аннотации (не менее 250 слов, 2000 знаков).

**Ключевые слова:** ключевые слова, ключевые слова, ключевые слова, ключевые слова, ключевые слова, ключевые слова (не менее 5)

#### FORMATION OF TECHNOLOGICAL QUALITIES OF GRAIN OF THE WINTER WHEAT IN THE BELGOROD REGION

**Abstract.** Text annotation Text annotation Text annotation Text annotation Text annotation Text annotation Text annotation Text annotation Text annotation Text annotation.

**Keywords:** keywords, keywords, keywords, keywords, keywords.

Далее излагается текст научной статьи.....  
(текст).....  
(текст).....  
(текст).....

**Таблица 1 - Урожайность зерна сортов озимой пшеницы, т/га ( 2016-2017 г.г.)**


#### Библиография

Приводится список использованных литературных и других источников на русском

#### References

и на английском языках.

#### Сведения об авторах

Смирнова Виктория Викторовна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул.Вавилова, д.1, п.Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел.+74722 39-14-26, e-mail: [svic.belgorod@mail.ru](mailto:svic.belgorod@mail.ru)

Сидельникова Наталья Анатольевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул.Вавилова, д.1, п.Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел.+74722 39-14-26

Кулишова Ирина Владимировна, аспирант второго года обучения кафедры земледелия, агрохимии и экологии, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д.1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503.

#### Information about authors

Smirnova Victoria Viktorovna, candidate of agricultural sciences, associate professor of the production technology and processing of agricultural production, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V.Gorin» , ul.Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, , tel. +74722 39-14-26, e-mail: [svic.belgorod@mail.ru](mailto:svic.belgorod@mail.ru)

Sidelnikova Natalya Anatolyevna, candidate of agricultural sciences, associate professor, head of the department of the production technology and processing of agricultural production, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V.Gorin» , ul.Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, , tel. +74722 39-14-26

Kulishova Irina Vladimirovna, graduate student of the second year of training of department of agriculture, agrochemistry and ecology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V.Gorin» , ul.Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia.

## **Our reviewers**

Results of open scientific researches in the field of agricultural science and equipment, materials about results of innovative development and projects of the enterprises and firms of various forms of ownership, inventions, materials of conferences, exhibitions and competitions are published in the Journal.

The contents of articles are reviewed (according to Journal's content) for topic relevance, clearness and statement logicity, the scientific and practical importance of the considered problem and novelty of the proposed author's solutions.

The total amount of the publication is decided by the amount of typographical units with interspaces. The recommended range of values makes from 12 thousand to 40 thousand typographical units with interspaces (0,3 – 1,0 printed pages). Materials which volume exceeds 40 thousand typographical units may be also accepted to the publication after preliminary agreement with editorial body. In case of impossibility of such materials replacement within one article, they may be published (with the author consent) in parts, in each subsequent (next) issue of the Journal.

Articles must be issued on sheets A4, printed type must be Times New Roman, size must be 12 pt; for registration of tables titles, drawings, charts, block diagrams and other illustrations - Times New Roman, usual, size is 10 pt; for notes and footnotes - Times New Roman, usual, size 10 pt. For registration of the bibliography, data on authors, summaries and keywords the size is 10 pt, a line spacing is 1,0. Edges above and below, right and left are 2 cm, the paragraph is 1,00 cm (without interspaces), a format is a book. If article was or will be sent to another edition it is necessary to report to our editions.

During materials preparation you may not to use an automation equipment of documents (headlines, automatically filled forms and fields, dates) which can influence change of formats of data and reference values.

## **Article registration**

In the left top corner from the paragraph article UDC is printed (check a correctness of the chosen UDC on the site of the All-Russian Institute of Scientific and Technical Information or in cooperation with the bibliographer of the founder of Journal by tel. +7 4722 39-27-05).

Below, after interspaces, at the left from the paragraph are full name of the author(s), semi boldface italics. Further, after interspaces, in the center of a line is article title (the name of article has to reflect the main idea of the executed research and should be as short as possible) and it prints with capital letters.

Then with a new paragraph one places a summary (issued according to requirements imposed to papers and summaries of GOST 7.9-95, GOST 7.5-98, GOST P 7.0.4-2006 of 200 – 250 words (no more than 2000 signs), from the new paragraph one provides keywords.

Further it is necessary to place in English: article title, summary (Abstract), keywords.

Next after interspaces is the text of article, the bibliography (the bibliographic description is provided according to GOST P 7.0.5-2008 "Bibliographic reference") and its option in English (References). By drawing up descriptions in English it is recommended to use the international Harvard standard taking into account that authors full name of Russian-speaking sources, article titles are transliterated (according to rules of System of Library of the Congress of the USA – LC), after that in square brackets is translation of publication title, further is given its output data (in English or transliteration, without reductions and abbreviations).

Further there are data about authors, which include a surname, a name and a middle name; academic degree, academic status (now); post or profession; a place of work (study) – full name of organization, including structural division (chair, faculty, department, management, department, etc.), and their full postal address, contact information – telephone and (or) the e-mail address, and also other data on the author's discretion which will be used for article's replacement in the Journal and on the informational website of publishing house. In collective works (articles, reviews, researches) of data of authors are brought in the sequence accepted by them. Further information about authors in English.

The main text of the published material (article) is provided in Russian or English. The text of the published work has to contain: introduction, main part and conclusion. The volume of each of parts is defined by the author. Then it is necessary to detail a problem, carry out the analysis, prove the chosen decision, and give the sufficient bases and proofs confirming ones reliability. In conclusion the author formulates the generalized conclusions, the main recommendations or offers; forecasts and(or) prospects, opportunities and their application area.

For highlighting of the most important concepts, conclusions is used the bold-face type and italics. It is not allowed to apply underlining of the main text, references and notes, and also its allocation (coloring, illumination) a color marker.

The author's text can be accompanied by monochrome drawings, tables, schemes, photos, schedules, charts and other graphic objects. In this case the corresponding references to illustrations are given in the text. Drawings titles and headings of tables are obligatory.

Illustrations in the form of schemes, charts, schedules, photos and others (except tables) images are considered as drawings. Drawing title is under it in the middle of a line. For example: "Fig. 1. Obtaining hybrid cells".

During tables preparation you can use only book orientation of the table. Table title is over it, in the center. For example: "Table 3. The breed standard in live weight of breeding heifers".

The illustrations used in the text in addition are provided in edition in the form of separate files of high

quality, the TIFF format (with the resolution of 300 dpi) or EPS, all fonts have to be transferred to curves. The exception is made by the schedules, schemes and charts executed directly in the Word program in which the text file or Excel is provided. It is not required to provide them in the form of different files.

Mathematical formulas should be written in the form of Microsoft Equation or Microsoft MathType editor. The formulas, which are written in other editors and in the form of drawings, are not accepted. All designations of sizes in formulas and tables must be explained in the text.

In case of citing or using any provisions from other works one should give references to the author and a source from which material in the form of the sending concluded in square brackets [1]. All references must be listed by the author in the general list (bibliography) issued in the form of endnote bibliographic references in the end of article where the full list of the used sources is provided. Do not use intra text and interlinear bibliographic references in articles.

#### **Order of materials representation**

Authors provide the following materials in edition (responsible secretaries of the appropriate thematic sections):

- article in printed form, without hand-written inserts, on one party of a standard sheet, signed on the last sheet by all authors,
- article in electronic form, each article has to be in the different file, the surname of the original author titles the file,
- data about authors (in a printing and electronic versions) – the questionnaire of the author,
- the review of article signed (doctor of science) and certified by the press
- graduate students provide the reference confirming a study place.

On condition of implementation of formal requirements to materials for the publication the article manuscript provided by the author is reviewed according to an established order of reviewing of the manuscripts, which are coming to editorial office of the Journal. The decision on expediency of the publication after reviewing is made by the editor-in-chief (deputy chief editors), and if it is necessary by an editorial board in general. The editorial board sent to the author of the unaccepted manuscript a motivated refusal.

The payment for the manuscripts publication is not charged from graduate students.

E-mail addresses of responsible secretaries of thematic sections are given below:

#### **Thematic section “Innovative Economics, Management of Agricultural Enterprises and Social Development of the Village”:**

Nasedkina Tatyana Ivanovna, Dr. Econ. Sci., Professor – the editor-in-chief,  
Gruzdova Lyudmila Nikolaevna, Cand. Econ. Sci., the Associate professor – the responsible secretary,  
e-mail: [konf.econom@yandex.ru](mailto:konf.econom@yandex.ru)  
Tel. +7 919 229-09-96.

#### **Thematic section “Innovative Technologies in Agronomy”:**

Litsukov Sergey Dmitriyevich, Dr. Agric. Sci., Professor – the editor-in-chief,  
Muravyov Alexander Alexandrovich, Cand. Agri. Sci., the Associate professor – the responsible secretary,  
e-mail: [Aleksandr16\\_1988@mail.ru](mailto:Aleksandr16_1988@mail.ru)  
Tel. +7 952 142-75-77.

#### **Thematic section “Agricultural Engineering and Energy Efficiency”:**

Pastukhov Alexander Gennadievich, Dr. of Tech. Sci., Professor – the editor-in-chief,  
Kolesnikov Alexander Stanislavovich, Cand. Tech. Sci., the Associate professor – the responsible secretary,  
e-mail: [a.c.kolesnikov@mail.ru](mailto:a.c.kolesnikov@mail.ru)  
Tel. +7 908 783-88-92.

### Example of registration of article

UDC 633.11(470.325)

*V.V. Smirnova, N.A. Sidelnikova, I.V. Kulishova*

#### FORMATION OF TECHNOLOGICAL QUALITIES OF GRAIN OF THE WINTER WHEAT IN THE BELGOROD REGION

**Abstract.** Text annotation Text annotation Text annotation Text annotation Text annotation Text annotation  
Text annotation Text annotation Text annotation (not less than 250 words).

**Keywords:** keywords, keywords, keywords, keywords, keywords (not less than 5 keywords).

Text.....  
.....  
.....

**Table 1 - The breed standard in live weight of breeding sows**


#### References

1. Smirnova V.V. Vliyanie predshestvennikov na urozhajnost' sortov ozimoy pshenicy, tekhnologicheskie kachestva zerna i ih izmenenie pri hranenii: avtoreferat dis. ... kand.s.-h. nauk: 06.01.09 / Smirnova V.V.; BelGSKHA. – Belgorod, 2007. – 19 s.
2. Sidel'nikova N.A. Sovershenstvovanie intensivnykh tekhnologiy vozdeleyvaniya zernovykh kul'tur v CCHZ / N.A.Sidel'nikova, L.G.Gavrilenko // Sbornik nauchnykh trudov SKHI.-Belgorod, 1988.-111s.
3. GOST R 52554 – 2006. Pshenica. Tekhnicheskie usloviya. – Vved. 2007-07-01. – M.: Standartinform, 2006. – 13 s.

#### Information about authors

Smirnova Victoria Viktorovna, candidate of agricultural sciences, associate professor of the production technology and processing of agricultural production, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V.Gorin» , ul.Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, , tel. +74722 39-14-26, e-mail: svic.belgorod@mail.ru

Sidelnikova Natalya Anatolyevna, candidate of agricultural sciences, associate professor, head of the department of the production technology and processing of agricultural production, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V.Gorin» , ul.Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, , tel. +74722 39-14-26

Kulishova Irina Vladimirovna, graduate student of the second year of training of department of agriculture, agrochemistry and ecology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V.Gorin» , ul.Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia.