

Адрес редакции, издательства
и типографии:
426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11
E-mail: rio.isa@list.ru

Подписной индекс в объединенном
каталоге «Пресса России» 40567

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-63611 от 02.11.2015 г.



Журнал включен в Российский индекс
научного цитирования (РИНЦ),
реферативную базу данных AGRIS.

По решению ВАК России
«Вестник Ижевской государственной
сельскохозяйственной академии» входит
в Перечень ведущих рецензируемых
научных журналов и изданий,
в которых могут быть опубликованы
основные научные результаты
диссертационных работ на соискание
ученой степени кандидата и доктора
наук по направлениям:
«Сельскохозяйственные науки»,
«Технические науки».

Ответственность за содержание статей
несут авторы публикаций.

Редактор С.В. Полтанова
Верстка Е.Ф. Николаева
Перевод В.Г. Балтачев

Подписано в печать 27.09.2017 г.
Дата выхода в свет 29.09.2017 г.
Формат 60x84/8. Тираж 500 экз.
Заказ № 7297. Цена свободная.

© ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2017

ISSN 1817-5457

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Главный редактор

доктор сельскохозяйственных наук, профессор *А.И. Любимов*

Научный редактор

доктор сельскохозяйственных наук, профессор *И.Ш. Фатыхов*

Члены редакционного совета:

Р.Р. Исмагилов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, член-корреспондент АН РБ

Х.М. Сафин – доктор сельскохозяйственных наук, академик-секретарь АН РБ

А.М. Ленточкин – доктор сельскохозяйственных наук, профессор ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

Л.М. Колбина – доктор сельскохозяйственных наук, ФГБНУ Удмуртский НИИСХ

Н.А. Балакирев – доктор сельскохозяйственных наук, профессор ФГБОУ ВО МГАВМиБ-МВА имени К.И. Скрябина, академик РАН

С.Д. Батанов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

С.Л. Залесов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор ФГБОУ ВО УГЛТУ

К.М. Габдрахимов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ

Ю.Г. Крысенко – доктор ветеринарных наук, профессор ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

В.А. Ермолаев – доктор ветеринарных наук, профессор ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

И.Г. Конопельцев – доктор ветеринарных наук, профессор ФГБОУ ВО Вятская ГСХА

И.Л. Бухарина – доктор биологических наук, профессор ФГБОУ ВО УдГУ

Ф.Ф. Мухамадьяров – доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО Вятская ГСХА

П.В. Дородов – доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

А.Г. Левшин – доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА

имени К.А. Тимирязева

С.И. Юран – доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

Н.П. Кондратьева – доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

EDITORIAL BOARD

Editor in chief

Doctor of Agricultural Sciences, Professor *A.I. Lyubimov*

Science editor

Doctor of Agricultural Sciences, Professor *I.Sh. Fatykhov*

Members of Editorial Board:

P.P. Ismagilov – Doctor of Agricultural Science, Professor, Bashkir State Agrarian University, corresponding member of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan

H.M. Safin – Doctor of Agricultural Science, Academician-Secretary of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan

A.M. Lentochkin – Doctor of Agricultural Science, Professor, Izhevsk State Agricultural Academy

L.M. Kolbina – Doctor of Agricultural Science, Udmurt Research Institute of Agriculture

of the Russian Academy of Agricultural Sciences

N.A. Balakirev – Doctor of Agricultural Science, Professor, Moscow State Academy of Veterinary

Medicine and Biotechnology named K.I. Skryabin, member of the Russian Academy of Sciences

S.D. Batanov – Doctor of Agricultural Science, Professor, Izhevsk State Agricultural Academy

S.L. Zalesov – Doctor of Agricultural Science, Professor, Ural State Forest Engineering

University

K.M. Gabdrakhimov – Doctor of Agricultural Science, Professor, Bashkir State Agrarian

University

Yu.G. Krysenko – Doctor of Veterinary Science, Professor, Izhevsk State Agricultural Academy

V.A. Ermolaev – Doctor of Veterinary Science, Professor, Ulyanovsk State Agricultural

University

I.G. Konopeltsev – Doctor of Veterinary Science, Professor, Vyatka State Agricultural Academy

I.L. Bukharina – Doctor of Biological Science, Professor, Udmurt State University

F.F. Muchamadjarov – Doctor of Engineering Science, Professor, Vyatka State Agricultural

Academy

P.V. Dorodov – Doctor of Engineering Science, Professor, Izhevsk State Agricultural Academy

A.G. Levshin – Doctor of Engineering Science, Professor, Russian State Agrarian University

named after K.A. Timiryazev

S.I. Yuran – Doctor of Engineering Science, Professor, Izhevsk State Agricultural Academy

N.P. Kondratyeva – Doctor of Engineering Science, Professor, Izhevsk State Agricultural

Academy

СОДЕРЖАНИЕ

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Н.С. Гинаятов, И.Н. Залялов, Н.Х. Сергалиев, М.Г. Какисhev. Патоморфологическая оценка состояния тромбоцитопоэза в селезёнке сибирских осетров при псевдомонозе	3
А.Г. Дзюин. Эффективность торфонавозного компоста, сидератов и соломы в зависимости от глубины их заделки в почву	8
Е.В. Калмыкова. Формирование продуктивности томата на основе применения регуляторов роста растений	17
Н.И. Кульмакова, В.Н. Орлов. Анализ прогнозирования технологии производства свинины	23
Р.Г. Нагимова, В.С. Сергеев. Влияние пшеничной соломы, азотного удобрения и микробиологического препарата «Стерня» на показатели плодородия чернозёма выщелоченного.	29

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

М.В. Беляков. Определение всхожести семян растений люминесцентным методом	35
П.В. Дородов, П.Л. Максимов, Н.Д. Давыдов, Р.А. Жуйков. О прочности элементов конструкций сельхозмашин из полимерных композитных материалов	41
А.В. Савушкин, П.Л. Лекомцев, Е.В. Дресвянникова, Л.А. Пантелеева. Распределение заряженных частиц, создаваемых генератором электроаэрозолей	48
А.С. Серебряков, В.Л. Осокин. Несимметричная нагрузка и короткое замыкание трёхфазного трансформатора при соединении обмоток по схеме Y/Δ	54
В.И. Ширококов, А.Г. Ипатов, Л.Я. Новикова, С.Н. Шмыков. Исследование параметров изношенного сепарирующего решета дробилки зерна закрытого типа	62

CONTENTS

AGRICULTURAL SCIENCES

N.S. Ginayatov, I.N. Zalyalov, N.Kh. Sergaliev, M.G. Kakishev. Pathomorphologic estimation of the status of thrombocytopoiesis in the spleen of siberian sturgeons at the pseudomonosis	3
A.G. Dzyuin. Efficiency of peat-manure compost, green manure and straw depending on the depth of their finishes in soil	8
E.V. Kalmykova. Formation of productivity and quality of tomatoes based on plant growth regulators' application	17
N.I. Kulmakova, V.N. Orlov. The forecast analysis of the pork production technology	23
R.G. Nagimova, V.S. Sergeev. Influence of wheat straw, nitrogen fertilizer and the microbiological preparation "Stubble" on the fertility of leached chernozem	29

TECHNICAL SCIENCES

M.V. Belyakov. Determination of seed germination of plants by the luminescence method.	35
P.V. Dorodov, P.L. Maksimov, N.D. Davydov, R.A. Zhuikov. On durability of agricultural machinery constructions of polimeric materials	41
A.V. Savushkin, P.L. Lekomtsev, E.V. Dresviannikova, L.A. Panteleeva. Distribution of the charged particles created by the generator of electrical aerosols	48
A.S. Serebryakov, V.L. Osokin. Asymmetrical loading and short circuit of the three-phase transformer at connection of windings according to the Y/Δ scheme.	54
V.I. Shirobokov, A.G. Ipatov, L.Y. Novikova, S.N. Shmykov. Research of parameters of the closed type separating sieve of the grain crusher	62

УДК 619:612.11:612.416:639.309

Н.С. Гинаятов¹, И.Н. Залялов¹, Н.Х. Сергалиев², М.Г. Какишев²

¹ ФГБОУ ВО Казанская ГАВМ имени Н.Э. Баумана;

² НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана»

ПАТОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ТРОМБОЦИТОПОЭЗА В СЕЛЕЗЁНКЕ СИБИРСКИХ ОСЕТРОВ ПРИ ПСЕВДОМОНОЗЕ

Широкое распространение среди осетровых рыб, выращиваемых в установках замкнутого водоснабжения, псевдомоноза и отсутствие достоверных сведений о механизмах выработки тромбоцитов в организме этих животных явились основой для проведения сравнительных гистологических, морфометрических и статистических оценок уровня тромбоцитопоэза у здоровых и больных этим бактериозом рыб. Установлено, что источниками выработки тромбоцитов в селезёнке осетров являются малые и в большей степени крупные мегакариоциты, представляющие собой симпластоподобные многоядерные клеточные образования площадью до $4685,95 \pm 158,34$ мкм². Процесс образования тромбоцитов наиболее активно протекает в цитоплазме крупных мегакариоцитов. Вследствие многочисленных делений и дифференциации ядра, обогащённые эухроматином, превращались в небольшие структуры, имеющие конденсированный хроматин. Многочисленные ядра в мегакариоцитах приобретали подковообразное и спиралевидное расположение внутри цитоплазмы. Постепенно перемещаясь в цитоплазме мегакариоцита, гиперхромные ядра достигали области цитолеммы и выходили за её пределы, превращаясь в тромбоциты, окружая себя едва заметной тончайшей прослойкой цитоплазмы. Тромбоциты у осетров имели в большинстве своём вытянутую овальную форму и интенсивно базофильную окраску. Процесс выработки тромбоцитов у исследованных больных псевдомонозом осетров происходил с многочисленными нарушениями. На 2-4-ю неделю болезни у рыб отмечали уменьшение количества мегакариоцитов на поверхности поперечного среза селезёнки ($4,01 \pm 0,27$ штук), преобладали меньшие по площади цитоплазмы клетки ($4155,45 \pm 253,85$ мкм²), сокращалась численность содержащихся в них ядер ($10,10 \pm 0,60$) и сформированных тромбоцитов вблизи кариолеммы ($2,40 \pm 0,17$). Таким образом, процесс нарастания тромбоцитопении играет важную роль в развитии патогенеза псевдомоноза у сибирских осетров.

Ключевые слова: сибирский осётр; селезёнка; псевдомоноз, тромбоцитопоэз; установка замкнутого водоснабжения.

Актуальность. В настоящее время одним из перспективных направлений в рыбоводстве является индустриальная аквакультура – товарное выращивание в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) осетровых рыб и их гибридов [7], которые имеют ряд особенностей и являются недостаточно изученными объектами.

У осетровых рыб, в отличие от высших позвоночных, специфичный гемопоэз, ввиду отсутствия у них костного мозга и лимфатических узлов. В процессе кроветворения участвуют многие органы, в состав которых входит как ретикулярный синцитий (жаберный аппарат, почки, лимфоидный орган), так и эндотелий сосудов жаберного аппарата, сердца и селезёнки, в некоторых случаях слизистая кишечника [8, 11].

Сведения о структуре и функции кроветворных органов, обеспечивающих регенерацию форменных элементов крови на протяжении всей жизни осетровых рыб, в значитель-

ной мере расширяются. Однако накопленные информационные материалы о процессах кроветворения у этих рыб в значительной степени противоречивы [2].

Остаётся множество вопросов вокруг механизма образования тромбоцитов. Некоторые авторы полагают, что тромбоциты происходят от малых лимфоцитов, ввиду сходства их внешних морфологических параметров, но это не согласуется с унитарной концепцией гемопоэза. Также имеются сведения о рассредоточенности источников тромбоцитопоэза в различных структурах, в том числе в почках, крапильном органе и т.д. [6].

В доступной научной литературе ограниченно представлены данные о механизмах образования тромбоцитов в мегакариоцитах [5]. Отсутствует подробная информация о процессах формирования самих мегакариоцитов, а также их дифференциации в полноценные продуценты постклеточных образований – тромбоцитов [9, 10].

Актуальным является изучение особенностей образования тромбоцитов у осетровых рыб при патологии. Например, у осетровых рыб, выращиваемых в условиях УЗВ, нередки случаи возникновения псевдомоноза с участием различных патогенных факторов, проявляющиеся наряду с местными некротическими поражениями и локальными и системными геморрагиями, в патогенезе которых значительную роль играет изменение выработки уровня тромбоцитов, что в конечном итоге приводит к гибели больных животных. Отсутствие полной ясности о происхождении тромбоцитов в селезёнке осетровых рыб в норме и при патологии явилось основанием для проведения данных патоморфологических исследований.

Цель исследований: изучение тромбоцитопоза у осетровых рыб в норме и при псевдомонозе.

Задачи исследований: выявить источник образования тромбоцитов в селезёнке осетров; провести сравнительный анализ тромбоцитопоза больных псевдомонозом и здоровых осетров и установить нарушения выработки тромбоцитов при патологическом состоянии.

Материал и методы. Научно-производственный опыт и лабораторные исследования проводились на базе центра аквакультуры и НИИ биотехнологии и природопользования Западно-Казахстанского аграрно-технического университета имени Жангир хана. Гистологические исследования выполнены в лаборатории кафедры анатомии, патологической анатомии и гистологии Казанской государственной академии ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана.

В качестве объектов исследования отобраны больные половозрелые рыбы вида сибир-

ский осётр (*Acipenser baerii*), выращиваемые в установках замкнутого водоснабжения, в количестве 8 животных, из них 6 больных рыб с признаками поражения органов и тканей. После выделения чистой культуры возбудителя и лабораторной идентификации была установлена её принадлежность к роду *Pseudomonas* – возбудителя псевдомоноза [3, 4].

Для гистологических исследований кусочки селезёнки исследованных рыб фиксировали в 10%-ном водном растворе нейтрального формалина, обезжизивали в этаноле нарастающей плотности. Уплотнение патологического материала проводили путём заливки в парафине. Гистологические срезы толщиной 5-8 мкм изготавливали на санном микротоме и окрашивали гематоксилином и эозином. Морфометрические исследования проводили при помощи окулярного винтового микрометра МОВ-1-15х [1]. Полученный цифровой материал обрабатывали статистическим методом в программе MS Excel 2007.

Результаты исследований. Селезёнка у здоровых осетров в возрасте 3 лет имеет лентовидную форму, длиной 7,5-8,0 и шириной 0,5-0,7 см, а у больных псевдомонозом рыб она была слегка увеличенной в объёме. Из-за наличия пигментных включений меланина в капсуле селезёнка имела коричневатую окраску.

При гистологическом исследовании срезов селезёнки в красной пульпе обнаруживали как небольшие, так и крупные многоядерные симпластоподобные образования – мегакариоциты. Количество мелких и крупных мегакариоцитов у здоровых рыб на площади поперечного среза селезёнки соответственно составило $8,9 \pm 0,33$ и $40,5 \pm 1,18$ клеток (табл. 1).

Таблица 1 – Количественные показатели на поверхности среза селезёнки

Показатели	Здоровые осетры		Больные осетры	
	количество на поверхности среза органа	коэффициент вариальности (%)	количество на поверхности среза органа	коэффициент вариальности (%)
Большие мегакариоциты	$8,9 \pm 0,33$	11,17	$4,01 \pm 0,27^{***}$	20,41
Малые мегакариоциты	$40,5 \pm 1,18$	8,75	$16,5 \pm 0,42^{***}$	7,69
Ядра в больших мегакариоцитах	$16,4 \pm 0,39$	7,16	$11,7 \pm 0,39^{***}$	9,91
Ядра в малых мегакариоцитах	$3,00 \pm 0,27$	27,22	$1,60 \pm 0,17^{***}$	32,27
Тромбоциты на поверхности цитолеммы больших мегакариоцитов	$15,10 \pm 0,29$	5,8	$10,10 \pm 0,60^{***}$	17,74
Тромбоциты на поверхности цитолеммы малых мегакариоцитов	$3,50 \pm 0,18$	15,06	$2,40 \pm 0,17^{***}$	21,52

Примечание: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$ в сравнении с контролем.

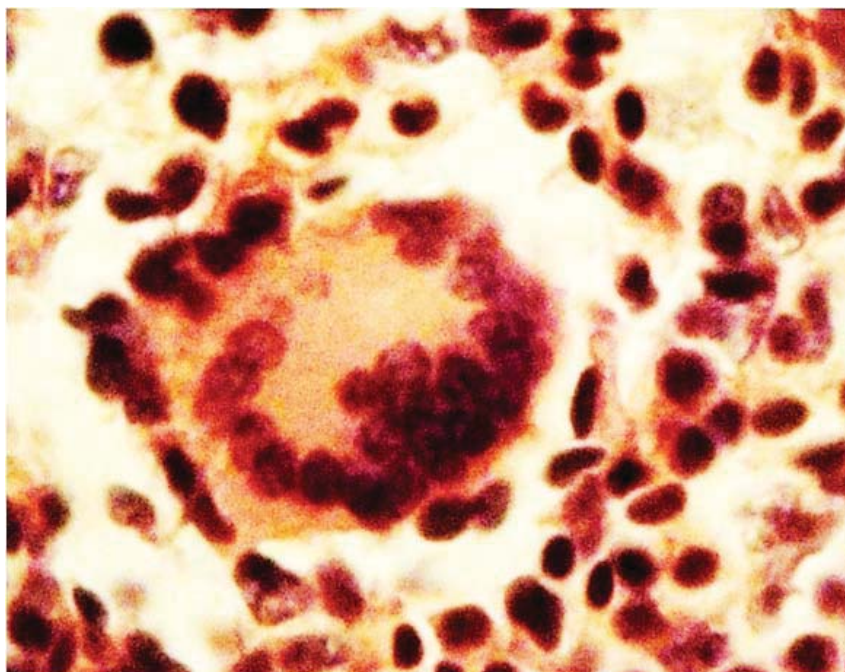
Небольшие по величине мегакариоциты выделялись полиморфизмом цитоплазмы, наличием многочисленных отростков, соединяющих их друг с другом наподобие синцития. В оксифильной цитоплазме этих клеток располагались до $3,00 \pm 0,27$ ядер овальной формы, площадь поверхностного сечения ядер составила $64,61 \pm 1,02$ мкм². Крупные мегакариоциты отличались активным процессом деления ядер и их дифференциацией в тромбоциты. По мере дифференциации мегакариоцитов в селезёнке их структура усложняется, они становятся крупными ($4685,95 \pm 158,34$ мкм²), сохраняют резко оксифильную окраску цитоплазмы. Расположение ядер в этих клетках в этот период в связи с усилением тромбоцитопоэза приобретает спиралевидное или подковообразное расположение. Многочисленные (до $16,4 \pm 0,39$ штук), крупные округлой формы ядра мегакариоцитов были заметно обогащены эухроматином, располагались в цитоплазме закруглённой цепочкой, образуя подковообразную форму. По мере дифференциации в этих ядрах уменьшалась площадь поперечного сечения до $53,96 \pm 1,94$ мкм², накапливалась конденсированная форма хроматина. Перемещаясь в цитоплазме мегакариоцита, эти ядра достигали области цитолеммы и выходили за её пределы. Часть этих ядер окружала себя тончайшей прослойкой цитоплазмы (рис.).

Сформированные и расположенные за пределами мегакариоцитов тромбоциты имели интенсивную базофильную окраску, вытянутую, овальную или неправильную форму клет-

ки с едва обозначенным ободком цитоплазмы. Количество этих клеток вблизи мегакариоцитов составило $15,10 \pm 0,29$ штук. Площадь поперечного сечения тромбоцитов достигала $36,99 \pm 1,37$ мкм² (табл. 2).

Следует отметить, что вблизи мегакариоцитов, особенно крупных с активным тромбоцитопоэзом, отсутствовали клетки иных популяций, за исключением малых лимфоцитов и ретикулоцитов, которые располагались на расстоянии $8,78 \pm 0,49$ мкм с образованием щелевидных полостей, способствующих внутриорганным перемещениям постклеточных образований, в первую очередь тромбоцитов. В участках красной пульпы, где формируются мегакариоциты, была заметна меньшая плотность сосредоточения эритроцитов.

Процесс выработки тромбоцитов у исследованных больных псевдомонозом осетров происходил с многочисленными нарушениями. На 2-4-ю неделю болезни у рыб отмечали уменьшение количества мегакариоцитов до $4,00 \pm 0,27$, сокращение площади их цитоплазмы до $4155,45 \pm 253,85$ мкм², сокращалась численность содержащихся в них ядер до $10,10 \pm 0,60$ и сформированных тромбоцитов, расположенных вблизи кариолеммы в виде многоядерных клеток, до $2,40 \pm 0,17$. Причём показатели содержания ядер в мегакариоцитах и количество тромбоцитов на их поверхности в срезах селезёнки у больных осетров имели неравномерный характер, на что указывали большие значения коэффициента вариации (табл. 1-2).



Большой мегакариоцит в процессе выработки тромбоцитов. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение x800

Таблица 2 – Площадь поверхности среза селезёнки

Показатели	Здоровые осетры		Больные осетры	
	площадь поверхности среза (мкм ²)	коэффициент вариабельности (%)	площадь поверхности среза (мкм ²)	коэффициент вариабельности (%)
Большие мегакариоциты	4685,95±158,34	18,33	4155,45±253,85*	10,14
Малые мегакариоциты	567,85±23,63	12,49	514,03±14,31	8,35
Ядра в больших мегакариоцитах	53,96±1,94	9,79	53,15±1,73	10,78
Ядра в малых мегакариоцитах	64,8±1,48	9,16	64,61±1,02	6,91
Тромбоциты на поверхности цитолеммы больших мегакариоцитов	36,99±1,37	7,95	38,9±8,26	11,09
Тромбоциты на поверхности цитолеммы малых мегакариоцитов	39,61±0,58	10,16	38,49±1,30*	5,05

Примечание: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$ в сравнении с контролем.

Показатели морфометрии, а также результаты осмотра органов и тканей больных осетров свидетельствовали о существенном снижении уровня свёртываемости крови у больных псевдомонозом рыб. На поверхности тела больных рыб, жабрах, а также во внутренних органах на протяжении длительного периода болезни отмечали многочисленные точечные и пятнистые кровоизлияния, свидетельствующие о генерализации инфекционного процесса в организме.

Таким образом, в развитии патогенеза псевдомоноза у сибирских осетров важную роль играет процесс нарастания тромбоцитопении.

Заключения:

1. Основным источником образования тромбоцитов у исследованных сибирских осетров являются симпластоподобные многоядерные клетки селезёнки – мегакариоциты. В свою очередь источниками формирования мегакариоцитов являются многочисленные ядра этих клеток.

2. У больных псевдомонозом осетров, выращиваемых в условиях искусственной замкнутой водной среды, на протяжении 2-4 недель болезни в селезёнке отмечали нарастающие нарушения выработки тромбоцитов, что наряду с другими отклонениями процесса гемопоэза способствовало сохранению мелких и крупных кровоизлияний в органах и тканях и тем самым поддерживало генерализацию инфекционного процесса в организме рыб.

Список литературы

1. Автандилов, Г.Г. Медицинская морфометрия: руководство / Г.Г. Автандилов. – М.: Медицина, 1990. – С. 118-120.

2. Волкова, О.В. Основы гистологии с гистологической техникой / О.В. Волкова, Ю.К. Елецкий. – М.: Медицина, 1989. – С. 59-63.

3. Гинаятов, Н.С. Выявление в участках УЗВ резервуаров возбудителя инфекционной патологии осетровых рыб / Н.С. Гинаятов, И.Н. Залялов, Н.Х. Сергалиев // Знания молодых для развития ветеринарной медицины и АПК страны: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. – 2016. – С. 49-50.

4. Гинаятов, Н.С. Идентификация возбудителя инфекционной патологии осетровых рыб в условиях УЗВ / Н.С. Гинаятов, И.Н. Залялов, Г.Г. Абсатиров // Современные проблемы ветеринарной и аграрной науки и образования: материалы Международной научной конференции. – 2016. – С. 42-45.

5. Житенева, Л.Д. Эволюция крови / Л.Д. Житенева, Э.В. Макаров, О.А. Рудницкая, – Ростов н/Д.: 2001. – С. 31-38.

6. Ложниченко, О.В. Физиологические аспекты кроветворения в мезонефросе осетровых рыб / О.В. Ложниченко, А.В. Амплеева, С.М. Хвостова // Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство, 2010. – № 2. – С. 106-111.

7. Выращивание молоди русского осетра и шипа Урало-Каспийской популяции в бассейнах / Н.Х. Сергалиев, М.Ж. Шукуров, А.Н. Туменов [и др.] // Проблемы воспроизводства осетровых в среднем течении реки Урал и пути их решения: материалы докладов Международной научно-практической конференции / ЗКАТУ. – Уральск, 2009. – Ч. I. – С. 95-97.

8. Gao Zexia. Morphological studies of peripheral blood cells of the Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis* / Gao Zexia, Wang Weimin // Fish Physiology and Biochemistry. – September 2007. – V. 33. – P. 213-222.

9. Goviadinova, A. The studying of the hemopoietic tissues in the cranial cavity of sturgeon fish *Acipenser guldenstadti* / A. Goviadinova, M. Lange // VII Interna-

tional Symposium on Fish Physiology Dement of Biology, University of Oslo. – 1996. – P. 28-34.

10. Dynamic Visualization of Thrombopoiesis Within Bone Marrow Tobias / Harald Schulze, Zhao Chen, Steffen Massberg [et al.] // SCIENCE. – September 2007. – N 317 (21) . – P. 1767-1770.

11. Palikova, M. Characteristics of leukocytes and thrombocytes of selected sturgeon species from intensive breeding / M. Palikova, J. Mare, J. Jirasek // Acta Vet Brno 1999. – V. 68. – P. 259-264.

Spisok literatury

1. Avtandilov, G.G. Medicinskaja morfometrija: rukovodstvo / G.G. Avtandilov. – M.: Medicina, 1990. – S. 118-120.

2. Volkova, O.V. Osnovy gistologii s gistologicheskoy tehnikoj / O.V. Volkova, Ju.K. Eleckij. – M.: Medicina, 1989. – S. 59-63.

3. Ginajatov, N.S. Vyjavlenie v uchastkah UZV rezervuarov vozбудitelja infekcionnoj patologii osetrovyyh ryb / N.S. Ginajatov, I.N. Zaljalov, N.H. Sergaliev // Znaniya molodyh dlja razvitija veterinarnoj mediciny i APK strany: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchjonyh. – 2016. – S. 49-50.

4. Ginajatov, N.S. Identifikacija vozбудitelja infekcionnoj patologii osetrovyyh ryb v uslovijah UZV / N.S. Ginajatov, I.N. Zaljalov, G.G. Absatirov // Sovremennye problemy veterinarnoj i agrarnoj nauki i obrazovaniya: materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. – 2016. – S. 42-45.

5. Zhiteneva, L.D. Jevoljucija krovi / L.D. Zhiteneva, Je.V. Makarov, O.A. Rudnickaja, – Rostov n/D.: 2001. – S. 31-38.

6. Lozhnichenko, O.V. Fiziologicheskie aspekty krovotvorenija v mezonefroze osetrovyyh ryb / O.V. Lozhnichenko, A.V. Ampleeva, S.M. Hvastova // Vestnik AGTU. Ser.: Rybnoe hozjajstvo, 2010. – № 2. – S. 106-111.

7. Vyrashhivanie molodi russkogo osetra i shipa Uralo-Kaspijskoj populjacji v bassejnah / N.H. Sergaliev, M.Zh. Shukurov, A.N. Tumenov [i dr.] // Problemy vosproizvodstva osetrovyyh v srednem techenii reki Ural i puti ih reshenija: materialy dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii / ZKATU. – Ural'sk, 2009. – Ch. I. – S. 95-97.

8. Gao Zexia. Morphological studies of peripheral blood cells of the Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis* / Gao Zexia, Wang Weimin // Fish Physiology and Biochemistry. – September 2007. – V. 33. – R. 213-222.

9. Goviadinova, A. The studying of the hemopoietic tissues in the cranial cavity of sturgeon fish *Acipenser guldenstadti* / A. Goviadinova, M. Lange // VII International Symposium on Fish Physiology Dement of Biology, University of Oslo. – 1996. – P. 28-34.

10. Dynamic Visualization of Thrombopoiesis Within Bone Marrow Tobias / Harald Schulze, Zhao Chen, Steffen Massberg [et al.] // SCIENCE. – September 2007. – N 317 (21). – P. 1767-1770.

11. Palikova, M. Characteristics of leukocytes and thrombocytes of selected sturgeon species from intensive breeding / M. Palikova, J. Mare, J. Jirasek // Acta Vet Brno 1999. – V. 68. – P. 259-264.

Сведения об авторах:

Гинятов Нурбек Сатканулы – аспирант кафедры анатомии, патологической анатомии и гистологии. ФГБОУ ВО Казанская ГАВМ имени Н.Э. Баумана (420029, Российская Федерация, г. Казань, Сибирский тракт, 35, e-mail: nginayatov@mail.ru).

Залялов Ильдар Надырович – доктор ветеринарных наук, профессор кафедры анатомии, патологической анатомии и гистологии. ФГБОУ ВО Казанская ГАВМ имени Н.Э. Баумана (420029, Российская Федерация, г. Казань, Сибирский тракт, 35, e-mail: ildarno@yandex.ru).

Сергалиев Нурлан Хабибуллович – кандидат биологических наук, доцент, ректор. НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана» (090009, Республика Казахстан, г. Уральск, ул. Жангир хана, 51, e-mail: nurlan-sergaliev@yandex.ru).

Какишев Мурат Галиханович – доктор PhD, менеджер по управлению проектами НИИ биотехнологии и природопользования. НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана» (090009, Республика Казахстан, г. Уральск, ул. Жангир хана, 51, e-mail: kakishev_murat@mail.ru).

N.S. Ginayatov¹, I.N. Zalyalov¹, N.Kh. Sergaliev², M.G. Kakishev²

¹ Kazan State Academy of Veterinary Medicine after N.E. Bauman;

² West Kazakhstan Agrarian and Technical University after Zhangir Khan

PATHOMORPHOLOGIC ESTIMATION OF THE STATUS OF THROMBOCYTOPOESIS IN THE SPLEEN OF SIBERIAN STURGEONS AT THE PSEUDOMONOSIS

Wide circulation among the sturgeon fishes that are grown up in the installations of the closed water supply (ICWS), a pseudomonosis and absence reliable data on mechanisms of development of platelets in an organism of these animals have become the basis to carry out comparative histological morphometric and statistical levels of a trombositopoesis of an assessment at fishes healthy and sick with this bacteriosis. It is established that sources for development of platelets in the sturgeons' spleen are small, and to a greater degree - big megakaryocytes represented in the form of symplastlike multinuclear cellular educations up to 4685,95±158,34 μm². Process of platelets formation most actively proceeds in cytoplasm of large megakariocytes. Because of numerous splittings

and differentiation of a kernel, enriched by euchromatin, they have turned into small structures possessing of condensed chromatin. Numerous kernels in the megakaryocytes acquired horseshoe and helicoids arrangement in the cytoplasm. Gradually moving in megakaryocyte's cytoplasm hyperchromic kernels were reaching cytolemma's area and leaving its boards having turned into platelets, and surrounding itself with hardly noticeable the thinnest layer of cytoplasm. Platelets at sturgeons had the extended oval form in the majority and have intensively basophile coloring. Process of development of platelets with the studied pseudotients pseudomonosis sturgeons took place with multiple violations. For 2-4 week of the fishes' disease reduction of quantity of megakaryocyte by surfaces of a cross cut of a spleen ($4,01 \pm 0,27$) has been fixed, cage cytoplasm's smaller of smaller square were prevailing ($4155,45 \pm 253,85 \mu\text{m}^2$), the number of the kernels ($10,10 \pm 0,60$) and created platelets near a caryolemma was reduced ($2,40 \pm 0,17$). Thus, process of thrombocytopenia increase plays an important role in development of the pseudomonosis with the Siberian sturgeons.

Key words: siberian sturgeons; spleen; pseudomonosis; trombotsitopoesis; ICWS.

Authors:

Ginayatov Nurbek Satkanuly – Postgraduate of the Department of Anatomy, Pathological Anatomy and Histology. Kazan State Academy of Veterinary Medicine after N.E. Bauman (35, Sibirsky Trakt, Kazan, Russian Federation, 420029, e-mail: nginayatov@mail.ru).

Zalyalov Ildar Nadyrovich – Doctor of Veterinary Sciences, Professor of Department of Anatomy, Pathological Anatomy and Histology. Kazan State Academy of Veterinary Medicine after N.E. Bauman (35, Sibirsky path, Kazan, Russian Federation, 420029, e-mail: ildarno@yandex.ru).

Sergaliev Nurlan Khabibullovich – Candidate of Biology Sciences, Associated Professor, Rector. West Kazakhstan Agrarian and Technical University after Zhangir Khan (51, Zhangir Khan Str., Uralsk, Republic of Kazakhstan, 090009, e-mail: nurlan-sergaliev@yandex.ru).

Kakishev Murat Galikhanovich – PhD in Veterinary, Project Management Manager of the Scientific Research Institute of Biotechnology and Environmental Management. West Kazakhstan Agrarian and Technical University after Zhangir Khan (51, Zhangir Khan Str., Uralsk, Republic of Kazakhstan, 090009, e-mail: kakishev_murat@mail.ru).

УДК 631.86:631:816.3

А.Г. Дзюин

ФГБНУ Удмуртский НИИСХ

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТОРФОНАВОЗНОГО КОМПоста, СИДЕРАТОВ И СОЛОМЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЛУБИНЫ ИХ ЗАДЕЛКИ В ПОЧВУ

Целью исследований явилось изучение влияния глубины заделки торфонавозного компоста (ТНК), сидератов и соломы на их эффективность. В процессе исследований определяли влияние доз, глубины заделки ТНК, сидератов и соломы на урожайность, продуктивность севооборота и содержание гумуса в почве. В опыте 1 (1989-2000 гг.) чередование культур: пар чёрный, озимая рожь, кукуруза, ячмень, клевер 1-го и 2-го г.п., озимая рожь, ячмень. По схеме опыта внесли ТНК в дозах 60, 90, 120, 150, 180 т/га, минеральные удобрения $N_{60}P_{90}K_{60}$ под озимую рожь и ячмень, $N_{90}P_{80}K_{120}$ под кукурузу и $P_{30}K_{45}$ под клевер 1-го и 2-го г.п. Компост заделывали на глубину 8-10, 18-20, 25-27 см. В опыте 2 (2009-2015 гг.) чередование культур: пар чистый и сидеральный, озимая рожь, яровая пшеница, клевер 1-го г.п., озимая рожь, ячмень, овёс. Сидераты и солому заделывали на глубину 8-10 и послойно на 8-10 и 18-20 см. Внесение ТНК в дозах 60-180 т/га повышало урожайность первых пяти культур в среднем на 0,47-1,23, последующих двух культур – на 0,24-0,16 (НСР₀₅ – 0,09) т зерн. ед./га. На фоне поверхностной его заделки более эффективной была доза 150 т/га, продуктивность составила 4,14 т зерн. ед./га. На фоне заделки отвальным плугом – 120 т/га, продуктивность – 4,08 т зерн. ед./га. При глубокой заделке компоста продуктивность возрастала по мере увеличения дозы до 180 т/га (4,38 т зерн. ед./га). Глубокая заделка 60-120 т/га ТНК действовала на урожайность культур в течение 7 лет, более высоких доз – 8 лет. Повышение доз до 150 т/га стабилизировало содержание гумуса. Глубокая заделка 120-180 т/га ТНК повышала его содержание на 0,31-0,36 абс.%. Послойная заделка сидератов и соломы обеспечивала повышение урожайности четырёх культур по сравнению с поверхностной заделкой, последних культур (ячменя и овса) – на уровне тенденции. Солома в чистом виде увеличила продуктивность севооборота на 7,1-7,9%, совместно с минеральными удобрениями – на 23,0-31,3%, послойная заделка – на 8,6%.

Ключевые слова: севооборот; торфонавозный компост; дозы; сидерат; солома; глубина заделки; гумус; урожайность; продуктивность.

Актуальность. Традиционная ежегодная отвальная обработка почвы ушла в прошлое. В условиях Зауралья Т.С. Мальцевым была предложена безотвальная система обработки почвы [6]. Однако многие исследователи отмечали повышение засорённости посевов по данной системе. Исследования проводились практически во всех регионах, в том числе в Удмуртской Республике. Изучали плоскорезную, поверхностную, почвозащитную, комбинированную системы обработки с использованием органических удобрений, сидератов, соломы и без них.

Учёными Ижевской ГСХА на основании данных опытов и 25-летней производственной практики в УОХ «Июльское» была предложена энерго- и ресурсосберегающая почвозащитная минимальная система обработки почвы с оставлением стерни и использованием соломы [4], обеспечивающая равномерное (гомогенное) строение верхнего пахотного слоя почвы по плодородию. Минимальная система обработки почвы в УОХ «Июльское» была рекомендована для всех хозяйств республики и за её пределами. Отвальные плуги в работе не применялись. Хозяйства повсеместно перешли на минимальную обработку почвы с целью ресурсосбережения и снижения трудовых затрат. В условиях экономической нестабильности в стране предложенная система могла в определённой мере стабилизировать производство зерновых культур. Однако массовое её использование, без соблюдения рекомендаций, при крайне низком уровне применения органических и минеральных удобрений не дало ожидаемого результата, кроме как снижения затрат, в повышении урожайности. Поля сильно заросли сорняками, распространились различные болезни растений.

Многолетние исследования, проведённые в нашем институте, показали преимущество комбинированной разноглубинной системы обработки дерново-подзолистой почвы [1, 2, 5]. Система предусматривает проведение отвальных, безотвальных и поверхностных обработок в севообороте. Отвальную вспашку рекомендуется проводить для заделки пласта многолетних трав на глубину пахотного слоя, безотвальное рыхление (чизелевание) – под яровые зерновые культуры на глубину до 16-18 см и под пропашную культуру до 26-28 см, поверхностную обработку (дискование) – под последнюю культуру севооборота (овёс) на глубину до 8 см.

Исследованиями С.С. Сдобникова доказано преимущество глубокой заделки органических

удобрений прослойкой на дно борозды и сохранение этой прослойки в последующие годы. Он считает наилучшим способом заделку органических удобрений ярусным плугом ПЯ-3-35 на глубину 25-27 см. Глубокая послойная их заделка создаёт обратное гетерогенное строение пахотного слоя, обеспечивает более плодородное сложение в нижней его части [7, 8]. Пахотные почвы Удмуртии характеризуются низким естественным плодородием и содержанием гумуса. Обычно навоз при традиционном способе заделки под плуг действует 3-4 года. Глубокая заделка навоза удлинит продолжительность его действия в два раза по сравнению с традиционной запашкой и в три раза по сравнению с обработкой дисковой бороной [8].

С переходом на адаптивно-ландшафтную систему земледелия специалисты-практики заинтересованы в повышении степени биологизации севооборотов, в использовании сидератов, соломы, заделке растительных остатков. Однако способы заделки биоресурсов всё ещё мало изучены.

Цель исследований: определить оптимальные дозы внесения торфонавозного компоста (ТНК) в зависимости от способов их заделки в почву (опыт 1); изучить влияние сидератов и соломы на урожайность и продуктивность севооборота при поверхностном (на 10-12 см) и послойном (на 10-12 см с последующей заделкой на 20-22 см) способах их заделки (опыт 2).

Задачи исследований: изучить влияние различных доз торфонавозного компоста на урожайность и продуктивность севооборота; выявить влияние глубины заделки компоста на урожайность культур, продуктивность севооборота и оптимальные дозы его внесения; определить влияние глубины заделки компоста на содержание гумуса в почве; изучить влияние сидератов и соломы в зависимости от глубины их заделки в почву на урожайность культур и продуктивность севооборота.

Материал и методы. В опыте 1 (1989-2000 гг.) исследования вели на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве с агрохимическими показателями: обменная кислотность (pH_{KCl}) – 6,2; гидролитическая кислотность (H_T) – 1,65; сумма обменных оснований (S) – 15,6 ммоль/100 г почвы; содержание подвижного фосфора (P_2O_5) – 251, обменного калия (K_2O) – 160 мг/кг почвы, гумуса – 2,27%. Чередование культур: пар чёрный, озимая рожь, кукуруза, ячмень, клевер 1-го г.п., клевер 2-го г.п., озимая рожь, ячмень. В схему опыта входило внесение торфонавозного компоста (1:1) в

паровом поле в дозах 60, 90, 120, 150, 180 т/га с влажностью 64%, содержанием общего азота – 0,76%, фосфора – 0,47% и калия – 0,35% в сыром веществе. Минеральных удобрений под озимую рожь и ячмень – $N_{60}P_{90}K_{60}$, кукурузу – $N_{90}P_{80}K_{120}$, клевер 1-го и 2-го г.п. – $P_{30}K_{45}$. Для заделки органических удобрений применяли три способа: дискование дисковой бороной БДТ-2,2 на глубину 8-10 см, обычную вспашку отвальным плугом ПН-4-35 на глубину 18-20 см и глубокую вспашку двухъярусным плугом ПЯ-3-35 на глубину 25-27 см.

В опыте 2 (2009-2015 гг.) сидераты высевали в севооборотах. Горохоовсяную смесь – в севообороте С.2 с низкими дозами минеральных удобрений ($N_{20-30}P_{20}K_{20}$) и севообороте С.4 с удвоенными дозами. Горчицу (С.3), горохоовсяную смесь + клевер (С.5) – с удвоенными дозами удобрений (также в С.1 с чистым паром). Солому вносили в качестве варианта без минеральных удобрений и совместно с ними – НРК с переменной дозой азота при двух способах их заделки в почву: 1 – поверхностным на глубину 8-10 см; 2 – послойным на глубину 8-10 см с последующей заделкой на глубину 18-20 см (табл. 1). Обработка почвы с минимальным углублением (8-10 см) применялась на всех культурах севооборота, с углублением – только на трёх культурах: на второй – озимой ржи, на пятой – озимой ржи и на седьмой последней – овсе. Почва – дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая с агрохимическими показателями: pH_{KCl} – 5,9; Нг – 1,56; S – 12,7 ммоль/100 г; P_2O_5 – 152 и K_2O – 113 мг/кг почвы; гумус – 2,3%.

В опыте высевали районированные сорта: озимой ржи – Фаленская 4; яровой пшеницы – Свеча; гороха в смеси с овсом – Марафон, овса – Кречет, ячменя – Белгородский 100. В отдельные годы складывались неблагоприятные метеорологические условия для исследуемых культур. В 1991 и 1992 гг. – для кукурузы вследствие засухи, 1994 г. – для клевера 1-го и 2-го г.п. (неблагоприятные условия перезимовки), 1997 г. – для ячменя в связи с избытком осадков в мае-июне. Наиболее засушливыми были 2013, 2010 и 2011 гг. Среднемесячное количество осадков составило 36,8; 37,8 и 44,6 мм соответственно против 55,5 мм многолетних показателей, что составляет 66,3; 68,1; 80,4% нормы.

Результаты исследования. Опыты показали положительное влияние ТНК на урожайность культур севооборота. С увеличением доз его внесения урожайность озимой ржи возрастала: на фоне мелкой заделки – до 150 т/га, обычной заделки – до 120 т/га и глубокой заделки – до 180 т/га. Урожайность составила 4,74; 4,53; 4,75 т/га с прибавками 1,09; 0,86; 1,17 т зерн. ед./га при HCP_{05} – 0,15 т/га. Также отзывались на способы заделки компоста последующие за рожью культуры – кукуруза, ячмень и клевер 1-го г.п. (табл. 2).

Наибольшая урожайность клевера 2-го г.п. на фоне мелкой заделки компоста достигла в варианте его внесения в дозе 180 т/га, то же самое наблюдалось при глубокой его заделке. На фоне заделки плугом ПН-4-35 наилучшая доза оказалась 90 т/га.

Таблица 1 – Способы основной обработки почвы в севооборотах (опыт 2)

Чередование культур	Вариант обработки	Способ обработки
Пар чистый, сидеральный	Общим фоном	Заделка сидератов БДТ-2,2. Через неделю запашка на 18-20 см
Озимая рожь	Способ 1	Заделка соломы с внесением азота N_{34} на глубину 8-10 см (ЛДГ-5А)
	Способ 2	Заделка соломы с внесением азота N_{34} на глубину 8-10 см (ЛДГ-5А). Через 1-2 недели запашка на 18-20 см
Яровая пшеница	Общим фоном	Весеннее боронование, предпосевная культивация (КРН-4), обработка орудием РВК-3,6
Клевер 1-го г.п.	Общим фоном	Весеннее боронование. После уборки зелёной массы клевера – дискование в два следа на глубину 8-10 см. Через 3 недели – культивация. Обработка орудием РВК-3,6
Озимая рожь	Способ 1	Заделка соломы ржи с внесением азота N_{34} на глубину 8-10 см (ЛДГ-5А)
	Способ 2	Заделка соломы с внесением азота на 8-10 см. Через 2-3 недели запашка на 18-20 см
Ячмень	Общим фоном	Весеннее боронование, культивация (КРН-4), обработка орудием РВК-3,6
Овёс	Способ 1	Весеннее боронование, культивация (КРН-4), обработка орудием РВК-3,6
	Способ 2	После уборки овса – дискование на глубину 8-10 см. Через неделю запашка на 18-20 см

Таблица 2 – Влияние доз и способов заделки торфогазового компоста на урожайность культур севооборота (среднее по двум закладкам, 1990-1997 гг.), т зерн. ед./га

Доза компоста (ТНК), т/га	Озимая рожь, 1990-1991 гг.	Кукуруза, 1991-1992 гг.	Ячмень, 1992-1993 гг.	Клевер 1 г.п., 1993-1994 гг.	Клевер 2 г.п., 1994-1995 гг.	Картофель, 1995-1996 гг.	Ячмень, 1996-1997 гг.
Заделка компоста БДТ – 2,2 на 8-10 см							
Без удобрений	3,65	2,90	2,54	1,74	2,35	6,52	3,51
60	4,08	3,19	3,13	2,45	2,64	6,74	3,68
90	4,20	3,64	3,30	2,66	2,90	6,60	3,70
120	4,44	3,99	3,26	2,91	2,72	6,42	3,56
150	4,74	4,48	3,71	3,00	2,76	6,64	3,64
180	4,46	4,40	3,38	3,05	3,32	6,41	3,76
Среднее	4,26	3,77	3,22	2,64	2,78	6,56	3,64
Заделка компоста ПН-4-35 на 18-20 см							
Без удобрений	3,67	2,98	2,51	1,98	2,43	6,26	3,02
60	4,09	3,49	3,25	2,46	2,58	6,18	3,19
90	4,45	4,11	3,27	2,67	2,80	6,10	3,29
120	4,53	4,81	3,61	3,03	2,96	6,42	3,22
150	4,51	4,92	3,64	2,93	3,09	6,60	3,24
180	4,56	4,90	3,75	2,98	3,02	6,74	3,22
Среднее	4,30	4,20	3,34	2,68	2,29	6,38	3,20
Заделка компоста ПЯ-3-35 на 25-27 см							
Без удобрений	3,58	2,98	2,61	1,78	2,58	6,02	3,48
60	4,00	3,28	3,06	2,14	2,66	6,34	3,49
90	4,21	3,83	3,29	2,51	2,89	7,20	3,62
120	4,52	4,22	3,36	2,65	2,94	6,32	3,48
150	4,63	4,48	3,69	2,86	3,02	6,29	3,64
180	4,75	4,89	3,85	3,35	3,48	6,59	3,72
Среднее	4,28	3,95	3,31	2,55	2,93	6,46	3,57
НСР ₀₅ для частных различий	0,15	0,17	0,32	0,44	0,38	0,27	0,23
Среднее без удобрений	3,63	2,95	2,55	1,83	2,45	6,27	3,34
Среднее по дозам 60-180 т/га	4,41	4,18	3,44	2,77	2,92	6,51	3,50
Прибавка от ТНК	0,78	1,23	0,89	0,94	0,47	0,24	0,16
НСР ₀₅ для прибавок от доз ТНК по культурам, т зерн. ед./га	0,04	0,10	0,19	0,25	0,22	0,73	0,13

Картофель (6-я культура в севообороте) не реагировал на внесение компоста при мелкой заделке, а при заделке его на обычную глубину (18-20 см) рост урожайности наблюдался с дозы 120 т/га и далее до 180 т/га. Глубокая заделка компоста на 25-27 см обеспечила снижение эффективной дозы его внесения до 60-90 т/га.

Продуктивность севооборота по дозам внесения компоста повышалась на 0,33-0,93 т зерн. ед./га при НСР₀₅ – 0,09 т/га (табл. 3). В среднем за ротацию севооборота по поверхностной заделке компоста дисковой бороной на 8-10 см более эффективной оказалась доза 150 т/га, обеспечившая получение 4,14 (прибавка 0,82; НСР₀₅ – 0,29) т зерн. ед./га. Такую же величину продуктивности севооборота (4,08 т зерн. ед./га) обеспе-

чила заплата меньшей дозы компоста (120 т/га) обычным плугом на глубину 18-20 см. При глубокой заделке компоста продуктивность севооборота по мере увеличения дозы до 180 т/га возрастала до 4,38 (прибавка –1,09) т зерн. ед./га.

Действие компоста на урожайность культур севооборота в дозах до 150 т/га при заделке дисковой бороной на 8-10 см длилось в течение 5 лет. При заделке компоста на глубину 18-20 см – также в течение 5 лет, но меньших доз (до 90 т/га), а более 90 т/га – в течение 6 лет. Внесение компоста с заделкой двухъярусным плугом на глубину 25-27 см в дозах 60-120 т/га оказывало положительное влияние на урожайность культур в течение 7 лет, а более высоких доз – в течение 8 лет.

Таблица 3 – Влияние доз и способов заделки торфонавозного компоста на продуктивность 8-польного севооборота (среднее по двум закладкам), т зерн. ед./га

Дозы ТНК, т/га	Способ заделки компоста							
	БДТ – 2,2 на 8-10 см		ПН – 4 -35 на 18-20 см		ПЯ – 3-35 на 25-27 см		Среднее, НСР ₀₅ – 0,09	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Без удобрений	3,32	-	3,26	-	3,29	-	3,29	-
60	3,70	0,38	3,60	0,34	3,57	0,28	3,62	0,33
90	3,86	0,54	3,81	0,55	3,94	0,65	3,87	0,58
120	3,90	0,58	4,08	0,82	3,93	0,64	3,97	0,68
150	4,14	0,82	4,13	0,87	4,09	0,80	4,12	0,83
180	4,11	0,79	4,16	0,90	4,38	1,09	4,22	0,93
Среднее	3,94	-	3,96	-	3,98	-	3,96	-
НСР ₀₅ способов заделки – 0,11, частных различий – 0,29 т з.ед./га								

Примечание: 1 – продуктивность; 2 – прибавка.

Дозы и способы заделки ТНК по-разному воздействовали на содержание гумуса в почве. При заделке компоста дисковой бороной минерализация органического вещества протекала более интенсивно, и на всех изучаемых вариантах отмечалось снижение содержания гумуса: на контроле и с внесением компоста до 120 т/га на 0,18-0,22%, с внесением более высоких доз – на 0,04 абс.%. Снижение содержания гумуса наблюдалось и при заделке 60 т/га компоста обычным плугом (на 18-20 см) на 0,34-0,43 абс.%. Повышенные дозы (120-180 т/га) увеличили содержание гумуса на 0,02-0,13%.

Глубокая заделка компоста замедлила процесс минерализации. В варианте с внесением его в дозе 60 т/га убыль содержания гумуса была незначительной и составила 0,04-0,06%. При внесении повышенных доз (120-180 т/га) отмечена тенденция его увеличения в слое 10-20 см, а в нижележащем слое 20-30 см – повышение на 0,31-0,36 абс.%.

Применение комбинированной, ярусной системы обработки почвы с глубокой заделкой органических удобрений (по данным исследований С.С. Сдобникова, подтвержденных нами) способствует ускоренному накоплению гумуса за счёт замедленного процесса минерализации органического вещества. Усиленно развивается корневая система растений в нижней части пахотного слоя за счёт удобренной прослойки.

Сидеральные пары в опыте 2 не обеспечили ожидаемого результата. В условиях сильной засухи 2010-2011 гг. более рыхлый пахотный слой иссушался сильнее, чем по чистому пару, в результате чего урожайность озимой ржи в севооборотах с сидератами снижалась: на фоне поверхностной заделки – на 0,24-0,61 т/га, послойной – на 0,20-0,67 при НСР₀₅ – 0,15 т/га (табл. 4). Доказуемое снижение урожайности

яровой пшеницы на 0,30-0,35 т/га (С.4 и С.5) по поверхностной и на 0,24 т/га (С.4) по послойной заделке также обусловлено влиянием засухи. В то же время в севообороте с низкими дозами минеральных удобрений (С 2) на фоне послойной заделки сидераты увеличили урожайность пшеницы на 0,20 при НСР₀₅ – 0,15 т/га. Это свидетельствует о том, что низкие дозы удобрений в условиях засухи оказали более благоприятное воздействие на урожайность, чем повышенные.

В 2012 г. при достаточном количестве выпавших осадков сидераты повысили урожайность горохоовсяной смеси: на фоне поверхностной обработки – на 0,33-0,57 т зерн. ед./га, на фоне послойной – на 0,29-0,78. В 2013 г., в засушливых условиях, сидеральные пары, как правило, снижали урожайность озимой ржи по сравнению с чистым паром. Несмотря на достаточное количество выпавших осадков в 2014 г., сидеральные пары не повлияли на урожайность ячменя.

Наоборот, выявлено существенное снижение урожайности по сравнению с чистым паром: по поверхностной обработке – на 0,08-0,52 т/га, послойной – на 0,65-1,48 (НСР₀₅ – 0,09), что, по-видимому, связано с отдалённостью от времени внесения сидератов.

Повторилось снижение урожайности и в 2015 г. на овсе в севооборотах С.3 и С.5 на фоне поверхностной заделки сидератов и в севооборотах С.4 и С.5 на фоне послойной заделки.

В целом по поверхностной заделке сидератов отмечена тенденция снижения продуктивности севооборотов на 0,02-0,11 т зерн. ед./га по сравнению с севооборотом с чистым паром (НСР₀₅ – 0,12 т/га), а в севообороте С.4 – достоверное снижение. Снижалась продуктивность севооборотов и на фоне послойной заделки сидератов.

Таблица 4 – Влияние сидеральных паров на урожайность культур и продуктивность севооборотов

Севооборот	Вид пара	Урожайность, т зерн. ед./га						Продуктив-ность
		озимая рожь, 2010 г.	яровая пше-ница, 2011 г.	горохоовся-ная смесь, 2012 г.	озимая рожь, 2013 г.	ячмень, 2014 г.	овёс, 2015 г.	
Поверхностный способ заделки сидератов								
С.1	Чистый	2,93	2,70	2,13	2,16	5,98	3,23	3,19
С.2	Сидеральный (горохоовёс)	2,69	2,56	2,24	2,02	5,54	3,45	3,08
С.3	Сидеральный (горчица)	2,62	2,75	2,70	2,11	5,77	3,16	3,17
С.4	Сидеральный (горохоовёс)	2,32	2,35	2,46	2,25	5,46	3,43	3,04
С.5	Сидеральный (горохоовёс + клевер)	2,65	2,40	2,70	2,08	5,90	2,93	3,11
Среднее		2,64	2,56	2,44	2,12	5,73	3,24	3,12
Послойный способ заделки сидератов								
С.1	Чистый	3,08	3,27	2,58	2,29	6,58	3,51	3,55
С.2	Сидеральный (горохоовёс)	2,88	3,47	2,50	2,05	5,10	3,48	3,25
С.3	Сидеральный (горчица)	2,81	3,38	2,87	2,35	5,50	3,62	3,42
С.4	Сидеральный (горохоовёс)	2,41	3,03	3,06	2,26	5,81	3,23	3,30
С.5	Сидеральный (горохоовёс + клевер)	2,72	3,31	3,36	2,16	5,93	3,14	3,44
Среднее		2,78	3,29	2,88	2,22	5,78	3,39	3,39
Среднее по севооборотам		2,71	2,92	2,66	2,17	5,76	3,32	3,26
НСР ₀₅	севооборотов	0,15	0,15	0,14	0,05	0,09	0,12	-
	способов заделки	0,24	0,24	0,19	0,08	0,14	0,19	-
	частных различий	0,34	0,34	0,33	0,68	0,19	0,26	-

Таким образом, эффективность сидеральных паров зависела от условий обеспеченности почвы влагой. Часто повторяющиеся засухи отрицательно влияли на разложение сидератов. В результате этого урожайность культур и продуктивность севооборотов снижалась по сравнению с севооборотом с чистым паром. В благоприятные по метеорологическим условиям годы сидеральные пары значительно повышали урожайность культур и тем самым обеспечивали повышение продуктивности севооборотов.

На продуктивность севооборотов положительное влияние оказывали солома и минеральные удобрения (табл. 5). Несмотря на неблагоприятные погодные условия в отдельные годы, эффективность их была достаточно высокой. В чистом виде солома увеличила продуктивность на 7,1-7,9%, совместно с минеральными удобрениями – на 23,0-31,3%. Эффективное её воздействие на продуктивность севооборота возросло при послойном способе заделки биоресурсов, обеспечившем получение 3,63-3,71 т

зерн. ед./га против 3,30-3,48 т/га при поверхностном способе заделки.

Все культуры положительно отзывались на послойную заделку сидератов и соломы. При этом озимая рожь (1-я культура), ячмень и овёс (последние культуры) – на уровне тенденции. Статистически доказано увеличение урожайности яровой пшеницы, горохоовсяной смеси и озимой ржи (4-й культуры). При послойной заделке сидератов и соломы обеспечивалась однородность пахотного слоя до 20 см и гетерогенность всего слоя 0-27 см, обогащённой нижней прослойкой в 7 см. В ней лучше, чем по поверхностной заделке, сохранялась влага, хорошо развивалась корневая система растений, повышалась урожайность культур. Особенно это важно в условиях недостатка осадков, когда верхний слой почвы быстро иссушается.

Послойный способ заделки соломы по сравнению с поверхностным обеспечил повышение продуктивности севооборота на 0,27 (НСР₀₅ – 0,18) т зерн. ед./га (табл. 6).

Таблица 5 – Влияние минеральных удобрений и соломы на урожайность культур и продуктивность севооборотов (среднее по 5 севооборотам), т зерн. ед./га

Вариант	Урожайность						Среднее (продуктивность)	Прибавка	
	озимая рожь, 2010 г.	яровая пшеница, 2011 г.	гороховёс, 2012 г.	озимая рожь, 2013 г.	ячмень, 2014 г.	овёс, 2015 г.		т зерн. ед./га	%
Поверхностный способ заделки биоресурсов (на 8-10 см)									
Без удобрений	2,45	2,10	2,22	1,88	4,47	2,76	2,65	-	-
N ₁ PK	2,70	2,51	2,39	2,06	5,89	3,47	3,17	0,52	19,8
N ₂ PK	2,78	2,74	2,40	2,23	6,21	3,37	3,29	0,64	24,2
Солома (С)	2,44	2,47	2,40	2,11	4,91	2,83	2,86	0,21	7,9
С + N ₁ PK	2,72	2,71	2,54	2,24	6,08	3,49	3,30	0,65	24,5
С + N ₂ PK	2,77	2,81	2,73	2,24	6,80	3,50	3,48	0,83	31,3
Среднее	2,64	2,56	2,44	2,12	5,73	3,24	3,12	-	-
Послойный способ заделки биоресурсов (на 8-10 и 18-20 см)									
Без удобрений	2,68	2,65	2,82	1,99	4,73	2,81	2,95	-	-
N ₁ PK	2,79	3,17	3,00	2,19	5,88	3,44	3,41	0,47	15,9
N ₂ PK	2,80	3,54	2,79	2,35	6,15	3,63	3,54	0,60	20,3
Солома (С)	2,65	3,29	2,92	2,14	4,88	3,07	3,16	0,21	7,1
С + N ₁ PK	2,84	3,61	3,11	2,32	6,22	3,67	3,63	0,68	23,0
С + N ₂ PK	2,93	3,49	2,88	2,35	6,85	3,75	3,71	0,76	25,7
Среднее	2,78	3,29	2,66	2,22	5,78	3,39	3,40	-	-
Среднее по обраб.	2,71	2,92	2,55	2,17	5,76	3,31	3,26	-	-
НСР ₀₅ вариантов	0,14	0,14	0,11	0,05	0,08	0,11	-	0,10	-
способов обработки	0,24	0,24	0,19	0,08	0,14	0,19	-	0,18	-
частных различий	0,34	0,34	0,33	0,68	0,19	0,26	-	0,35	-

Таблица 6 – Влияние способов заделки соломы на урожайность культур и продуктивность севооборотов с сидеральными парами, т зерн. ед./га

Способ заделки биоресурсов	Озимая рожь	Яровая пшеница	Гороховёс	Озимая рожь	Ячмень	Овёс	Среднее
Поверхностный	2,64	2,56	2,44	2,12	5,73	3,24	3,12
Послойный	2,78	3,29	2,66	2,22	5,78	3,39	3,39
Прибавка	0,14	0,73	0,22	0,10	0,05	0,15	0,27
НСР ₀₅	0,24	0,24	0,19	0,08	0,14	0,19	0,18

Заключение. 1. Внесение торфонавозного компоста в дозах 60-180 т/га обеспечивало повышение урожайности культур 8-польного севооборота: озимой ржи в среднем на 0,78; кукурузы – 1,23; ячменя – 0,89; клевера 1-го г.п. – 0,94; клевера 2-го г.п. – 0,47; картофеля – 0,24; ячменя – 0,16 т зерн. ед./га (НСР₀₅ – 0,09). Средняя их урожайность составила: 4,41; 4,18; 3,44; 2,77; 2,92; 6,51; 3,50 т зерн. ед./га соответственно.

2. При каждом очередном увеличении дозы компоста на 30 т в интервале 0-180 т/га повышалась продуктивность севооборота на 0,33-0,93 т зерн. ед./га (НСР₀₅ – 0,09). Однако в зави-

симости от способов внесения эффективность доз компоста изменялась. На фоне его заделки на глубину 8-10 см выделилась доза 150 т/га с продуктивностью 4,14 (прибавка к контролю без удобрений 0,82) т зерн. ед./га. Аналогичная продуктивность получена (4,08 т зерн. ед./га) от меньшей (120 т/га) дозы на фоне заделки плугом ПН-4-35. При глубокой (на 25-27 см) послойной заделке ярусным плугом ПЯ-3-35 эффективность компоста возрастала по мере увеличения дозы до 180 т/га, продуктивность составила 4,38; прибавка – 1,09 при НСР₀₅ – 0,29 т зерн. ед./га.

3. Действие 150 т/га компоста на урожайность культур севооборота на фоне заделки дисковой бороной длилось в течение 5 лет. На фоне заделки на глубину 18-20 см – также в течение 5 лет, но меньших доз (до 90 т/га), а более 90 т/га – в течение 6 лет. Глубокая заделка 60-120 т/га компоста двухъярусным плугом на глубину 25-27 см оказывала положительное влияние на урожайность культур в течение 7 лет, более высоких доз – в течение 8 лет.

4. Применение торфонавозного компоста в дозах менее 120 т/га не обеспечивало поддержание запасов гумуса на исходном уровне.

5. При поверхностной заделке компоста до 120 т/га дисковой бороной, в результате усиленной его минерализации в аэробных условиях, содержание гумуса снижалась на 0,18-0,22 абс.%. Повышение доз его внесения до 150-180 т/га приводило к стабилизации содержания гумуса.

6. Снижение содержания гумуса наблюдалось и при заделке 60 т/га компоста отвальным плугом ПН-4-35 на 0,34-0,43 абс.%. Повышенные дозы (120-180 т/га) увеличили содержание гумуса на 0,02-0,13%.

7. Заделка компоста на глубину 25-27 см ярусным плугом ПЯ-3-35 замедляла процесс минерализации внесённого компоста. При дозе 60 т/га убыль содержания гумуса составила всего 0,04-0,06 абс.%. Повышенные дозы (120-180 т/га) привели к тенденции его увеличения в слое 10-20 см, а в нижележащем слое 20-30 см – к повышению на 0,31-0,36 абс.%.

8. Послойная заделка сидератов и соломы обеспечила повышение урожайности по сравнению с поверхностной заделкой до четвёртой культуры – озимой ржи включительно. На последних культурах – ячмене и овсе – положительное действие послойной заделки сохранилось на уровне тенденции. В целом сидеральные пары, в связи с часто повторяющимися засушливыми условиями, не обеспечили повышения продуктивности 7-польного севооборота по сравнению с севооборотом чистым паром.

9. Минеральные удобрения увеличили продуктивность севооборота: на фоне поверхностной обработки – на 19,8-31,3%, на фоне послойной – на 15,9-25,7% соответственно по дозам внесения азота. Солома в чистом виде увеличила продуктивность на 7,1-7,9%, совместно с минеральными удобрениями – на 23,0-31,3%.

10. Послойный способ обработки почвы способствовал повышению продуктивности севооборотов на 8,6%.

Список литературы

1. Владыкина, Н.И. Комбинированная разноглубинная система обработки почвы в севообороте / Н.И. Владыкина, Г.П. Дзюин, Н.А. Пегова // Устойчивому развитию АПК – научное обеспечение: материалы Всероссийской научно-практической конференции. 24-27 февраля 2004 г. – Ижевск, 2004. – Т. 1. – С. 45-47.

2. Владыкина, Н.И. Реакция культур зернопаротравянопропашного севооборота на системы основной обработки и удобрения дерново-подзолистой почвы в Среднем Предуралье: автореф. дис. ...канд. с.-х. наук: 06.01.09 / Н.И. Владыкина. – Пермь, 2006. – 23 с.

3. Дзюин, Г.П. Биологизация земледелия в Северо-Восточной зоне Нечерноземья: монография / Г.П. Дзюин, А.Г. Дзюин. – Ижевск: ФГБНУ Удмуртский НИИСХ, 2014. – 202 с.

4. Почвозащитная ресурсо- и энергосберегающая технология возделывания зерновых культур в Удмуртской Республике / В.П. Ковриго, В.М. Холзаков, А.С. Башков [и др.]. – Ижевск, 2000. – 93 с.

5. Ленточкин, А.М. Эффективность ресурсосберегающих почвозащитных систем обработки дерново-подзолистой среднесмытой почвы в севообороте: монография / А.М. Ленточкин, Н.И. Владыкина, Л.А. Ленточкина. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2011. – 176 с.

6. Мальцев, Т.С. О методах обработки почвы и посева. Доклад на Всесоюзном совещании в колхозе «Заветы Ленина» / Т.С. Мальцев. – М.: Сельхозгиз, 1954.

7. Сдобников, С.С. Влияние органического удобрения и способов его заделки на плодородие дерново-подзолистой почвы и урожай культур / С.С. Сдобников, И.Г. Мельцаев // Агрохимия. – 1998. – № 2. – С. 27-30.

8. Сдобников, С.С. Пахать или не пахать? (новое в обработке и удобрении полей) / С.С. Сдобников – 2-е изд. – М., 2000. – 296 с.

Spisok literatury

1. Vladykina, N.I. Kombinirovannaja raznoglubinnaja sistema obrabotki pochvy v sevooborote / N.I. Vladykina, G.P. Dzjuin, N.A. Pegova // Ustojchivomu razvitiju APK – nauchnoe obespechenie: materialy Vserossijskoj nauchno praktičeskoj konferencii. 24-27 fevralja 2004 g. – Izhevsk, 2004. – Т. 1. – S. 45-47.

2. Vladykina, N.I. Reakcija kul'tur zernoparotravjanopropashnogo sevooborota na sistemy osnovnoj obrabotki i udobrenija dernovo-podzolistoj pochvy v Srednem Predural'e: avtoref. dis. ...kand. s.-h. nauk: 06.01.09 / N.I. Vladykina. – Perm', 2006. – 23 s.

3. Dzjuin, G.P. Biologizacija zemledelija v Severo-Vostočnoj zone Nečernozem'ja: monografija / G.P. Dzjuin, A.G. Dzjuin. – Izhevsk: FGBNU Udmurtskij NIISH, 2014. – 202 s.

4. Pochvozashhitnaja resurso- i jenergosberegajushaja tehnologija vozdeľvanija zernovyh kul'tur v Udmurtskoj Respublike / V.P. Kovrigo, V.M. Holzakov, A.S. Bashkov [i dr.]. – Izhevsk, 2000. – 93 s.

5. Lentochnik, A.M. Jeftektivnost' resursos-beregajushhih pochvozashhitnyh sistem obrabotki dernovo-podzolistoj srednesmytoj pochvy v sevooborote: monografija / A.M. Lentochnik, N.I. Vladykina, L.A. Lentochnikina. – Izhevsk: FGBOU VPO Izhevskaja GSHA, 2011. – 176 s.

6. Mal'cev, T.S. O metodah obrabotki pochvy i poseva. Doklad na Vsesojuznom soveshhanii v kolhoze «Zavety Lenina» / T.S. Mal'cev. – M.: Sel'hozgiz, 1954.

7. Sdobnikov, S.S. Vlijanie organicheskogo udobrenija i sposobov ego zadelki na plodorodie dernovo-podzolistoj pochvy i urozhaj kul'tur / S.S. Sdobnikov, I.G. Mel'caev // Agrohimiya – 1998. – № 2. – S. 27-30.

8. Sdobnikov, S.S. Pahat' ili ne pahat'? (novoe v obrabotke i udobrenii polej) / S.S. Sdobnikov – 2-e izd. – M., 2000. – 296 s.

Сведения об авторе:

Дзюин Александр Герценович – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник. ФГБНУ Удмуртский НИИСХ (427007, Удмуртская Республика, Завьяловский район, с. Первомайский, ул. Ленина, 1, e-mail: ugniish@yandex.ru).

A.G. Dzyuin

Udmurt Scientific Research Institute of Agriculture

EFFICIENCY OF PEAT-MANURE COMPOST, GREEN MANURE AND STRAW DEPENDING ON THE DEPTH OF THEIR FINISHES IN SOIL

The aim of the research is to study the influence of the depth of sealing of peat compost (PMC), green manures and straw on their efficiency. Research tasks: to reveal the influence of doses, the depth of embedding of PMC, green manures and straw on productivity, crop rotation productivity and humus content in the soil. In experiment 1 (1989–2000) the alternation of cultures: black pairs, winter rye, maize, barley, clover 1 and 2 year, winter rye, barley. According to the scheme of experience PMC were dosed in doses of 60, 90, 120, 150, 180 tons/ha, mineral fertilizers $N_{60}P_{90}K_{60}$ for winter rye and barley, $N_{90}P_{80}K_{120}$ for corn and $P_{30}K_{45}$ for clover 1 and 2 year. The compost was fixed to a depth of 8–10, 18–20, 25–27 cm. In experiment 2 (2009–2015) the alternation of crops: pure steam, green manure, winter rye, spring wheat, clover 1 year, winter rye, barley, oats. Cedar and straw were sealed to a depth of 8–10 and layered by 8–10 and 18–20 cm. The introduction of PMC in doses of 60–180 tons / ha increased the yields of the first five crops by an average of 0.47–1.23, the subsequent two crops – by 0.24–0.16 (least significant difference – $LSD_{05} = 0.09$) tons of grain units / ha, respectively. Against the backdrop of its superficial closure, a dose of 150 tons / ha was more efficient (productivity was 4.14 tons of grain units / ha). Against the backdrop of plowing plow – 120 tons / ha productivity – 4.08 tons of grain units / ha. With deep composting, the productivity increased as the dose had been increased to 180 tons / ha (4.38 tons of grain units / ha). Deep embedding of 60–120 tons / ha PMCs had been operated on crop yields for 7 years, higher doses – for 8 years. The increase in doses up to 150 tons / ha stabilized the humus content. The deep seal of 120–180 tons / ha PMC had increased its content by 0.31–0.36 abs.%. The layered sealing of the green manures and straw ensured an increase in the yield of four crops as compared to surface plugging, the last crops (barley and oats) at the level of the trend. Straw in its pure form had increased the productivity of crop rotation by 7.1–7.9%, together with mineral fertilizers – by 23.0–31.3%, layer – by – layer sealing – by 8.6%.

Key words: crop rotation; peat-manure compost; dose; green manure; straw; depth of embedding; humus; crop capacity; productivity.

Author:

Dzyuin Alexander Gertsenovich – Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher. Udmurt Scientific Research Institute of Agriculture (1, Lenina Str., Pervomaysky Village, Zavyalovsky District, Udmurt Republic, 427007, e-mail: ugniish@yandex.ru).

УДК 635.64

Е.В. Калмыкова

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ ТОМАТА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ

Приведены результаты исследований по изучению влияния регулятора роста «Энергия-М» на посевные качества семян, рост, развитие, продуктивность и качество плодов томата, выращиваемого в открытом грунте в почвенно-климатических условиях Нижнего Поволжья. В задачи исследований входило изучение сравнительной реакции сортов и гибридов томата на формирование урожайности при обработке регулятором роста по вегетации, научное обоснование урожайности по вариантам опыта. Исследования проводились в 2008-2015 гг. в условиях хозяйства ООО «Урожай» Городищенского района Волгоградской области согласно «Методике опытного дела в овощеводстве и бахчеводстве», «Методике полевого опыта». Полив исследуемых культур осуществлялся системой капельного орошения. Поливы проводили для поддержания предполивного порога влажности почвы в активном слое 80-85% от наименьшей влагоёмкости (НВ) в первой половине вегетации и 70-75% от НВ – во второй половине. В качестве объектов исследования были взяты сорта и гибриды томата: Волгоградский 5/95 (в качестве стандарта), Фоккер F1, Геркулес. Повторность опыта трёхкратная. Расположение делянок систематическое. При выращивании томата в системе капельного орошения применялась схема посева 0,90+0,50 м. Норма высева составляла 1 кг (35 тыс. растений) на гектар. Урожайность томата по вариантам в контроле варьировала по сортам и гибридам от 7,50 до 9,80 кг/м². Применение регулятора роста «Энергия-М» по всей вегетации оказало положительное влияние на урожайность томата и позволило повысить её от 10,15 до 12,62 кг/м².

Ключевые слова: сорта и гибриды томата; технология возделывания томата; регулятор роста; «Энергия-М»; предпосевная обработка семян.

Актуальность. Одной из проблем современного сельского хозяйства является создание экологически чистых агротехнологий, не загрязняющих окружающую среду и позволяющих получать свободную от токсических веществ продукцию. Поскольку в течение длительного времени использовалось избыточное количество химически активных удобрений (приводящих к шлакованию почвы), пестицидов и т.д., кроме этого в последнее время резко снизилось содержание гумуса в почве, эта проблема весьма актуальна, особенно в современных условиях, когда выращивание экологически чистой продукции должно обеспечиваться научно обоснованными методами агроэкологии [9].

Нижнее Поволжье обладает оптимальными природно-климатическими условиями по теплообеспеченности, поступающей световой солнечной энергии и динамике относительной влажности воздуха для развития овощеводства, которое является традиционной отраслью сельского хозяйства и играет важную роль в экономике региона [9, 11].

Заметный рост производства овощной продукции обусловлен, в первую очередь, увеличением посевных площадей, использованием качественных высокоурожайных сортов и гибридов, применением энергосберегающих технологий, научно обоснованных доз минеральных удобрений и средств защиты растений.

Томаты являются широко распространёнными во всем мире овощами. Они наиболее урожайные, имеют большую питательную ценность. В их составе имеются углеводы, органические кислоты, минеральные соли, ароматические вещества и многие витамины [1].

Томаты – основная культура не только во всем мире, но и в овощеводстве зоны Нижнего Поволжья. Современный способ полива – капельное орошение – наиболее отработан для этой культуры. Однако при данном способе полива растения томата часто подвержены физиологическим заболеваниям: вершинной гнили, растрескиваемости плодов и др. [4, 10].

В связи с этим капельное орошение предъявляет повышенные требования к сортам и гибридам томатов. Они должны быть максимально устойчивыми к воздушной засухе, вирусным болезням, обладать высокой жаростойкостью [6].

Реализация целевой программы «Развитие овощеводства в России на 2012-2020 гг.» ставит задачу увеличить производство овощей, расширить ассортимент и улучшить их качество. Для решения этой задачи в последнее время всё чаще применяются регуляторы роста. Они обладают широким спектром действия на растения – направленно регулируют отдельные этапы развития и роста различных сельскохозяйственных культур для повышения урожайности и качества выращиваемой продукции.

Исследования многочисленных учёных указывают на то, что высокая эффективность овощеводства невозможна без применения современной научно обоснованной технологии. Всё большее значение приобретают такие показатели, как фактор сорта, использование биологических препаратов, новых регуляторов роста растений, которые способствуют улучшению роста растений, повышению иммунитета к болезням, стресс-факторам [5, 7].

Применение регуляторов роста является экологически безопасным приёмом повышения урожайности и качества продукции. В зарубежных странах ими обрабатываются от 50 до 80% посевов томатов. В то же время в последние годы увеличился их ассортимент.

Достоинство регуляторов роста растений прежде всего в том, что они не преследуют целей биологического уничтожения вредных организмов, но применяемые даже в микроколичествах, оказывают существенное влияние на ростовые, физиологические и формообразовательные процессы, происходящие в растениях, позволяя человеку управлять развитием последних в нужном для себя направлении [5-8].

Использование регуляторов роста, которых сегодня, импортных и отечественных, великое множество, является резервом повышения урожайности и улучшения качества продукции растениеводства. Особое место среди регуляторов роста растений занимает новый кремнеауксиновый биостимулятор «Энергия-М», разработанный ООО «Флора-Си» совместно с ФГУП ГНЦ РФ «ГНИИХТЭОС», успешно апробированный на практике и нашедший широкое применение в сельскохозяйственном производстве [5].

Использование регулятора роста – нового кремнеауксинового биостимулятора «Энергия-М», позволяет повысить урожайность и улучшить качество продукции [6].

Состав данного препарата обладает высокой биологической активностью, что позволяет воздействовать на растение на протяжении всего вегетационного периода, способствуя лучшему использованию питательных веществ растениями, ускоряя их рост и повышая устойчивость к заболеваниям.

В этой связи возникла необходимость изучения влияния регуляторов роста на развитие и урожайность плодов томата в условиях открытого грунта.

Цель исследований: изучить влияние регуляторов роста на посевные качества семян, рост, развитие, продуктивность плодов томата, выращиваемого в открытом грунте.

Задачи исследований: изучить сравнительную реакцию сортов и гибридов томата на формирование урожайности при обработке регулятором роста по вегетации; научно обосновать урожайность по вариантам опыта.

Материал и методы. Исследования проводились в 2008-2015 гг. в условиях хозяйства ООО «Урожай» Городищенского района Волгоградской области. Почва опытного участка представлена подтипом светло-каштановой почвы. По гранулометрическому составу она относится к средне- и тяжелосуглинистым разновидностям (согласно классификации Н.А. Качинского, 1975) и характеризуется невысоким содержанием гумуса (1,5-2,0%) и гидролизующего азота (3,8-8,9 мг/100 г почвы), средним содержанием подвижного фосфора (2,7-3,5 мг) и повышенным – обменного калия (300-4000 мг/кг), слабощелочной реакцией почвенного раствора.

Исследования в опыте осуществлялись согласно «Методике опытного дела в овощеводстве и бахчеводстве» [8], «Методике полевого опыта» [2, 3].

Полив исследуемых культур осуществлялся системой капельного орошения. Поливы проводили для поддержания предполивного порога влажности почвы в активном слое 80-85% НВ в первой половине вегетации и 70-75% от НВ – во второй половине. Влажность почвы определяли термостатно-весовым методом (ГОСТ 20915-75).

В качестве объектов исследования взяты сорта и гибриды томата: Волгоградский 5/95 (в качестве стандарта), Фоккер F₁, Геркулес. Повторность опыта трёхкратная. Расположение делянок систематическое. При выращивании томата в системе капельного орошения применялась схема посева 0,90+0,50 м. Норма высева составляла 1 кг на гектар (35 тысяч растений).

Подготовка почвы заключалась в зяблевой вспашке на глубину 0,22-0,24 м осенью и в культивации с боронованием ранней весной. Ещё одну культивацию проводили непосредственно перед посевом.

Семена томата для обеззараживания раскладывали по сортам в марлевые мешочки с этикетками и опускали в 1%-ный раствор марганцовокислого калия (1 г кристаллов на 100 мл воды) на 15 минут, после чего промывали в проточной холодной воде в течение 20-30 минут. Регулятор роста «Энергия-М» использовали путём обработки семян перед посевом – замачивание на 30-40 минут (расход рабочего раствора 2 л/кг). После этого семена чуть подсушивали и высевали. Посев осуществлялся сеялкой Агрикола-1,4. Некорневые обработки

проводили на площади 1 га в дозе 15 г на 300 мл воды в течение вегетационного периода (опрыскивание растений в начальный период роста и в фазе бутонизации – начала цветения).

Схема опыта включала следующие варианты:

1. Контроль (замачивание в воде) –
 2. Замачивание семян в препарате «Энергия-М» 1 мл/1 кг семян.
 3. Замачивание семян в препарате + 1 мл/1 кг семян
- первое опрыскивание в начальный период роста + 15 г/га
 - второе опрыскивание в фазе бутонизации – начала цветения 15 г/га

Фенологические наблюдения по вариантам за ростом и развитием растений томата проводились по общепринятым методикам на специально выделенных динамических площадках. Согласно этим методикам у культурных растений определялись даты наступления основных фенологических фаз роста и развития. За начало фазы принимали вступление в неё 10% растений, массовое наступление фазы – по 75% растений.

Биометрические показатели томата определяли периодически, через примерно одинаковые промежутки времени один раз в месяц, начиная с 1 июня. Для этого отбирали типичные для каждого опытного варианта растения и проводили учёт количества листьев, измерения высоты и массы растения, диаметра/размера и массы плодов.

Учёт урожая проводился вручную сплошным способом с последующим разделением продукции на товарную и нетоварную части. В период уборки на каждом варианте опыта определяли структуру урожая по изучаемым культурам.

Полив осуществлялся в течение 4 месяцев, причём за май-июнь оросительная норма составила 2400 м³/га, а за июль-август – 4100 м³/га. Оросительная норма за вегетацию составила 6500 м³/га. Суммарное водопотребление при этом находилось на уровне 7927,0 м³/га, или 792,7 мм (табл. 1).

Таблица 1 – Водный баланс посевов томатов в опыте (среднее за 2008-2015 гг.)

Показатели	Количество
Осадки за период посадка-уборка, мм	95,0
Поливная вода, мм	650,0
Продуктивный запас влаги на начало вегетации, мм	115,6
Продуктивный запас влаги на конец вегетации, мм	38,7
Суммарное водопотребление, м ³ /га	7927,0

Структура суммарного водопотребления сложилась при этом следующим образом: оросительная норма – 6500 м³/га – 82,0%; осадки – 950,0 м³/га – 12,0%; водопотребление из почвы – 477,0 м³/га – 6,0%.

На начальном этапе развития давались небольшие поливные нормы 45-50 м³/га. По мере роста растений водопотребление возрастало до 115 м³/га. Уход за растениями, кроме регулярных поливов, заключался в рыхлении прикорневой зоны.

Результаты исследования. Нами изучено влияние предпосевной обработки семян томата регулятором роста растений. Установлено, что на первых этапах онтогенеза проявлялась эффективность исследуемого регулятора, выражающаяся в изменении направленности биохимических процессов, протекающих в семенах и улучшении посевных качеств семян.

В результате проводимого исследования при использовании «Энергии-М» нами получены следующие результаты (табл. 2). Так, при обработке семян водой (контроль) количество проросших семян составило на сортах Волгоградский 5/95 – 72 и Геркулес – 79, на гибриде Фоккер F₁ – 75 шт. При обработке регулятором роста – 82; 94; 84 растений соответственно по сортам. Анализ исследуемых данных показывает, что предпосевная обработка семян томата раствором регулятора роста по сравнению с контролем повышала всхожесть семян по сорту Волгоградский 5/95 на 10,75%, по сорту Геркулес – на 16,4%, по гибриду Фоккер F₁ – на 10,25%. Срок появления всходов при обработке раствором «Энергия-М» сокращался по сравнению с контролем в среднем по сортам и гибридам на 5 суток и составлял 13 суток.

Результатами исследований установлено, что использование «Энергии-М» в рекомендованной концентрации положительно сказалось на всхожести и сроке появления массовых всходов по сравнению с семенами, не обработанными раствором регулятора роста.

Морфологические данные растений томата получены в ходе полевых исследований. На контрольной делянке высевались семена томата, которые не подвергались обработке препаратами. Раствором регулятора роста обрабатывали семена перед посевом в грунт и в течение вегетации: первое опрыскивание в начальный период роста, второе опрыскивание – в фазе бутонизации – начала цветения.

Благоприятные условия тепло- и влагообеспечения вегетационного периода томатов вызвали ускоренное прохождение фенологических фаз и сокращение межфазных периодов до минимума.

Образование элементов продуктивности на растениях томатов проходило очень активно по фазам вегетации (табл. 3).

В качестве морфометрических показателей взяты высота растения, толщина стебля, число цветков и бутонов. Определение этих показателей проводили в фазу бутонизации и цветения.

Так, в результате применения стимуляторов роста высота растений увеличилась. Она

была выше на варианте с замачиванием семян в препарате «Энергия-М» (1 мл/1 кг семян) + первое опрыскивание в начальный период роста (15 г/га) + второе опрыскивание в фазе бутонизации – начала цветения (15 г/га) относительно варианта без обработки регулятором (контроль): по сорту Волгоградский 5/95 – на 33,75%, по гибриду Фоккер F₁ – на 51,68%, по сорту Геркулес – на 64,16%.

Таблица 2 – Влияние регулятора роста «Энергия-М» на всхожесть семян и срок появления массовых всходов (среднее за 2008-2015 гг.)

Вариант опыта	Число проросших семян, шт.	Всхожесть, %	Число суток от посева до массовых всходов
Волгоградский 5/95			
Контроль (замачивание в воде)	72	72,75	18
Замачивание семян в препарате «Энергия-М» (1 мл/1 кг семян)	82	83,50	15
Фоккер F₁			
Контроль (замачивание в воде)	75	75,25	18
Замачивание семян в препарате «Энергия-М» (1 мл/1 кг семян)	84	85,5	13
Геркулес			
Контроль (замачивание в воде)	79	78,25	18
Замачивание семян в препарате «Энергия-М» (1 мл/1 кг семян)	94	94,65	12
НСР ₀₅	7	0,5	2

Таблица 3 – Морфометрические показатели томата (среднее за 2008-2015 гг.)

Вариант опыта	Высота растения, мм	Толщина стебля, мм	Число цветков и бутонов, шт.
Волгоградский 5/95			
Контроль (замачивание в воде)	720	6,2-6,6	61,3-63,5
Замачивание семян в препарате «Энергия-М» (1 мл/1 кг семян)	825	6,7-7,0	65,2-67,4
Первое опрыскивание в начальный период роста (15 г/га) + второе опрыскивание в фазе бутонизации – начала цветения (15 г/га)	886	7,2-7,4	67,3-73,5
Замачивание семян в препарате «Энергия-М» (1 мл/1 кг семян) + первое опрыскивание в начальный период роста (15 г/га) + второе опрыскивание в фазе бутонизации – начала цветения (15 г/га)	963	7,7-8,2	78,3-83,8
Фоккер F₁			
Контроль (замачивание в воде)	387	4,8-5,3	73,3-75,5
Замачивание семян в препарате «Энергия-М» (1 мл/1 кг семян)	423	5,1-5,4	78,1-80,4
Первое опрыскивание в начальный период роста (15 г/га) + второе опрыскивание в фазе бутонизации – начала цветения (15 г/га)	504	5,5-5,8	82,2-84,5
Замачивание семян в препарате «Энергия-М» (1 мл/1 кг семян) + первое опрыскивание в начальный период роста (15 г/га) + второе опрыскивание в фазе бутонизации – начала цветения (15 г/га)	587	6,3-6,9	87,0-93,4
Геркулес			
Контроль (замачивание в воде)	346	5,2-5,5	67,3-69,5
Замачивание семян в препарате «Энергия-М» (1 мл/1 кг семян)	418	6,1-6,3	70,2-74,6
Первое опрыскивание в начальный период роста (15 г/га) + второе опрыскивание в фазе бутонизации – начала цветения (15 г/га)	484	6,4-6,7	75,4-77,5
Замачивание семян в препарате «Энергия-М» (1 мл/1 кг семян) + первое опрыскивание в начальный период роста (15 г/га) + второе опрыскивание в фазе бутонизации – начала цветения (15 г/га)	568	7,3-7,9	83,7-88,8
НСР ₀₅	34	0,09	1,9

При определении толщины стебля томатов наибольшей толщиной характеризовался стебель при обработке регулятором роста по всей вегетации по исследуемым сортам и гибридам, которая составила в среднем за 2008-2015 гг.: по сорту Волгоградский 5/95 – 7,7-8,2 мм, по гибриду Фоккер F₁ – 6,3-6,9 мм, по сорту Геркулес – 7,3-7,9 мм, что на 1,5-1,6 мм больше, чем в контроле, и на 1,5-1,6 и 2,1-2,4 мм по сортам соответственно. Исследованиями установлено, что регуляторы роста оказали существенное воздействие на количество цветков и завязываемость плодов на растении. После обработок семян томата «Энергией-М» количество цветков на томатах увеличивалось в зависимости от сорта по сравнению с контролем.

Было выявлено, что препарат способствовал увеличению числа цветков и бутонов – на 15,0-20,3 шт. больше, чем в контроле, по сорту Волгоградский 5/95, на 13,7-17,9 шт. по гибриду Фоккер F₁ и на 16,4-19,3 шт. по сорту Геркулес.

Анализ данных таблицы 3 показал, что наилучшие результаты получены при использовании «Энергии-М» по всей вегетации – замачивание семян в препарате (1 мл/1 кг семян) + первое опрыскивание в начальный период роста (15 г/га) + второе опрыскивание в фазе бутонизации – начала цветения (15 г/га).

Процесс плодообразования у томата был весьма растянут, поэтому уборку плодов проводили по мере их созревания. В связи с этим на момент уборки съём плодов осуществляли не со всех растений, а только с тех, на которых плоды достигли технической спелости. Результаты урожайности томатов отражены в таблице 4.

Урожайность томата по вариантам в контроле варьировала по сортам и гибридам от 7,50 до 9,80 кг/м². Тенденция повышения урожайности при использовании регулятора роста наблюдалась на всех вариантах. Применение регулятора роста «Энергия-М» по всей вегетации позволило повысить урожайность томата от 10,15 до 12,62 кг/м². Высокая урожайность отмечалась у сорта Геркулес на варианте с применением регулятора роста «Энергия-М» по всей вегетации и составляла 126,2 т/га. Таким образом, применение стимуляторов роста оказывало положительное влияние на урожайность томата.

Вывод. Применение препарата «Энергия-М» увеличивало энергию прорастания, положительно сказалось на всхожести и сроке появления массовых всходов по сравнению с семенами, не обработанными раствором регулятора роста.

Таблица 4 – Влияние регулятора роста «Энергия-М» на урожайность томата (среднее за 2008-2015 гг.)

Вариант опыта	Урожайность, кг/м ²	Прибавка к контролю, кг/м ²	Урожайность, т/га
Волгоградский 5/95			
Контроль (замачивание в воде)	7,50	-	75,0
Замачивание семян в препарате «Энергия-М» (1 мл/1 кг семян)	8,58	1,08	85,8
Первое опрыскивание в начальный период роста (15 г/га) + второе опрыскивание в фазе бутонизации – начала цветения (15 г/га)	9,35	1,85	93,5
Замачивание семян в препарате «Энергия-М» (1 мл/1 кг семян) + первое опрыскивание в начальный период роста (15 г/га) + второе опрыскивание в фазе бутонизации – начала цветения (15 г/га)	10,15	2,65	101,5
Фоккер F₁			
Контроль (замачивание в воде)	9,40	-	94,0
Замачивание семян в препарате «Энергия-М» (1 мл/1 кг семян)	10,21	0,81	102,1
Первое опрыскивание в начальный период роста (15 г/га) + второе опрыскивание в фазе бутонизации – начала цветения (15 г/га)	10,95	1,55	109,5
Замачивание семян в препарате «Энергия-М» (1 мл/1 кг семян) + первое опрыскивание в начальный период роста (15 г/га) + второе опрыскивание в фазе бутонизации – начала цветения (15 г/га)	11,56	2,16	115,6
Геркулес			
Контроль (замачивание в воде)	9,80	-	98,0
Замачивание семян в препарате «Энергия-М» (1 мл/1 кг семян)	10,54	0,74	105,4
Первое опрыскивание в начальный период роста (15 г/га) + второе опрыскивание в фазе бутонизации – начала цветения (15 г/га)	11,63	1,83	116,3
Замачивание семян в препарате «Энергия-М» (1 мл/1 кг семян) + первое опрыскивание в начальный период роста (15 г/га) + второе опрыскивание в фазе бутонизации – начала цветения (15 г/га)	12,62	2,82	126,2

Примечание: фактор А – НСР₀₅ = 7,07 т/га, фактор В – НСР₀₅ = 4,36 т/га, фактор АВ – НСР₀₅ = 5,52 т/га.

Наибольший эффект регулятора роста растений «Энергия-М» достигался в комплексном применении – при предпосевной обработке семян и обработке растений по вегетации. Препарат способствовал увеличению на 15,0-20,3 шт. числа цветков и бутонов, чем в контроле, по сорту Волгоградский 5/95, на 13,7-17,9 шт. по гибриду Фоккер F₁ и на 16,4-19,3 шт. по сорту Геркулес. Использование регулятора роста «Энергия-М» по всей вегетации позволило повысить урожайность томата на всех сортах и гибридах от 10,15 до 12,62 кг/м². Высокая урожайность отмечалась у сорта Геркулес на варианте с применением регулятора роста «Энергия-М» по всей вегетации и составляла 126,2 т/га. Таким образом, на основании исследований рекомендованы оптимальные приёмы возделывания томатов в условиях Нижнего Поволжья.

Список литературы

1. Гавриш, С.Ф. Томаты / С.В. Гавриш. – М.: Вече, 2005. – 160 с.
2. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Агрпромиздат, 1985. – 351 с.
3. Дружкин, А.Ф. Основы научных исследований в агрономии. Часть 2. Биометрия. / А.Ф. Дружкин, З.Д. Ляшенко, М.А. Панина. – Саратов, 2009. – 70 с.
4. Калмыкова, Е.В. Перспективные направления хранения и транспортировки овощной продукции/ Е.В. Калмыкова, Е.А. Карпачева, Е.С. Таранова // Пути улучшения повышения качества хранения и переработки сельскохозяйственной продукции и её экономическое значение в развитии сельского хозяйства: сборник научных статей / под общ. ред. М.Ю. Пучкова, Т.А. Санниковой, В.А. Мачулкиной. – 2015. – С. 74-79.
5. Приёмы повышения продуктивности томата и картофеля при орошении в Поволжье / Е.В. Калмыкова, Н.Ю. Петров, В.В. Нарусhev [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 4. – С. 36-40.
6. Коринец, В.В. Ресурсосберегающие технологии возделывания паслёновых культур / В.В. Коринец, А.А. Жилкин, А.Ю. Авдеев // Овощеводство и тепличное хозяйство. – 2006. – № 4. – С. 19-22.
7. Лаврентьев, А.А. Современные регуляторы роста растений / А.А. Лаврентьев, А.С. Ступин // Материалы межвузовской научно-практической конференции «Современная наука глазами молодых учёных: достижения, проблемы, перспективы». – Рязань, 2014. – С. 72-79.
8. Методика опытного дела в овощеводстве и бахчеводстве / под ред. В.Ф. Белика. – М.: Агрпромиздат, 1992. – 319 с.
9. Овощеводство будущего: новые знания и идеи: материалы Международной научно-практической конференции молодых учёных «Овощеводство будущего: новые знания и идеи», посвящённой 125-летию со дня рождения Н.И. Вавилова / ГНУ Всероссийский НИИ овощеводства Российской академии сельскохозяйственных наук. – М., 2012. – 378 с.
10. Сутормина, А.В. Влияние степени зрелости на сохраняемость и качество плодов томата сорта Яхонт / А.В. Сутормина // Вестник МичГАУ. – 2014. – № 2. – С. 14-18.
11. Туманян, А.Ф. Агротехника возделывания томатов в аридной зоне / А.Ф. Туманян, Тхань Диеп Ха Тхи // Научно-агрономический журнал. – 2010. – № 2-1 (87).

Spisok literatury

1. Gavrish, S.F. Tomaty / S.V. Gavrish. – M.: Veche, 2005. – 160 s.
2. Dospheov, B.A. Metodika polevogo opyta. – M.: Agropromizdat, 1985. – 351 s.
3. Druzhkin, A.F. Osnovy nauchnyh issledovanij v agronomii. Chast' 2. Biometrija. / A.F. Druzhkin, Z.D. Ljashenko, M.A. Panina. – Saratov, 2009. – 70 s.
4. Kalmykova, E.V. Perspektivnye napravlenija hranenija i transportirovki ovoshhnoj produkcii/ E.V. Kalmykova, E.A. Karpacheva, E.S. Taranova // Puti uluchshenija povyshenija kachestva hranenija i pererabotki sel'skhozajstvennoj produkcii i ejo jekonomicheskoe znachenie v razvitii sel'skogo hozjajstva: sbornik nauchnyh statej / pod obshh. red. M.Ju. Puchkova, T.A. Sannikovej, V.A. Machulkinoj. – 2015. – S. 74-79.
5. Prijomy povyshenija produktivnosti tomata i kartofelja pri oroshenii v Povolzh'e / E.V. Kalmykova, N.Ju. Petrov, V.B. Narushev [i dr.] // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. – 2017. – № 4. – S. 36-40.
6. Korinec, V.V. Resursosberegajushhie tehnologii vozdelevanija pasljonovyh kul'tur / V.V. Korinec, A.A. Zhilkin, A.Ju. Avdeev // Ovoshhevodstvo i teplichnoe hozjajstvo. – 2006. – № 4. – S. 19-22.
7. Lavrent'ev, A.A. Sovremennye reguljatory rosta rastenij / A.A. Lavrent'ev, A.S. Stupin // Materialy mezvuzovskoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Sovremennaja nauka glazami molodyh uchjonyh: dostizhenija, problemy, perspektivy». – Rjazan', 2014. – S. 72-79.
8. Metodika opytnogo dela v ovoshhevodstve i bahchevodstve / pod red. V.F. Belika. – M.: Agropromizdat, 1992. – 319 s.
9. Ovoshhevodstvo budushhego: novye znanija i idej: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii molodyh uchjonyh «Ovoshhevodstvo budushhego: novye znanija i idej», posvjashhjonnoj 125-letiju so dnja rozhdenija N.I. Vavilova / GNU Vserossijskij NII ovoshhevodstva Rossijskoj akademii sel'skhozajstvennyh nauk. – M., 2012. – 378 s.
10. Sutormina, A.V. Vlijanie stepeni zrelosti na sohranjaemost' i kachestvo plodov tomata sorta Jahont / A.V. Sutormina // Vestnik MichGAU. – 2014. – № 2. – S. 14-18.
11. Tumanjan, A.F. Agrotehnika vozdelevanija tomato v aridnoj zone / A.F. Tumanjan, Than' Diep Ha Thi // Nauchno-agronomicheskij zhurnal. – 2010. – № 2-1 (87).

Сведения об авторе:

Калмыкова Елена Владимировна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Технология хранения и переработки сельскохозяйственного сырья и общественное питание». ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (400002, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. Университетский, 26, e-mail: kalmykova.elena-1111@yandex.ru).

E.V. Kalmykova

Volgograd State Agricultural University

FORMATION OF PRODUCTIVITY AND QUALITY OF TOMATOES BASED ON PLANT GROWTH REGULATORS' APPLICATION

Tomatoes are the main culture not only all over the world, but also in the vegetable-growing area of the Lower Volga region. The use of growth regulators is an eco-logical method for increasing crop yields and product quality. The results of researches on the effectiveness of the use of the Energia-M growth regulator in the soil and climatic conditions of the Lower Volga region of the Russian Federation are presented in order to study the effect of growth regulators on the seed quality, growth, development, productivity and quality of tomato fruit grown in the open ground. The research tasks included studying the comparative reaction of tomato varieties and hybrids by the formation of yields for processing by growth regulators in vegetation, and scientifically justifying the yields of the experiment by its structure. Studies were conducted in 2008-2015. In the conditions of the economy of LLC "Urozhay" in the Gorodishchensky district of the Volgograd region, according to the "Technique of an Experimental Business in Vegetable Growing and Melon-growing", "Methods of Field Experiences". The irrigation of the studied crops was carried out by a system of drip irrigation. The irrigation was carried out to maintain the tentative soil moisture threshold in the active layer of 80 ... 85% HB in the first half of the vegetation and 70 ... 75% of the HB in the second half. Varieties and hybrids were taken as objects: Volgograd 5/95 (as a standard), Fokker F1, and Hercules. The repetition of the experiment is threefold. The arrangement of the plots is systematic. During the cultivation of the tomato in the drip irrigation system, the sowing scheme was 0.90 + 0.50 m. The seeding rate was 1 kg per ha (35,000 plants per hectare). The yield of tomato in the variants in the control varied in varieties and hybrids from 7.50 kg / m² to 9.80 kg / m². When the growth regulator Energia-M was used throughout the vegetation, it admitted the increase of the tomato yield from 10.15 kg/m² to 12.62 kg/m². Thus, the use of growth stimulants had had a positive effect on the yield of tomatoes.

Key words: varieties and hybrids of tomatoes; technology of tomato cultivation; growth regulator; Energia-M; pre-sowing seed treatment.

Author:

Kalmykova Elena Vladimirovna – Candidate of Agricultural Sciences, Accosiate Professor of the Department "Technology of Storage and Processing of Agricultural Raw Materials and Food". Volgograd State Agrarian University (26, Universitetsky Avenue, Volgograd, Russian Federation, 400002, e-mail: kalmykova.elena-1111@yandex.ru).

УДК 519.876.5:636.4

Н.И. Кульмакова¹, В.Н. Орлов²

¹ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева;

²Гуманитарно-педагогическая академия – филиал ФГАОУ ВО Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского

АНАЛИЗ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СВИНИНЫ

Рассматривается один из технологических процессов животноводства – технология производства свинины. В получении, сохранении и выращивании здоровых поросят решающую роль играет полноценное кормление свиноматок в супоросный и подсосный периоды. Уровень и качество кормления в период лактации оказывают влияние на содержание питательных веществ в молоке и молочную продуктивность свиноматок. Увеличение продукции свиноводства предлагается осуществить путём введения в состав рационов лактирующих свиноматок биологически активных препаратов для коррекции их метаболизма и повышения молочной продуктивности. На первом этапе проведены эксперименты с препаратом «Селмик». На втором этапе апробирован препарат «Микролакт». Основу этих препаратов составляют солодовые ростки, содержащие минеральные вещества и витамин Е, которые оказывают положительное влияние на молочную продуктивность свиноматок и сохранность полученных от них по-

росят. Добавление в «Микролакт» ряда незаменимых аминокислот – лизина (лизина гидрохлорид) и метионина – усиливает результат, увеличивает объём производства свинины. Лучший рост и сохранность поросят к отъёму в опытных группах свидетельствуют о положительном влиянии данных препаратов как на организм лактирующих свиноматок, так и полученных от них поросят. С целью обоснования позитивности выбранного направления исследований по разработке интенсивных технологий производства свинины применили математическое моделирование, позволяющее проанализировать динамику технологического процесса и определить оптимальный вариант интенсивной технологии. Первая математическая модель позволяет обосновать эффективность применения разработанных препаратов, вторая – определить оптимальный срок использования рабочего материала – свиноматок. В совокупности обе модели позволяют наметить вероятные направления последующих исследований.

Ключевые слова: свиноматка; поросёнок; продуктивность; кормление; математические модели; прогнозирование.

Актуальность. Свиноводство является важнейшей отраслью животноводства, ключевой задачей которой стала интенсификация, предполагающая рост продуктивности и экономической эффективности производства за счёт внедрения новых технологий, в том числе использования в рационах новых видов кормов и кормовых добавок [4-8]. Общеизвестно, что реализация генетического потенциала продуктивности животных зависит от качества кормов, которое определяется их составом и доступностью для животных [8-10].

Известно, что в получении, сохранении и выращивании здоровых поросят решающую роль играет полноценное кормление свиноматок в супоросный и подсосный периоды. Уровень и качество кормления во время лактации оказывают влияние на содержание питательных веществ в молоке и молочную продуктивность свиноматок.

Для нормального роста, развития и обеспечения высокой продуктивности животных аминокислоты должны находиться в рационе в определённом соотношении, поскольку синтез белка в организме происходит только тогда, когда все необходимые аминокислоты поступают в организм одновременно и в нужном количестве. Если рацион не сбалансирован хотя бы по одной незаменимой аминокислоте, то, согласно закону минимума, содержащаяся в недостаточном количестве аминокислота ограничивает использование всех остальных аминокислот и протеина в целом. Восполнить дефицит аминокислоты в рационе можно, вводя в рацион корм с высоким содержанием недостающей аминокислоты.

За последние годы проведены многочисленные исследования по изучению влияния природных и синтетических комплексных витаминно-минеральных препаратов на продуктивность и обмен веществ свиней. Однако многими исследователями отмечается необходимость совершенствования кормовых добавок и поиска новых перспективных препаратов для интенсификации свиноводства [4]. В этой

связи проблема интенсификации производства свинины и получения экологически чистой продукции продолжает оставаться одной из актуальных.

Цель настоящей работы – провести анализ и прогнозирование предлагаемых технологий производства свинины.

Для её достижения нами были разработаны биологически активные препараты «Селмик», «Микролакт». Дана оценка их влияния на продуктивность свиноматок, рост полученных от них поросят и их сохранность. Основой для разработки препаратов «Селмик», «Микролакт» явились экологически чистые и безопасные для организма отходы пивоваренной промышленности – солодовые ростки, имеющие многокомпонентный состав, который включает минеральные вещества и витамин Е, органическую форму селена, незаменимые аминокислоты. На препараты имеется НТД, новизна доказана тремя патентами на изобретения, разработаны рекомендации по использованию биологически активных препаратов в технологии выращивания свиней в условиях Чувашской Республики.

Материал и методы. Анализ питательности рационов супоросных и лактирующих свиноматок в ряде хозяйств Чувашской Республики показал, что они обеспечивали потребность животных в ЭКЕ, сыром и переваримом протеине, Са, Р, витаминах В₁ и В₄. Однако данные рационы по питательности не могут считаться сбалансированными и обеспечивать нормальную продуктивность свиней.

Параметры микроклимата в помещениях для содержания супоросных и лактирующих свиноматок, поросят-сосунов в процессе проведения опытов соответствовали зоогигиеническим нормам.

Учитывая, что в рационах лактирующих свиноматок наблюдался дефицит ряда минеральных веществ, незаменимых аминокислот, витаминов, нами синтезированы и включены в их рацион препараты «Селмик» и «Микролакт».

Препарат «Селмик» (ТУ10.07.26736-09) содержит солодовые ростки, углекислые соли меди, цинка, марганца, хлорид кобальта, йодид калия, органический селен в форме селенметионина и селенцистеина. Препарат «Микролакт» (ТУ 10.07.26737-10), кроме вышеперечисленных компонентов, присутствующих в препарате «Селмик», дополнительно содержит незаменимые аминокислоты – лизин (лизина гидрохлорид) и метионин.

Солодовые ростки содержат витамин Е, участвующий в процессах размножения животного, в обмене жиров, белков, углеводов и способствующий усвоению витамина А и накоплению его в печени.

Комплекс минеральных веществ – углекислые соли меди, цинка, марганца, хлорид кобальта, йодид калия и его стабилизатор, органический селен в форме селенметионина и селенцистеина – включены в состав препарата с учётом биогеохимических особенностей региона и обеспеченности животных микроэлементами, что позволяет сбалансировать рацион по содержанию минеральных веществ в доступной форме. Лизин для свиней считается первой лимитирующей аминокислотой в основных кормах. Следовательно, его соотношение с другими незаменимыми аминокислотами должно стать важнейшим нормируемым фактором питания свиней. Во всех растительных кормах он содержится в недостаточном количестве. Влияет на состояние нервной системы, содержание в тканях калия, формирование костной ткани, синтез гемоглобина, образование в тканях и соотношение ДНК и РНК, развитие эмбрионов, процессы пигментации [4].

Обращая внимание на селен, можно отметить, что биохимическая многогранность селена в процессах обмена веществ убеждает в необходимости оптимизации рационов животных по этому микроэлементу с учётом продуктивных и породных особенностей, а также зональных условий кормопроизводства [5, 7].

Препараты представляют собой сыпучие смеси светло-коричневого цвета со специфиче-

ским хлебно-солодовым запахом, нерастворимы в воде.

Опыты по изучению эффективности препаратов «Селмик» и «Микролакт» проводили на свиноматках крупной белой породы в возрасте 2-4 лет. Свиноматки опытных групп получали к основному рациону «Селмик» в дозе 6,0%, «Микролакт» в дозе 6,5% к суточной норме корма.

Скармливание препаратов свиноматкам проводилось индивидуальным способом с концентратами, ежедневно утром, в период лактации и до осеменения, продолжительностью 60-75 суток.

Результаты исследований. Биологически активные препараты «Селмик» и «Микролакт» на основе солодовых ростков оказали, как свидетельствуют представленные в таблице результаты опытных и контрольной групп, в первом случае и между опытными группами во втором случае положительное влияние на продуктивность свиноматок и сохранность поросят.

Так, наивысшая молочность свиноматок отмечается в опытной группе 2. Она составила $55,81 \pm 0,71$ кг, что выше, чем в контрольной, на 14,1 и на 7,2% по сравнению с опытной группой 1.

Предлагаемые препараты повышают рост и сохранность поросят к отъёму. Живая масса поросёнка к отъёму в опытных группах 1 и 2 была практически одинаковой – 16,86-16,65 кг, но превышала контрольную группу на 8,5 и 7,4% соответственно. Наибольший среднесуточный прирост имели поросята опытной группы 1 – 0,281 кг против 0,242 кг (разница 13,9%) в контроле и 0,259 кг в опытной группе 2. Общая масса гнезда к отъёму в опытных группах 1 и 2 превышала данный показатель контрольной группы в среднем на 16%. Сохранность поросят к отъёму в опытной группе 1 составила 91,3%, в опытной группе 2 – 93,1%, тогда как в контроле – 89,1%.

Лучшие рост и сохранность поросят к отъёму в опытных группах свидетельствуют о положительном влиянии препаратов «Селмик» и «Микролакт» на организм как лактирующих свиноматок, так и полученных от них поросят.

Продуктивность свиноматок

Показатели	Группы (n=10)		
	опытная 1 («Селмик»)	опытная 2 («Микролакт»)	контрольная
Молочность, кг	$51,81 \pm 0,61$	$55,81 \pm 0,71$	$47,96 \pm 0,54$
Живая масса поросёнка к отъёму (2 мес.), кг	$16,86 \pm 0,15$	$16,65 \pm 0,20$	$15,42 \pm 0,13$
Среднесуточный прирост, кг	0,281	0,259	0,242
Общая масса гнезда к отъёму, кг	$159,32 \pm 1,9$	$160,36 \pm 1,96$	$134,15 \pm 2,30$
Сохранность поросят к отъёму, %	91,3	93,1	89,1

Для обоснования технологических процессов производства свинины было использовано одно из современных средств – математическое моделирование, в своём многообразии активно применяемое в экономике сельского хозяйства [18], в медицине [11, 13, 15], в строительстве [1-3], в педагогике [12, 14], в фундаментальных исследованиях [19]. Основной информацией для математической модели является экспериментальная, полученная на базе свиноферм Чувашской Республики. В первом случае проводились исследования препарата «Селмик», а во втором случае – препарата «Микролакт». На первом этапе для опытных групп были построены модели соответственно:

$$1) y_x = 4,3352 + 2,5545x,$$

$$2) y_x = 6,1346 + 2,6021x,$$

где y_x – масса гнезда (кг);

x – временной показатель (сутки). Числовые коэффициенты размерные.

Следует заметить, что приведённая выше таблица содержит статистическую информацию по нескольким параметрам, а в моделях они все аккумулируются в объёме производимой продукции. Если отличие опытных и контрольных групп, как отмечалось выше, явно заметно по статистической информации приведённых параметров, то этого нельзя сказать о результатах опытных групп. Это отличие ярче проявляется в математических моделях, аккумулирующих в себе все качественные показатели в едином результате. В этом проявляется ещё один из позитивных аспектов математического моделирования. Как показывают расчёты, значения второй модели превышают значения первой, что свидетельствует о преимуществе второго препарата. И это преимущество возрастает с увеличением длительности его применения. Учитывая, что во втором варианте дополнительно использованы незаменимые аминокислоты – лизин (лизина гидрохлорид) и метионин, а существующий перечень аминокислот этим не исчерпывается, возникает необходимость поиска новых вариантов аминокислот, позволяющих получить лучший результат в технологическом процессе производства свинины. Работы в этом направлении являются, на наш взгляд, перспективными. Построенные модели по-

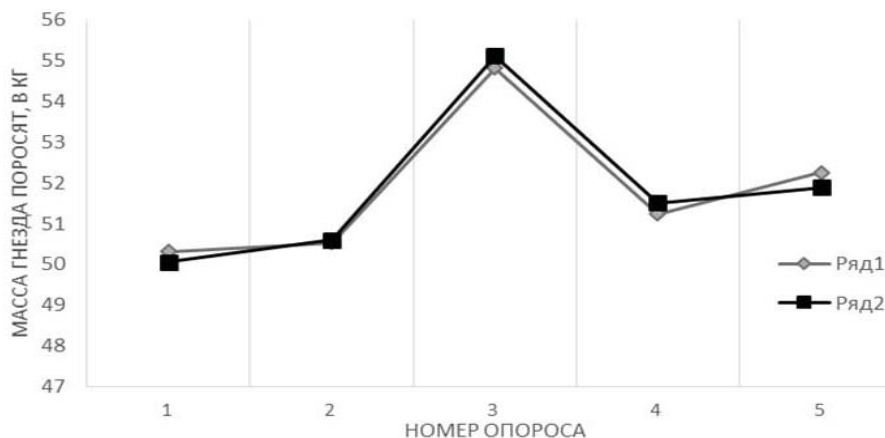
зволяют анализировать динамику изменения массы гнезда и определять временной период технологического процесса производства свинины.

На втором этапе изучается задача, связанная с периодом использования свиноматок в технологическом процессе. В обоих вариантах эксперимента статистическая информация рассматривалась как временной ряд, для которого были построены математические модели с аддитивной структурой. Для наглядности приведём геометрическую интерпретацию одного варианта (рис.).

Показатель качества модели временного ряда $R^2 = 0,9714$ получен на основе дисперсионного анализа. Для прогнозирования использовалась теория, представленная в [17]. Она позволяет получить результат, превосходящий результат на основании подхода, предлагаемого в [19]. Для шестого опороса получены доверительные интервалы соответственно для первого и второго вариантов:

$$50,93 \leq Y_6 \leq 53,93, \quad 51,16 \leq Y_6 \leq 53,78.$$

Анализируя показатели предыдущих опоросов и полученные доверительные интервалы прогнозируемого значения на шестой опорос, можно сделать вывод о неэффективности проведения более трёх опоросов, что подтверждается при проведении экспериментов и объясняется физиологическими особенностями животных, связанными с интенсивной технологией производства свинины. К этому выводу приводит и экономический анализ мероприятий, направленных на повышение результативности опоросов после третьего. При этом следует отметить, что модели второго этапа исследований являются не кусочно-линейными, а целостными, с учётом всех причинно-следственных связей.



Масса гнезда поросят на средневзвешенную опытную свиноматку в зависимости от опороса: ряд 1 – исходная информация; ряд 2 – построенная математическая модель (3)

Список литературы

1. Вывод уравнения движения упругой пластины, находящейся в воздушном потоке / А.В. Бунякин [и др.] // Вестник МГСУ. – 2010. – № 3. – С. 208-212.
2. Ковальчук, О.А. О расчёте зданий с ядрами жёсткости / О.А. Ковальчук // Естественные и технические науки. – 2015. – № 3 (81). – С. 238-240.
3. Ковальчук, О.А. Устойчивость стержневых элементов строительных конструкций / О.А. Ковальчук // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 11. – С. 60-62.
4. Кульмакова, Н.И. Научно-практическое обоснование использования биологически активных препаратов в технологии производства свинины: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.02.10 / Н.И. Кульмакова. – Чебоксары, 2011. – 358 с.
5. Кульмакова, Н.И. Биологически активный комплекс в рационе лактирующих свиноматок / Н.И. Кульмакова, Л.Б. Леонтьев // Вестник АПК Ставрополя. – 2015. – № 3 (19). – С. 104-107.
6. Кульмакова, Н.И. Применение кормовой добавки Микролакт для супоросных свиноматок / Н.И. Кульмакова, Л.Б. Леонтьев // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 3. – С. 57-64.
7. Кульмакова, Н.И. Математическое моделирование технологии воспроизводства свиней / Н.И. Кульмакова, В.Н. Орлов // Вестник Курганской ГСХА. – 2016. – № 2 (18). – С. 40-43.
8. Кульмакова, Н.И. Прогнозирование в технологии воспроизводства свиней / Н.И. Кульмакова, В.Н. Орлов // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – Белгородская ГСХА. – №4(12). – 2016. – С. 130-137.
9. Леонтьев, Л.Б. Физиологический статус дойных коров / Л.Б. Леонтьев, Н.И. Кульмакова // Российский ветеринарный журнал. Сельскохозяйственные животные. – 2012. – № 4. – С. 25-26.
10. Леонтьев, Л.Б. Способ сохранения продуктивного здоровья нетелей / Л.Б. Леонтьев, Н.И. Кульмакова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 1 (33). – С. 107-110.
11. Разработка математической модели для оценки динамики заболеваемости и смертности от сердечно-сосудистых заболеваний на территории Чувашской Республики / В.Н. Орлов [и др.] // Профилактика заболеваний и укрепления здоровья. – М., 2007. – № 5. – С. 44-47.
12. Орлов, В.Н. Качество образования и его достижение / В.Н. Орлов, Н.Е. Пикина // Информатика и образование. – 2008. – №1. – С. 109-110.
13. Математическое моделирование в исследовании результативности экстракорпорального оплодотворения / В.Н. Орлов [и др.] // Казанский медицинский журнал. – 2009. – Т. 90. – № 6. – С. 889-892.
14. Орлов, В.Н. Математическое моделирование в исследовании учебного процесса / В.Н. Орлов, Н.Е. Пикина // Инновации и качество в бизнесе и в образовании: концепции, проблемы, решения: материалы Международной научно-практической конференции (20 – 21 февраля 2009 г., г. Чебоксары). – Чебоксары: Филиал СПбГИЭУ, 2009. – С. 45-49.
15. Пат. № 2355318 Российская Федерация: МПК А 61 В Способ получения оценок нормативных значений содержания микроэлементов в среде обитания человека / Орлов В.Н. [и др.]; заявитель и патентообладатель-авторы; заявл. 26.10.2007; опубл. 20.05.2009, Бюл. № 14. – С. 7.
16. Орлов, В.Н. Математическое моделирование решения дифференциального уравнения Абеля в окрестности подвижной особой точки / В.Н. Орлов, С.А. Редкозубов // Известия Института инженерной физики. – 2010. – № 4 (18). – С. 2-6.
17. Орлов, В.Н. Об одном варианте доверительно-го интервала прогнозируемого значения математической модели / В.Н. Орлов // Вестник РГСУ (Филиал г. Чебоксары). – 2014. – № 1 (30). – С. 128-129.
18. Орлов, В.Н. Математическое моделирование в исследовании воспроизводства кадров массовых профессий в растениеводстве и животноводстве Чувашской Республики / В.Н. Орлов, Т.В. Иванова // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – М., 2016. – № 12. – С. 73-77.
19. Эконометрика: учебник / под ред. И.И. Елисейевой – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.

Spisok literatury

1. Vyvod uravnenija dvizhenija uprugoj plastiny, nachodjashhejsja v vozdušnom potoke / A.V. Bunjakin [i dr.] // Vestnik MGSU. – 2010. – № 3. – S. 208-212.
2. Koval'chuk, O.A. O raschjote zdanij s jadrami zhjostkosti / O.A. Koval'chuk // Estestvennye i tehničeskie nauki. – 2015. – № 3 (81). – S. 238-240.
3. Koval'chuk, O.A. Ustojchivost' sterzhnevyyh jelementov stroitel'nyh konstrukcij / O.A. Koval'chuk // Promyšlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2014. – № 11. – S. 60-62.
4. Kul'makova, N.I. Nauchno-praktičeskoe obosnovanie ispol'zovanija biologičeski aktivnyh preparatov v tehnologii proizvodstva svininy: dis. ... d-ra s.-h. nauk: 06.02.10 / N.I. Kul'makova. – Cheboksary, 2011. – 358 s.
5. Kul'makova, N.I. Biologičeski aktivnyj kompleks v racione laktirujushhih svinomatok / N.I. Kul'makova, L.B. Leont'ev // Vestnik APK Stavropol'ja. – 2015. – № 3 (19). – S. 104-107.
6. Kul'makova, N.I. Primenenie kormovoj dobavki Mikro-lakt dlja suporosnyh svinomatok / N.I. Kul'makova, L.B. Leont'ev // Izvestija Timirjazevskej sel'skohozjajstvennoj akademii. – 2015. – № 3. – S. 57-64.
7. Kul'makova, N.I. Matematičeskoe modelirovanie tehnologii vosproizvodstva svinej / N.I. Kul'makova, V.N. Orlov // Vestnik Kurganskoj GSHA. – 2016. – № 2 (18). – S. 40-43.
8. Kul'makova, N.I. Prognozirovanie v tehnologii vosproizvodstva svinej / N.I. Kul'makova, V.N. Orlov

// Innovacii v APK: problemy i perspektivy. – Belgorodskaja GSHA. – №4(12). – 2016. – S. 130-137.

9. Leont'ev, L.B. Fiziologicheskij status dojnyh korov / L.B. Leont'ev, N.I. Kul'makova // Rossijskij veterinarnyj zhurnal. Sel'skohozjajstvennye zhivotnye. – 2012. – № 4. – S. 25-26.

10. Leont'ev, L.B. Sposob sohraneniya produktivnogo zdorov'ja netelej / L.B. Leont'ev, N.I. Kul'makova // Vestnik Ul'janovskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. – 2016. – № 1 (33). – S. 107-110.

11. Razrabotka matematicheskoy modeli dlja ocenki dinamiki zaboлеваemosti i smertnosti ot serdechno-sudistyh zabolevanij na territorii Chuvashskoj Respubliki / V.N. Orlov [i dr.] // Profilaktika zabolevanij i ukreplenija zdorov'ja. – M., 2007. – № 5. – S. 44-47.

12. Orlov, V.N. Kachestvo obrazovaniya i ego dostizhenie / V.N. Orlov, N.E. Pikina // Informatika i obrazovanie. – 2008. – №1. – S. 109-110.

13. Matematicheskoe modelirovanie v issledovanii rezul'tativnosti jekstrakorporal'nogo oplodotvorenija / V.N. Orlov [i dr.] // Kazanskij medicinskij zhurnal. – 2009. – T. 90. – № 6. – S. 889-892.

14. Orlov, V.N. Matematicheskoe modelirovanie v issledovanii uchebnogo processa / V.N. Orlov, N.E. Pikina // Innovacii i kachestvo v biznese i v obrazovanii: koncepcii, problemy, reshenija: materialy Mezhdunarodnoj

nauchno-prakticheskoy konferencii (20 – 21 fevralja 2009 g., g. Cheboksary). – Cheboksary: Filial SPbGI-JeU, 2009. – S. 45-49.

15. Pat. № 2355318 Rossijskaja Federacija: MPK A 61 B Sposob poluchenija ocenok normativnyh znachenij sodержanija mikroelementov v srede obitanija cheloveka / Orlov V.N. [i dr.]; zajavitel' i patentooblada-tel'-avtory; zajavl. 26.10.2007; opubl. 20.05.2009, Bjul. № 14. – S. 7.

16. Orlov, V.N. Matematicheskoe modelirovanie resh-enija differencial'nogo uravnenija Abelja v okrestnosti podvizhnoj osoboj tochki / V.N. Orlov, S.A. Redkozubov // Izvestija Instituta inzhenernoj fiziki. – 2010. – № 4 (18). – S. 2-6.

17. Orlov, V.N. Ob odnom variante doveritel'nogo in-tervala prognoziruemogo znachenija matematicheskoy modeli / V.N. Orlov // Vestnik RGSU (Filial g. Chebok-sary). – 2014. – № 1 (30). – S. 128-129.

18. Orlov, V.N. Matematicheskoe modelirovanie v issledovanii vosproizvodstva kadrov massovyh pro-fessij v rastenievodstve i zhivotnovodstve Chuvash-skoj Respubliki / V.N. Orlov, T.V. Ivanova // Jekonomika sel'skohozjajstvennyh i pererabatyvajushhh predpri-tatij. – M., 2016. – № 12. – S. 73-77.

19. Jekonometrika: uchebnik / pod red. I.I. Eliseevoj – M.: Finansy i statistika, 2002. – 344 s.

Сведения об авторах:

Кульмакова Наталия Ивановна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры морфологии и ветеринарии. ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, e-mail: kni11@mail.ru).

Орлов Виктор Николаевич – доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой математики, теории и методики обучения математике. Гуманитарно-педагогическая академия, филиал КФУ им В.И. Вернадского (298635, Республика Крым, г. Ялта, ул. Севастопольская, 2, e-mail: Orlovvn@rambler.ru).

N.I. Kulmakova¹, V.N. Orlov²

¹ Russian State Agrarian University after K.A. Timiryazev;

² Humanities and Education Academy – Branch of the Crimean Federal University after V.I. Vernadsky

THE FORECAST ANALYSIS OF THE PORK PRODUCTION TECHNOLOGY

The paper deals with pork production technology, one of the processes of cattle breeding. To facilitate the delivery, maintaining and growing of healthy piglets, it is essential to provide sows with adequate nutrition during the gestation and suckling periods. The level and quality of feeding during the lactation period affect the nutrient content of milk and sows' lactation performance. It is proposed to increase pork production through the introduction of biologically active additives into the diets of lactating sows in order to correct their metabolism and increase lactation performance. During the first stage several experiments with the drug "Selmik" were held. The "Mikrolakt" drug was tested during the second stage. These drugs are based on malt sprouts having the multicomponent composition of minerals and vitamin E, thus positively affecting sows' lactation performance and safety of piglets delivered by them. The addition of a number of essential amino acids - lysine (lysine hydrochloride) and methionine - to the "Mikrolakt" drug strengthens the result, which is the volume of pork production. The best growth and preservation of piglets after weaning in experimental groups testifies to the positive effect of these drugs on both the lactating sow organism and the piglets obtained from them. To substantiate the positive direction of research in the development of intensive pork production technology, it was decided to apply mathematical modeling, allowing to analyze the dynamics of the process and to determine the best intensive option for technology. The first mathematical model allows proving the efficiency of newly developed products, and the second one allows determining the optimal duration of sow's use as working material. Applied together, both models allow identifying the likely direction for further researches.

Key words: sow; piglet; productivity; feeding; mathematical models; forecasting.

Authors:

Kulmakova Nataliya Ivanovna – Doctor of Agricultural Sciences, Department of Morphology and Veterinary. Russian State Agrarian University - Timiryazev Moscow Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, Russian Federation, 127550, e-mail: kni11@mail.ru).

Orlov Viktor Nikolaevich – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Department of Mathematics, Theory and Methods of Teaching Mathematics. Academy of Humanities and Education, V.I. Vernadsky Crimean Federal University (2, Sevastopolskaya Str., Yalta, Republic of Crimea, 298635, e-mail: Orlovvn@rambler.ru).

УДК 631.445.41:631.871

Р.Г. Нагимова, В.С. Сергеев
ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ

ВЛИЯНИЕ ПШЕНИЧНОЙ СОЛОМЫ, АЗОТНОГО УДОБРЕНИЯ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА «СТЕРНЯ» НА ПОКАЗАТЕЛИ ПЛОДОРОДИЯ ЧЕРНОЗЁМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО

Представлены результаты исследований по влиянию пшеничной соломы, азотного удобрения и микробиологического препарата «Стерня» на некоторые показатели плодородия чернозёма выщелоченного в условиях лабораторного эксперимента. Рассматриваются показатели содержания общего гумуса и азота, подвижного гумуса, выделение CO_2 почвой, активности почвенных ферментов. По результатам эксперимента выявлено, что совместное внесение в почву пшеничной соломы, азотного удобрения и микробиологического препарата «Стерня» в значительной мере способствует ускорению процесса разложения и гумификации растительных остатков, увеличению содержания органического вещества и подвижности легкоподвижных органических соединений, повышению интенсивности выделения CO_2 почвой и ферментативной активности чернозёма выщелоченного. Минерализационные потери органического вещества чернозёма выщелоченного увеличиваются при инкубации почвы без внесения растительных остатков яровой пшеницы. Снижение температуры до $+20\text{ }^\circ\text{C}$ уменьшает накопление и подвижность новообразованных гумусовых веществ и продуктов разложения пшеничной соломы по сравнению с температурой $+30\text{ }^\circ\text{C}$.

Ключевые слова: чернозём выщелоченный; пшеничная солома; гумус; азот; дыхание почвы; ферменты.

Солома – один из самых дешёвых и доступных видов органического удобрения, используемого в земледелии. Более 50 пахотных угодий в Республике Башкортостан занято зерновыми культурами. Ежегодный выход соломы зерновых культур может достигать около 4 млн. т, из них третья часть может быть возвращена в почву.

Основным фактором, препятствующим использованию соломы на удобрение, является слабая эффективность её применения в первые годы, а также опасность снижения урожайности возделываемых культур. Одной из главных причин этого является ухудшение азотного питания растений из-за использования минеральных форм азота микрофлорой, разлагающей солому [3]. Также известно, что солома зерновых культур, запаханная на поле, за счёт высокого содержания целлюлозы и кремний-органических соединений имеет длительный период разложения. В условиях республики её

остатки сохраняются в течение 3-4 лет в пахотном горизонте почвы. Солома снижает количество доступной влаги в почве и способствует непродуктивному расходованию запасов почвенного азота из-за широкого соотношения C:N в растительных остатках [1, 7].

На соломе сохраняется до 75% патогенов растений, которые по мере накопления становятся распространителями фитопатогенов, в первую очередь корневых гнилей. Корни растений, как известно, находятся в окружении сообщества микроорганизмов, которые создают своеобразный «чехол» – ризосферу, и являются трофическими посредниками между почвой и растением. Именно микроорганизмы трансформируют трудноусвояемые растениям соединения в доступные, оптимальные для поглощения и обмена веществ, то есть микроорганизмы, населяющие ризосферу растений, напоминают органы пищеварения животных [1, 7].

Интенсификация разложения соломы с помощью азотных удобрений и микробиологических препаратов имеет большое агротехническое значение. Во-первых, повышается эффективность использования органического удобрения. Во-вторых, уменьшается количество растительных остатков в почве, мест сохранения значительного количества фитопатогенов и вредителей. В-третьих, микроорганизмы-сапрофиты выделяют антибиотические вещества, подавляющие жизнедеятельность фитопатогенных организмов, в том числе и возбудителей корневых гнилей [4, 6].

Цель исследований: изучить влияние пшеничной соломы, азотного удобрения и микробиологического препарата «Стерня» на биологические процессы трансформации пшеничной соломы и органического вещества чернозёма выщелоченного.

Материалы и методики. Влияние пшеничной соломы на некоторые показатели плодородия чернозёма выщелоченного изучались в условиях лабораторного эксперимента. Почву из пахотного слоя (1 кг), просеянную через сито с отверстиями 3 мм, смешивали с измельчённой соломой яровой пшеницы и компостировали в течение 12 месяцев при влажности 60% от ПВ на двух уровнях температуры: +30 °С и +20 °С. Опыт включал следующие варианты: 1) контроль (без внесения удобрений); 2) пшеничная солома (из расчёта 3,0 т/га сухой массы); 3) пшеничная солома с добавлением мочевины (30 кг азота мочевины на 3,0 т соломы); 4) пшеничная солома с добавлением микробиологического препарата «Стерня» (1 л биопрепарата на 3,0 т соломы); 5) пшеничная солома с добавлением микробиологического препарата «Стерня» и мочевины (1 л биопрепарата + 30 кг азота мочевины на 3,0 т соломы).

В микробиологическом препарате «Стерня» действующим веществом является комплекс наиболее эффективных селективированных и паспортизированных микроорганизмов, который включает консорциум грибов и бакте-

рий в составе трёх штаммов гриба *Trichoderma*, четырёх штаммов спорообразующих бактерий вида *Bacillus subtilis*, фосфатмобилизующих, азотфиксирующих бактерий и комплекса целлюлолитических ферментов.

Агрохимические показатели почвы: содержание гумуса определяли по ГОСТ 26213-91, содержание общего азота – по Кьельдалю, подвижный гумус – по Тюрину, ферментативную активность (уреаза, дегидрогеназа) – по Галстяну, интенсивность выделения CO₂ из почвы – по Оганову, сумму поглощённых оснований – с трилоном Б, обменную кислотность – потенциметрически по ГОСТ 26483-85.

Исходная почва – чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый среднемощный со следующими агрохимическими показателями: содержание общего гумуса – 7,42%, подвижного гумуса – 0,59%, общего азота – 4092 мг/кг, рН солевой – 5,5, сумма обменных оснований – 42 мг-экв. на 100 г почвы, выделение CO₂ из почвы – 14,0 мг/кг почвы за 24 часа, активность уреазы – 0,30 NH₃ на 1 г почвы за 24 часа, активность дегидрогеназы – 0,11 мг ТФФ на 1 г почвы за 24 часа.

Результаты исследований. Проблема накопления гумуса и его роль в плодородии почвы интересовали учёных с давних времён. Однако и в настоящее время остаётся много вопросов, касающихся процессов гумификации растительных остатков, влияния различных агротехнических приёмов на состав и содержание органического вещества. Особенно актуальными эти вопросы становятся в связи с биологизацией и экологизацией земледелия, способных, по мнению ряда отечественных и зарубежных учёных, остановить потери органического вещества почвы – гумуса [2, 3, 8-10].

Данные проведённых исследований показывают, что после 12 месяцев компостирования почвы на удобренных вариантах повышается содержание гумуса и азота в сравнении с контролем: при температуре +30 °С – на 0,15-0,44% и 231-444 мг/кг, а при +20 °С – на 0,17-0,53% и 252-413 мг/кг почвы (табл.).

Изменение содержания гумуса и азота в чернозёме выщелоченном при внесении солоmistых остатков яровой пшеницы (период инкубации 12 месяцев)

Вариант	Гумус, %		Азот, мг/кг	
	+30 °С	+20 °С	+30 °С	+20 °С
Исходная почва	7,42		4062	
Контроль (без удобрений)	7,37	7,40	4012	4036
Почва+солома пшеничная	7,52	7,57	4243	4288
Почва+солома пшеничная+N30	7,67	7,75	4336	4384
Почва+солома пшеничная+«Стерня»	7,73	7,76	4312	4348
Почва+солома пшеничная+«Стерня»+N30	7,81	7,93	4456	4490
НСР ₀₅	0,08	0,06	28	33

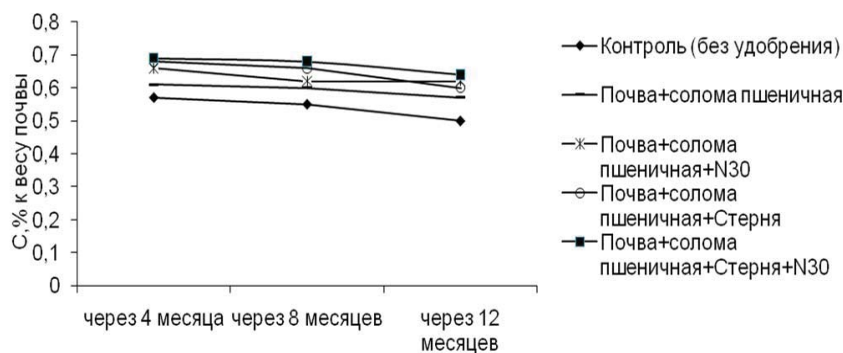


Рисунок 1 – Динамика изменения подвижного гумуса при температуре +30 °С

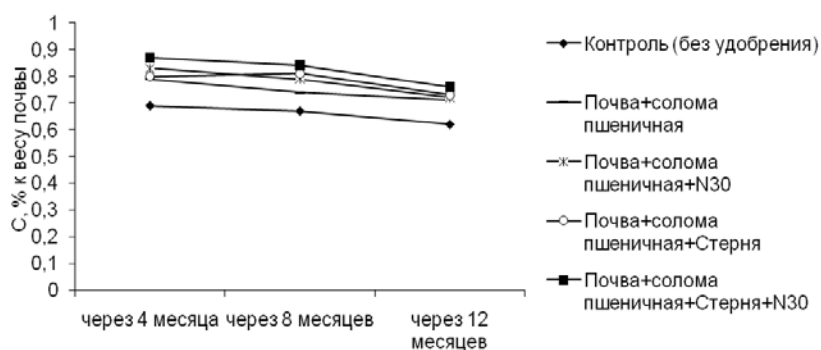


Рисунок 2 – Динамика изменения подвижного гумуса при температуре +20 °С

При снижении температуры до +20 °С уменьшается количество новообразованных лабильных гумусовых веществ и продуктов разложения пшеничной соломы, происходит накопление общего гумуса и азота. При увеличении температуры до +30 °С происходит интенсивное разложение микроорганизмами не только пшеничной соломы, новообразованных лабильных гумусовых веществ, но и стабильного гумуса.

В опытах также отмечено, что в результате минерализации органического вещества на контрольном варианте произошло снижение содержания гумуса и азота, особенно при температуре +30 °С.

Внесение соломы пшеничной с добавлением мочевины и микробиологического препарата «Стерня» способствовало наибольшему увеличению содержания общего гумуса и азота.

Наиболее молодой фракцией гумусовых веществ является гумус, извлекаемый из почвы при непосредственной обработке её 0,1n раствором NaOH, который входит в состав гидрофильного подвижного гумуса. Он является источником образования специфических гумусовых веществ и снаб-

жения растений элементами питания.

Подвижный гумус – это индикатор трансформации органического вещества почвы. Данные показывают, что по истечении 8 месяцев наибольшее его содержание как при температуре +30 °С, так и при +20 °С наблюдалось на варианте с внесением пшеничной соломы, мочевины и микробиологического препарата «Стерня». К концу опыта преимущество по содержанию подвижного гумуса также сохранялось за этим вариантом. Следует отметить, что более высокое его содержание отмечалось при температуре +20 °С (рис. 1, 2).

Отмечено, что при сравнительно небольших различиях в содержании подвижного гумуса между вариантами опыта, минерализационные

потери органического вещества на контрольном варианте значительно выше.

Углекислый газ в почвенном воздухе является продуктом дыхания микроорганизмов, использующих углеродосодержащие органические соединения почвы.

Результаты исследований показали, что в начальный период инкубации почвы на удобренных вариантах происходит усиленное «дыхание» почвы, активный распад органического вещества пшеничной соломы (рис. 3 и 4). Затем наступает замедление разложения, связанное с уменьшением легкодоступных источников питания и накоплением труднорастворимых веществ.

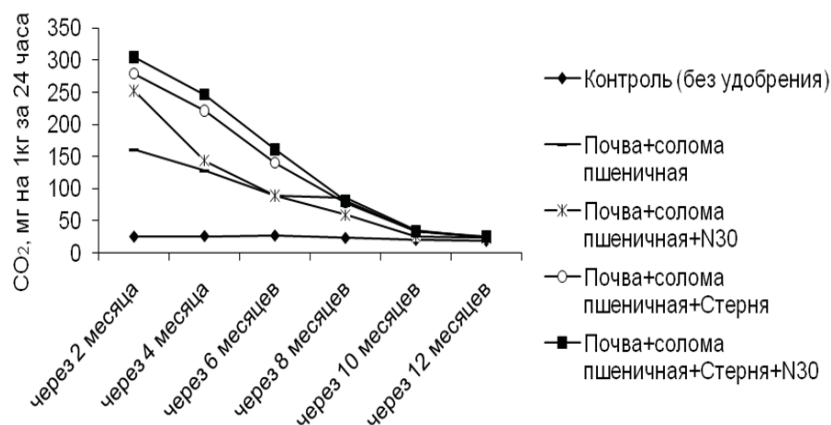


Рисунок 3 – Динамика изменения интенсивности дыхания при температуре +30 °С

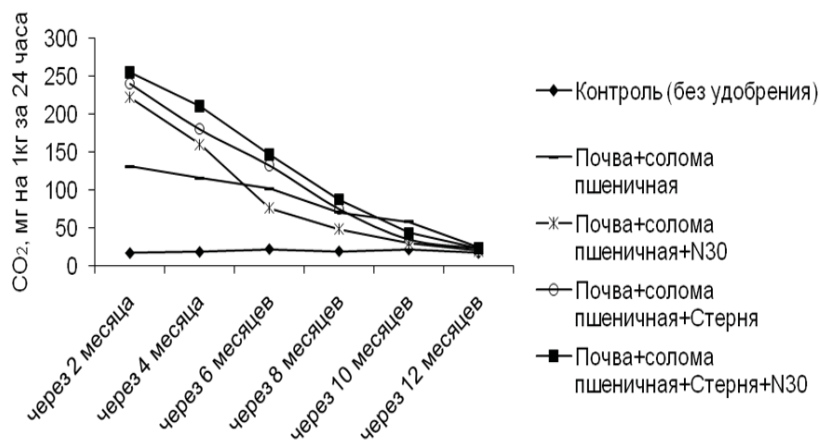


Рисунок 4 – Динамика изменения интенсивности дыхания при температуре +20 °С

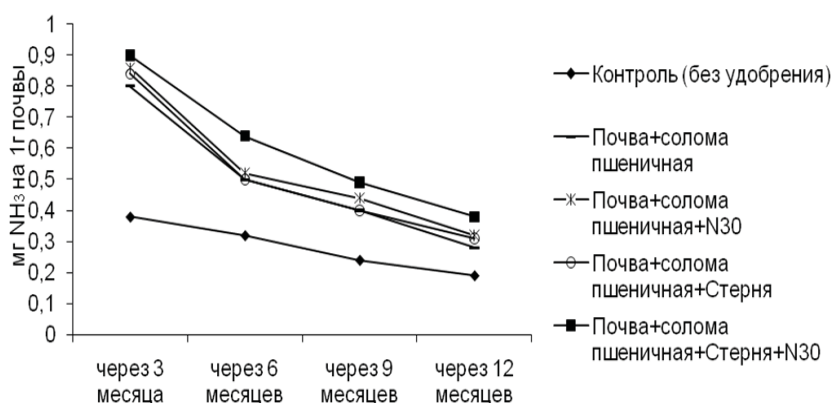


Рисунок 5 – Динамика изменения уреазной активности при температуре +30 °С

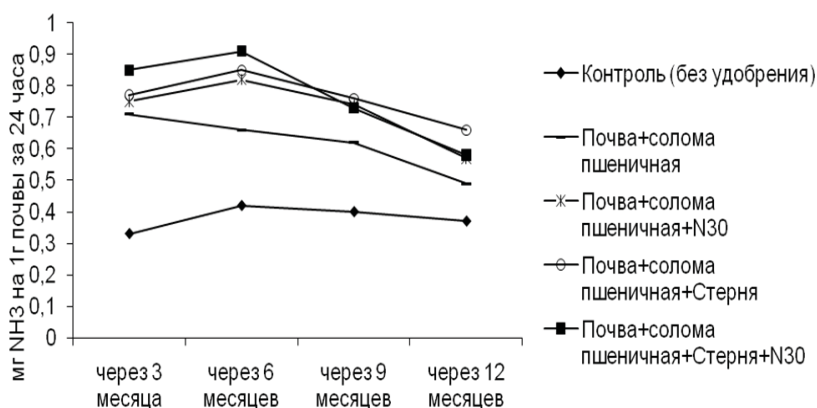


Рисунок 6 – Динамика изменения уреазной активности при температуре +20 °С

Наибольшее выделение CO_2 почвой наблюдалось на варианте с внесением в почву пшеничной соломы и микробиологического препарата «Стерня» и добавлением азота мочевины. В данном случае минеральный азот интенсивно использовался микробным сообществом почвы для образования белковых веществ их клеток, а в процессе дальнейшего разложения

пшеничной соломы – для формирования подвижных лабильных гумусовых веществ. Уменьшение выделения CO_2 почвой на варианте с пшеничной соломой произошло из-за низкого содержания водорастворимых веществ и азотных соединений в растительном материале.

Отмечено, что скорость разложения пшеничной соломы повышается при увеличении температуры до +30 °С, особенно это ярко выражено в начальные периоды проведения опыта.

Биологические процессы трансформации органического вещества в почве ферментативны по своей природе.

Данные свидетельствуют, что гидролитические и окислительно-восстановительные процессы менее выражены на контроле. Повышение биологической активности чернозёма выщелоченного на вариантах с внесением пшеничной соломы, азотного удобрения и микробиологического препарата «Стерня» связано с ростом количества микроорганизмов и активизацией почвенных ферментов уреазы и дегидрогеназы (рис. 5-8).

Внесение в почву соломы пшеничной с добавлением минерального азота и микробиологического препарата «Стерня» способствовало наибольшей активизации почвенных ферментов. К примеру, уреазная активность в этом варианте к концу опыта составила в зависимости от температуры 156-200%, дегидрогеназная активность – 180-207% от

уровня активности на контроле. Необходимые условия для деятельности ферментов складывались и на вариантах с отдельным добавлением в пшеничную солому как мочевины, так и микробиологического препарата «Стерня». В сравнении с контрольным вариантом уреазная и дегидрогеназная активность в этих вариантах возросла в 1,5 раза и более.

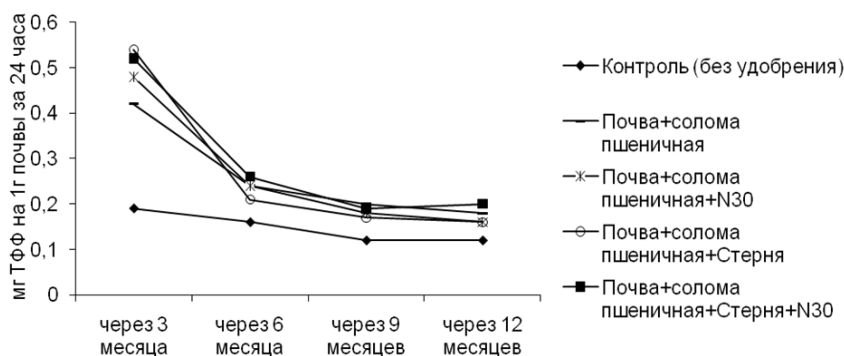


Рисунок 7 – Динамика изменения дегидрогеназной активности при температуре +30 °С

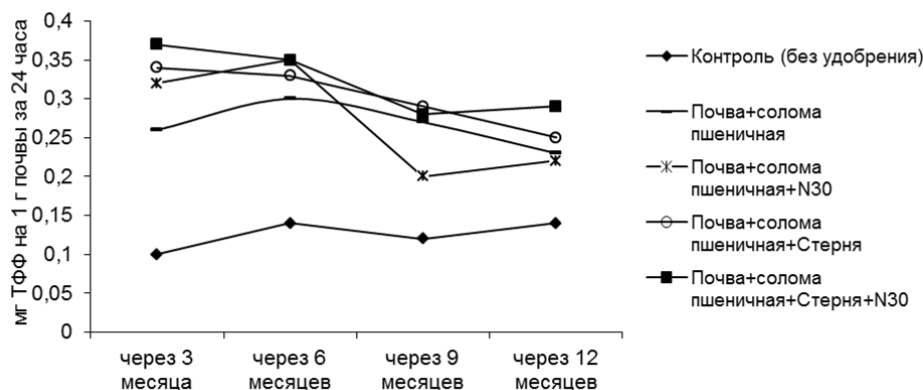


Рисунок 8 – Динамика изменения дегидрогеназной активности при температуре +20 °С

Выводы:

1. Минерализация органического вещества пшеничной соломы зависит от общего уровня биохимической активности чернозёма выщелоченного, внесённого азотного удобрения и микробиологического препарата «Стерня».

2. Внесение дополнительного источника азота минеральных удобрений и микробиологического препарата «Стерня» в почву ускоряет процесс разложения и гумификации пшеничной соломы, увеличивает подвижность гумусовых веществ и повышает биологическую активность чернозёма выщелоченного.

3. Снижение температуры инкубации до +20 °С замедляет минерализацию новообразованных гумусовых веществ и продуктов разложения растительных остатков яровой пшеницы.

Список литературы

1. Богатырева, Е.В. Влияние биопрепаратов на темпы разложения солоmistых остатков озимой пшеницы и продуктивность чернозёма обыкновенного в зоне неустойчивого увлажнения / Е.В. Богатырева // Земледелие. – 2008. – № 8. – С. 34-36.

2. Воронцов В.А. Системы основной обработки чернозёма в Тамбовской области / В.А. Воронцов, Л.Н. Вислобокова, Ю.П. Скорочкин // Земледелие. – 2012. – № 7. – С. 19-21.

3. Куликова, А.Х. Системы основной обработки и гумусное состояние почвы / А.Х. Куликова, А.В. Карпов, Н.В. Семенова // Земледелие. – 2003. – № 5. – С. 27.

4. Хабилов, И.К. Влияние органических удобрений на плодородие серых лесных почв Башкирии / И.К. Хабилов, Ф.Х. Хазиев, Ф.Я. Багаутдинов // Почвоведение. – 1995. – № 4. – С. 465-471.

5. Чуян, Н.А. Влияние внесения навоза и растительных остатков на плодородие чернозёма и продуктивность зернопарового севооборота в условиях лесостепи ЦЧЗ / Н.А. Чуян, Н.П. Масютенко, Р.Ф. Еремина // Агрохимия. – 2008. – № 9. – С. 29-36.

6. Сергеев, В.С. Запасы гумуса в чернозёмах выщелоченных южной лесостепи Республики Башкортостан при сельскохозяйственном их использовании / В.С. Сергеев, И.О.

Чанышев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 1. – С. 38-42.

7. Плодородие выщелоченных чернозёмов при внесении органических удобрений / И.К. Хабилов, В.С. Сергеев, З.З. Аюпов [и др.] // Плодородие. – 2008. – № 3. – С. 21-22.

8. Плодородие чернозёма типичного при минимализации основной обработки / Г.Н. Черкасов, Е.В. Дубовик, Д.В. Дубовик [и др.] // Земледелие. – 2012. – № 4. – С. 23-25.

9. Тихонович, И.А. Микробиологические аспекты плодородия почвы и проблемы устойчивого земледелия / И.А. Тихонович, Ю.В. Круглов // Почвоведение. – 2006. – № 5 (32). – С. 9-12.

10. Корчагин, А.А. Оценка систем удобрений, баланса питательных веществ и гумуса в полевых севооборотах адаптивно-ландшафтных систем земледелия / А.А. Корчагин, Н.И. Шущкевич, М.А. Мазиров // Агротех. вестн. – 2010. – № 3. – С. 25-27.

Spisok literatury

1. Bogatyreva, E.V. Vlijanie biopreparatov na tempy razlozhenija solomistyh ostatkov ozimoj pshenicy i produktivnost' chernozjoma obyknovenenogo v zone neustojchivogo uvlazhnenija / E.V. Bogatyreva // Zemledelie. – 2008. – № 8. – S. 34-36.

2. Voroncov V.A. Sistemy osnovnoj obrabotki chernozjoma v Tambovskoj oblasti / V.A. Voroncov, L.N. Vislobokova // Zemledelie. – 2012. – № 7. – S. 19-21.

bokova, Ju.P. Skorochkin // Zemledelie. – 2012. – № 7. – S. 19-21.

3. Kulikova, A.H. Sistemy osnovnoj obrabotki i gumusnoe sostojanie pochvy / A.H. Kulikova, A.V. Karpov, N.V. Semenova // Zemledelie. – 2003. – № 5. – S. 27.

4. Habirov, I.K. Vlijanie organicheskikh udobrenij na plodorodie seryh lesnyh pochv Bashkirii / I.K. Habirov, F.H. Haziev, F.Ja. Bagautdinov // Pochvovedenie. – 1995. – № 4. – S. 465-471.

5. Chujan, N.A. Vlijanie vnesenija navoza i rastitel'nyh ostatkov na plodorodie chernozjoma i produktivnost' zernopropashnogo sevooborota v uslovijah lesostepi CChZ / N.A. Chujan, N.P. Masjutenko, R.F. Eremina // Agrohimija. – 2008. – № 9. – S. 29-36.

6. Sergeev, V.S. Zapasy gumusa v chernozjomah vyshhelochennyh juzhnoj lesostepi Respubliki Bashkortostan pri sel'skohozjajstvennom ih ispol'zovanii / V.S. Sergeev, I.O. Chanyshv / Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 1. – S. 38-42.

7. Plodorodie vyshhelochennyh chernozjomov pri vnesenii organicheskikh udobrenij / I.K. Habirov, V.S. Sergeev, Z.Z. Ajupov [i dr.] // Plodorodie. – 2008. – № 3. – S. 21-22.

8. Plodorodie chernozjoma tipichnogo pri minimalizacii osnovnoj obrabotki / G.N. Cherkasov, E.V. Dubovik, D.V. Dubovik [i dr.] // Zemledelie. – 2012. – № 4. – S. 23-25.

9. Tihonovich, I.A. Mikrobiologicheskie aspekty plodorodija pochvy i problemy ustojchivogo zemledelija / I.A. Tihonovich, Ju.V. Kruglov // Pochvovedenie. – 2006. – № 5 (32). – S. 9-12.

10. Korchagin, A.A. Ocenka sistem udobrenij, balansa pitatel'nyh veshhestv i gumusa v polevyh sevooborotah adaptivno-landshaftnyh sistem zemledelija / A.A. Korchagin, N.I. Shushkevich, M.A. Mazirov // Agrohim. vestn. – 2010. – № 3. – S. 25-27.

Сведения об авторах:

Нагимова Регина Гайнулловна – аспирант кафедры почвоведения, ботаники и физиологии растений. ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ (450001, Российская Федерация, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, e-mail: regina.nagimova.1989@mail.ru).

Сергеев Владислав Сергеевич – доктор биологических наук, заведующий кафедрой почвоведения, ботаники и физиологии растений. ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ (450001, Российская Федерация, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, e-mail: sergeev-vs@mail.ru).

R.G. Nagimova, V.S. Sergeev
Bashkirian State Agrarian University

INFLUENCE OF WHEAT STRAW, NITROGEN FERTILIZER AND THE MICROBIOLOGICAL PREPARATION "STUBBLE" ON THE FERTILITY OF LEACHED CHERNOZEM

The article presents the results of studies on the effect of wheat straw, nitrogen fertilizer and the microbiological preparation "Stubble" on some indicators of fertility of leached Chernozem in conditions of laboratory experiment. Discusses the concentrations of total nitrogen and humus, mobile humus, the release of CO₂ by the soil, activity of soil enzymes. The results of the experiment revealed that the combined soil application of wheat straw, nitrogen fertilizer and the microbiological preparation "Stubble" greatly accelerates the process of decomposition and humification of plant residues, increase the content of organic matter and mobility legkomotornyh organic compounds, increase the intensity of the release of CO₂ by the soil and the enzymatic activity of leached Chernozem. Mineralization loss of organic matter of leached Chernozem increased by incubation of the soil without any crop residues of spring wheat. Lowering the temperature to +20°C reduces the accumulation and mobility of newly-formed humic substances and products of decomposition of wheat straw than at the temperature of +30° C.

Key words: leached Chernozem; wheat straw; humus; nitrogen; soil respiration; enzymes.

Authors:

Nagimova Regina Gainullova – graduate student of Department of soil science, botany and physiology of plants. Bashkir State Agrarian University (34, 50-letiya Oktyabrya Str., Ufa, Russian Federation, 450001, e-mail: regina.nagimova.1989@mail.ru).

Sergeev Vladislav Sergeevich – Doctor of Biological Sciences, the Head of soil science, botany and physiology of plants. Bashkir State Agrarian University (34, 50-letiya Oktyabrya Str., Ufa, Russian Federation, 450001, e-mail: sergeev-vs@mail.ru).

М.В. Беляков

Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Смоленск

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВСХОЖЕСТИ СЕМЯН РАСТЕНИЙ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫМ МЕТОДОМ

Целью работы является разработка метода определения всхожести семян растений по их люминесцентным свойствам. Для создания теоретической базы метода оптической люминесцентной диагностики исследованы спектральные характеристики возбуждения (поглощения) $\eta_3(\lambda)$ и люминесценции $\varphi_3(\lambda)$ семян сельскохозяйственных растений различной всхожести ($V, \%$). Для получения партий семян различной всхожести использован метод искусственного состаривания. Измерение характеристик проводили на дифракционном спектрофлуориметре «Флюорат-02-Панорама» по ранее разработанной методике в областях поглощения и свечения семян. Исследовали семена пшеницы, ржи, тритикале, ячменя, овса, гороха, фасоли и горчицы. По полученным спектральным характеристикам в программе RapogataPro рассчитывали относительный поток фотолюминесценции Φ и строили градуировочные характеристики анализатора люминесценции как зависимости всхожести от потока. Данные зависимости с погрешностью не более 7-14% могут быть аппроксимированы линейными функциями. Данная погрешность может быть уменьшена при интегральных по поверхности семян измерениях. При этом для всех семян зависимости $V(\Phi)$ являются падающими. Полученные зависимости могут быть градуировочными характеристиками прибора экспресс-контроля качества зерна, проектируемого на основе анализа кривых поглощения и фотолюминесценции. Анализатор люминесценции с источником излучения, излучающим в диапазоне с максимумами 370-430 нм, и приёмником излучения с диапазоном чувствительности 410-650 нм может анализировать всхожесть и влажность семян следующих культур: зерновые (пшеница, рожь, тритикале, ячмень, овёс), зернобобовые (горох, соя, фасоль), овощные (тыква, огурец, перец, томат, свёкла). Такой анализатор является наиболее универсальным, так как работает в спектральном диапазоне люминесценции большинства культур.

Ключевые слова: семена растений; всхожесть; спектр возбуждения; спектр люминесценции; поток люминесценции; линейная аппроксимация; градуировочная характеристика.

Актуальность. Определение всхожести семян сельскохозяйственных растений крайне важно как при посеве, так и при хранении. Однако традиционные методы определения всхожести по ГОСТ 12038-84 требуют широкого набора оборудования и расходных материалов, а главное – длительны по срокам определения. Другие экспресс-методики определения состояния семян тоже имеют недостатки, связанные с частичным или полным разрушением семени.

Перспективными являются оптические люминесцентные методы, являющиеся экспрессными, бесконтактными и неразрушающими. В их основе лежит знание спектральных люминесцентных свойств семян растений различной всхожести. Для их определения были подготовлены семена сельскохозяйственных растений различной всхожести, полученные путём искусственного состаривания.

Целью работы является разработка метода определения всхожести семян растений по их люминесцентным свойствам. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1) измерение спектральных характеристик возбуждения и люминесценции семян сельскохозяйственных растений различной всхожести;

2) анализ полученных зависимостей и расчёт относительных потоков люминесценции;

3) аппроксимация зависимостей всхожести от потока люминесценции для построения градуировочных характеристик портативного экспресс-анализатора всхожести;

4) разработка технологии экспресс-анализа всхожести семян сельскохозяйственных растений.

Материал и методы. Состаривание (уменьшение всхожести) проводили, помещая семена в закрытые сосуды с насыщенным раствором NaCl, который создаёт в закрытой атмосфере постоянную относительную влажность воздуха 75% при температуре 38 °С. Путём поочередной выемки в течение 7...56 суток получали партии семян различной всхожести. Из состаренных семян отбирали по 100 штук, у которых измеряли спектры возбуждения и люминесценции. Для измерения спектральных характеристик использовали спектрофлуори-

метр «Флюорат-02-Панорама» [8], с программным обеспечением PanoramaPro. Измерение спектров возбуждения (поглощения) и люминесценции семян проводили по ранее разработанной методике [1, 3]. Отбирали воздушно-сухие семена примерно одинакового размера, без видимых повреждений и посторонних пятен. Вначале проводили синхронное сканирование в диапазоне 180-720 нм при постоянном смещении монохроматоров возбуждения и регистрации с целью получения предварительного спектра возбуждения. Затем, возбуждая семена монохроматическим излучением максимума синхронного спектра, получали спектр испускания (фотолюминесценции) $\Phi_{\lambda}(\lambda)$. По полученному спектру испускания, настроив монохроматор канала регистрации на максимум, получали уточнённый спектр возбуждения $\eta_{\lambda}(\lambda)$. В дальнейшем измерения проводили в спектральных диапазонах типовых спектров семян [5].

Измерения проводили в одинаковых условиях. По результатам измерений выполняли статистическую обработку с усреднением по 100 спектрам. Исследования проводили с семенами пшеницы, ржи, тритикале, овса, ячменя, гороха, фасоли и горчицы.

Результаты исследования. В качестве примера приведём результаты исследований семян тритикале (рис. 1). В качестве исходной партии были взяты семена тритикале высокой всхожести – 100%. Результаты состаривания и погрешность измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты состаривания семян тритикале

Срок состаривания	Всхожесть, %	Количество дней на состаривании	Погрешность измерений потока люминесценции, %	
			$\alpha=0,5$	$\alpha=0,9$
0 срок	100,0	0	1,9	4,7
1-й срок	98,50	3	2,4	5,9
2-й срок	64,25	7	2,5	6,2
3-й срок	48,00	9	2,0	4,9
4-й срок	38,00	14	2,5	6,3
5-й срок	24,50	20	2,3	5,7
6-й срок	14,75	26	2,3	5,7

Семена с всхожестью $B=100\%$ имели наименьший сигнал люминесценции – 9,31 о.е. После начала состаривания уровень начал повышаться: для 1, 2, 3, 4, 5, 6-го сроков состаривания уровень сигнала составил 9,48 – 12,68 о.е.

Для семян со всхожестью 14,75% сигнал люминесценции наибольший – 12,68 о.е. Стоксов сдвиг от всхожести никак не зависит, что следует из таблицы 2. Интеграл от спектра люминесценции, являющийся относительным потоком люминесценции Φ , с уменьшением всхожести увеличивается, это видно на рисунке 2. Поток люминесценции возрос в 1,4 раза.

Относительная погрешность измерений характеристик семян тритикале для всех значений всхожести практически одинакова, поэтому можно пользоваться средней погрешностью 2,3% для надёжности $\alpha=0,5$; 5,6% для надёжности $\alpha=0,9$.

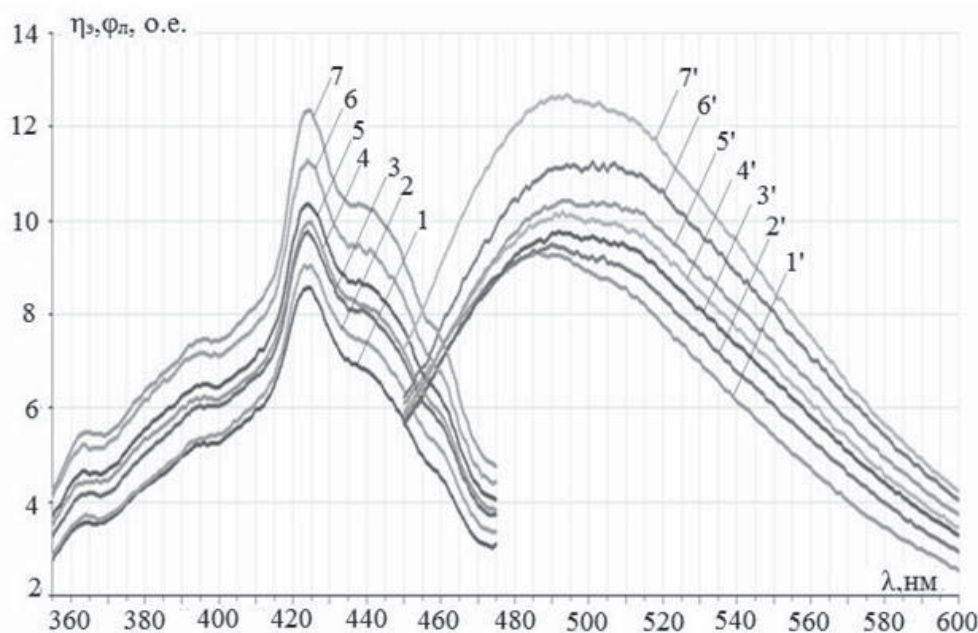


Рисунок 1 – Спектральные характеристики возбуждения и люминесценции семян тритикале: 1 и 1' – спектры со всхожестью 100%; 2 и 2' – спектры со всхожестью 98,5%; 3 и 3' – спектры со всхожестью 64,25%; 4 и 4' – спектры со всхожестью 48%; 5 и 5' – спектры со всхожестью 38%; 6 и 6' – спектры со всхожестью 24,5%; 7 и 7' – спектры со всхожестью 14,75%

Таблица 2 – Результаты обработки спектров тритикале в программе PanoramaPro

B, %	Спектр возбуждения			Δλ, нм	Спектр люминесценции		
	Н, о.е.	λ _{п.макс.} , нм	η _{п.макс.} , о.е.		Ф, о.е.	λ _{п.макс.} , нм	Ф _{п.макс.} , о.е.
100,0	631	424	8,56	85	973,5	486	9,31
98,50	669	425	9,04	85	1024	490	9,48
64,25	737	424	9,74	84	1080	492	9,76
48,00	762	425	9,95	84	1126	493	10,2
38,00	799	424	10,4	84	1172	495	10,4
24,50	875	424	11,3	82	1265	501	11,3
14,75	938	424	11,4	85	1397	494	12,7

Пик максимума люминесценции возрастает и увеличивается в 1,4 раза. Измерения проводились в одинаковых условиях, но при этом пик спектра люминесценции сильно не меняется, максимум люминесценции приходится на 486-501 нм. Пик максимума возбуждения возрастает и увеличивается в 1,3 раза.

Диапазон находится в пределах 424-425 нм. Спектры возбуждения и люминесценции семян качественно схожи между собой.

Далее построим зависимости потока люминесценции от всхожести и всхожести от потока с указанием границ доверительных интервалов.

Уравнение линейной зависимости потока люминесценции от всхожести имеет вид

$$\Phi = -4,023B + 1371. \quad (1)$$

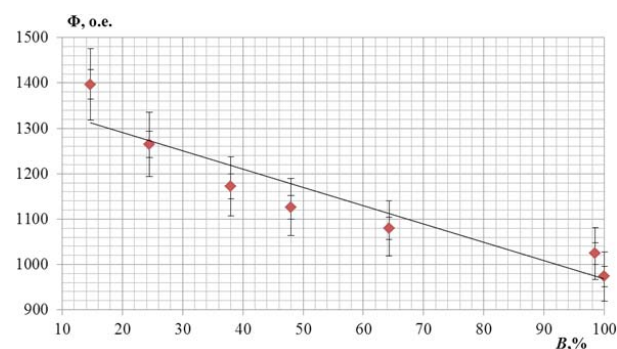


Рисунок 2 – Зависимость потока люминесценции семян тритикале от их всхожести (диапазоны относительной погрешности для надёжности α=0,5 и 0,9)

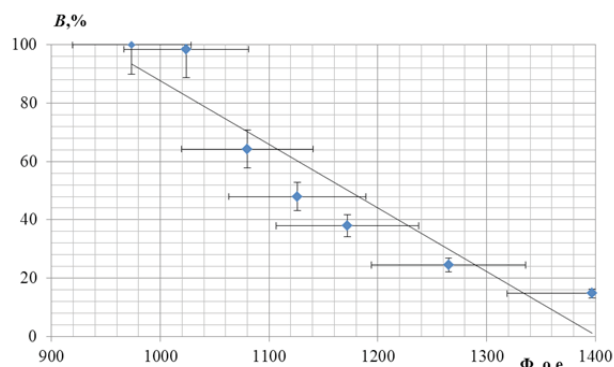


Рисунок 3 – Зависимость всхожести семян тритикале от их потока люминесценции (диапазоны относительной погрешности по оси Y для надёжности α=0,9)

Выражая зависимость всхожести от потока люминесценции (рис. 3), получим

$$B = -0,2179\Phi + 305,7. \quad (2)$$

В связи с тем, что в ГОСТ 12038-84 допускается отклонение от среднего арифметического значения не более 10%, можно принять максимальную относительную погрешность определения всхожести ±10%.

Для семян других растений зависимости V(Φ) представлены на рис. 4-11, аппроксимационные уравнения – в формулах (3)-(9). Более подробные результаты для семян пшеницы и овса представлены в [2].

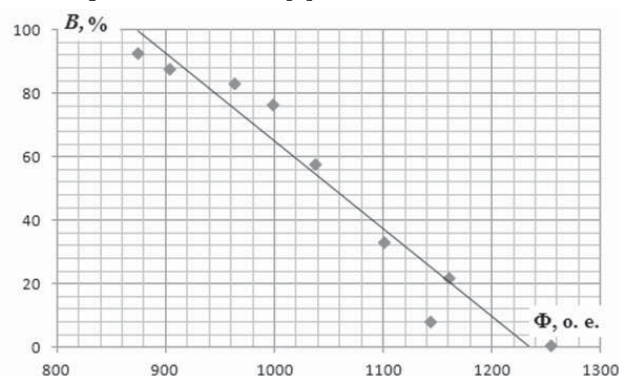


Рисунок 4 – Зависимость всхожести семян пшеницы от их потока люминесценции

Уравнение линейной аппроксимации:

$$B = -0,276\Phi + 340,9. \quad (3)$$

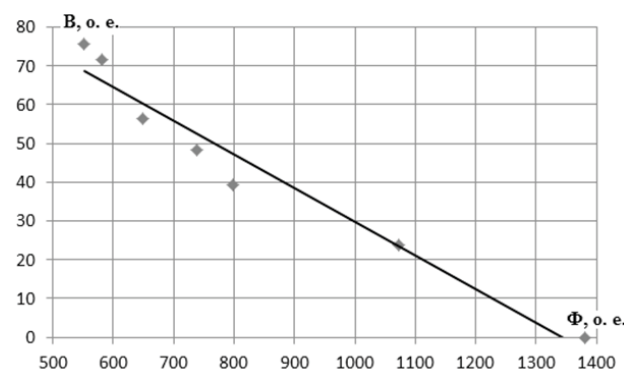


Рисунок 5 – Зависимость всхожести семян ржи от их потока люминесценции

Уравнение линейной аппроксимации:

$$B = -0,087\Phi + 116,74. \quad (4)$$

Уравнение линейной аппроксимации:

$$B = -0,0949\Phi + 121,65. \quad (5)$$

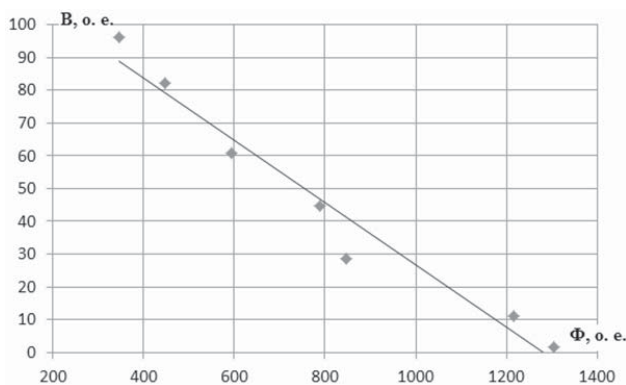


Рисунок 6 – Зависимость всхожести семян ячменя от их потока люминесценции

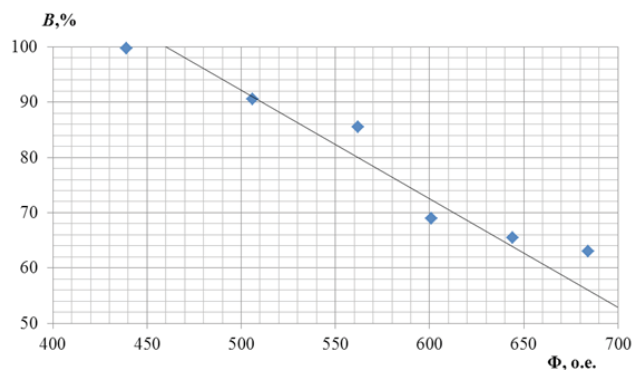


Рисунок 9 – Зависимость всхожести семян белой фасоли от их потока люминесценции

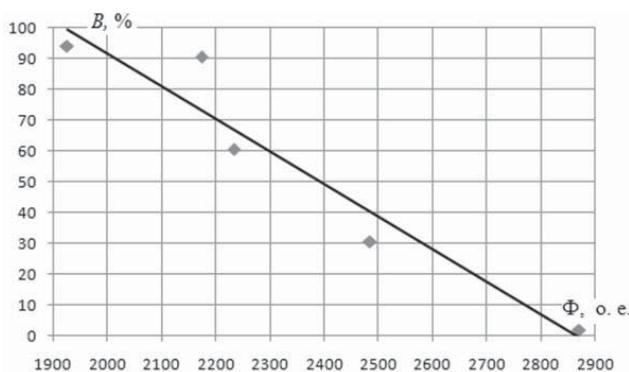


Рисунок 7 – Зависимость всхожести семян овса от их потока люминесценции

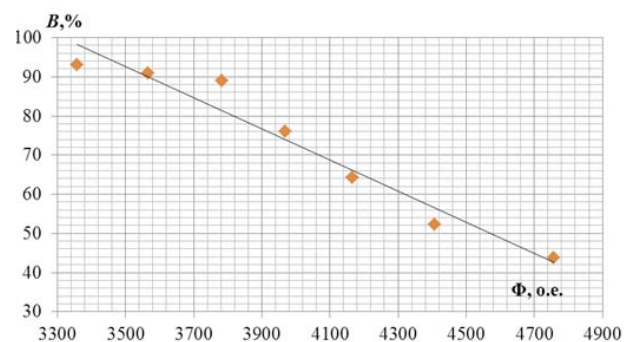


Рисунок 10 – Зависимость всхожести семян горчицы от их потока люминесценции

Уравнение линейной аппроксимации:

$$B = -0,106\Phi + 303,4. \quad (6)$$

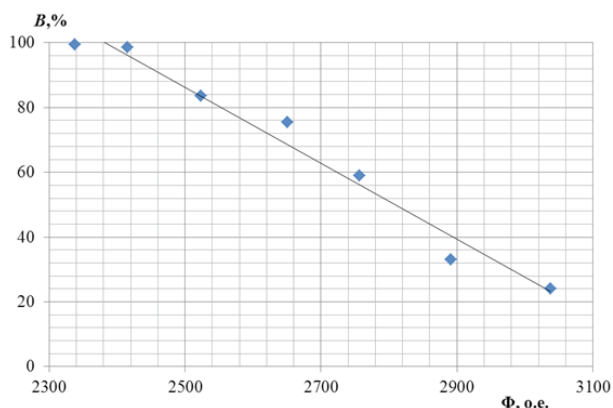


Рисунок 8 – Зависимость всхожести семян гороха от их потока люминесценции

Уравнение линейной аппроксимации:

$$B = -0,1169\Phi + 378,5. \quad (7)$$

Уравнение линейной аппроксимации:

$$B = -0,1961\Phi + 190,1. \quad (8)$$

Уравнение линейной аппроксимации:

$$B = -0,040\Phi + 231,7. \quad (9)$$

Коэффициенты аппроксимации зависимости B от Φ семян различных культур сведены в таблицу 3. Аппроксимационные зависимости являются значимыми [6].

Таблица 3 – Коэффициенты аппроксимации зависимости B от Φ

Культура	b_1	b_0
Пшеница	-0,276	340,9
Рожь	-0,087	116,7
Тритикале	-0,218	305,7
Ячмень	-0,095	121,7
Овёс	-0,106	303,4
Горох	-0,117	378,5
Фасоль белая	-0,196	190,1
Горчица	-0,040	231,7

Для всех культур коэффициент $b_1 < 0$, что соответствует убывающей зависимости B от Φ . Коэффициент b_0 находится в диапазоне 116,7...378,5.

Анализаторы качества семян, измеряющие потоки люминесценции и имеющие линейную градуировочную характеристику, работают следующим образом. Прибор устанавливается на горизонтально выровненный слой семян (разровнённый бурт) расположенным внизу входным отверстием. После этого прибор включается, выбирается вид семян и производится возбуждение семян излучением источника и измерение сигнала люминесценции приёмником излучения. Процесс происходит 2-3 секунды с усреднением результата. Полученный фо-

тоток, пропорциональный потоку Φ , усиливается усилителем и попадает в микропроцессор, где обрабатывается в соответствии с имеющейся в его памяти линейной градуировочной характеристикой $V(\Phi)$. На индикаторе прибора отображается значение всхожести. Желательно провести измерения несколько раз на нескольких участках бурта с усреднением полученных результатов.

Обобщая результаты исследований, представленные в [2, 5, 6], можно сказать, что анализатор люминесценции с источником излучения, излучающим в диапазоне с максимумами 370-430 нм, и приёмником излучения с диапазоном чувствительности 410-650 нм может анализировать всхожесть и влажность семян следующих культур: зерновые (пшеница, рожь, тритикале, ячмень, овёс), зернобобовые (горох, соя, фасоль), овощные (тыква, огурец, перец, томат, свёкла). Такой анализатор является наиболее универсальным, так как работает в спектральном диапазоне люминесценции большинства культур.

Для семян кукурузы необходимо возбуждение в диапазоне примерно 390 нм, а приёмник излучения можно оставить тот же, что и для большинства культур.

Для семян проса спектры смещены в длинноволновую область, поэтому необходимо использовать источник излучения с максимумом примерно на 485 нм и приёмник излучения с диапазоном чувствительности 450...800 нм.

Спектры семян чечевицы смещены в ещё более длинноволновую область, поэтому для анализа люминесценции целесообразно использовать источник излучения с максимумом 529 нм, а приёмник излучения в диапазоне чувствительности 550-750 нм.

Для семян риса, наоборот, спектры смещены в коротковолновую область: максимум возбуждения расположен на 362 нм, а область люминесценции – 380-520 нм.

Спектры семян галеги восточной расположены в более длинноволновой области, и для анализа люминесценции целесообразно использовать источник излучения с максимумом 462 нм и приёмник с диапазоном чувствительности 470-670 нм. Использовать для возбуждения максимум 485 нм не представляется целесообразным ввиду его перекрытия со спектром люминесценции (антистоксова область) и необходимости его сильного срезания. Аналогично для семян клевера, хотя их спектры имеют небольшое различие.

Для семян редиса рекомендуется возбуждение источником излучения с максимумом на

длине волны 450 нм, а спектр чувствительности приёмника – в диапазоне 470-700 нм.

Вывод. Полученные зависимости $V(\Phi)$ могут быть градуировочными характеристиками прибора экспресс-контроля качества зерна. Относительная погрешность для надёжности $\alpha=0,9$ составляет от 3,4 до 7,0% у всех исследованных культур, кроме гороха, у которого 14,3%. Данная погрешность может быть уменьшена при интегральных по поверхности семян измерениях. В связи с этим открываются возможности точного и экспрессного определения всхожести семян с использованием люминесцентных методов. Такие анализаторы люминесценции могут быть построены на основе узкоспектральных источников излучения, работающих в области чувствительности семян [4, 7, 9].

Список литературы

1. Башилов, А.М. Спектральные характеристики люминесценции и отражения семян агрокультур: монография / А.М. Башилов, М.В. Беляков. – М.: ФБГНУ ВИЭСХ, 2015. – 272 с.
2. Беляков, М.В. Исследование люминесцентных свойств пшеницы и овса различной всхожести / М.В. Беляков // Вестник ВИЭСХ. – 2016. – № 1 (22). – С. 30-33.
3. Беляков, М.В. Методика исследования люминесцентных свойств семян растений на спектрофлуориметре «Флюорат-02-Панорама» / М.В. Беляков // Научная жизнь. – 2016. – № 3. – С. 18-26.
4. Беляков, М.В. Светотехническая часть люминометра для диагностики семян / М.В. Беляков // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 9. – С. 185-187.
5. Беляков, М.В. Типовые спектральные характеристики люминесценции семян растений / М.В. Беляков // Естественные и технические науки. – 2015. – № 11. – С. 521-525.
6. Беляков, М.В. Разработка люминесцентного анализатора всхожести семян агрокультур / М.В. Беляков, Е.И. Выборнова // Вестник НГИЭИ. – 2017. – № 1(68). – С. 39-52.
7. Гавриленков В.А., Синтез оптической системы модели анализатора фотолюминесценции / В.А. Гавриленков, В.Г. Чулакова // Тезисы докладов V Международной научно-технической конференции «Энергетика, информатика, инновации–2015». – Смоленск: Универсум, 2015. – Т. 1. – С. 277-281.
8. Технические характеристики спектрофлуориметра Флюорат-02-Панорама / Сайт компании «Люмэкс». – Режим доступа: <http://www.lumex.ru/catalog/fluorat-02-panorama.php#specification> (дата обращения: 28.07.2016).
9. Gavrilencov, V. The synthesis of the optical system, the model analyzer photoluminescence / V. Gavrilencov, M. Belyakov, V. Chulakova // XIII International scientific

and practical conference «International scientific review of the problems and prospects of modern science and education». – Chicago, USA. – International scientific review. – 2016. – № 5 (15). – P. 27-30.

Spisok literatury

1. Bashilov, A.M. Spektral'nye karakteristiki luminescencii i otrazheniya semjan agrokul'tur: monografija / A.M. Bashilov, M.V. Beljakov. – M.: FBGNU VIJeSH, 2015. – 272 s.
2. Beljakov, M.V. Issledovanie luminescentnyh svojstv pshenicy i ovsa razlichnoj vshozhesti / M.V. Beljakov // Vestnik VIJeSH. – 2016. – № 1 (22). – S. 30-33.
3. Beljakov, M.V. Metodika issledovaniya luminescentnyh svojstv semjan rastenij na spektrofluorimetre «Fljuorat-02-Panorama» / M.V. Beljakov // Nauchnaja zhizn'. – 2016. – № 3. – S. 18-26.
4. Beljakov, M.V. Svetotekhnicheskaja chast' lumino-metra dlja diagnostiki semjan / M.V. Beljakov // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. – 2016. – № 9. – S. 185-187.
5. Beljakov, M.V. Tipovye spektral'nye karakteristiki luminescencii semjan rastenij / M.V. Beljakov

// Estestvennye i tehnicheckie nauki. – 2015. – № 11. – S. 521-525.

6. Beljakov, M.V. Razrabotka luminescentnogo analizatora vshozhesti semjan agrokul'tur / M.V. Beljakov, E.I. Vybornova // Vestnik NGIJeI. – 2017. – № 1(68). – S. 39-52.

7. Gavrilencov V.A., Sintez opticheskoy sistemy modeli analizatora fotoluminescencii / V.A. Gavrilencov, V.G. Chulakova // Tezisy dokladov V Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Jenergetika, informatika, innovacii – 2015». – Smolensk: Universum, 2015. – T. 1. – S. 277-281.

8. Tehnicheckie karakteristiki spektrofluorimetra Fljuorat-02-Panorama / Sajt kompanii «Ljumjeks». – Rezhim dostupa: <http://www.lumex.ru/catalog/flyuorat-02-panorama.php#specification> (data obrashhenija: 28.07.2016).

9. Gavrilencov, V. The synthesis of the optical system, the model analyzer photoluminescence / V. Gavrilencov, M. Belyakov, V. Chulakova // XIII International scientific and practical conference «International scientific review of the problems and prospects of modern science and education». – Chicago, USA. – International scientific review. – 2016. – № 5 (15). – P. 27-30.

Сведения об авторе:

Беляков Михаил Владимирович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Опτικο-электронные системы». Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Смоленск (214013, Российская Федерация, г. Смоленск, Энергетический проезд, 1, e-mail: bmw20100@mail.ru).

M.V. Belyakov

Branch of National Research University "Moscow Power Engineering Institute" in Smolensk

DETERMINATION OF SEED GERMINATION OF PLANTS BY THE LUMINESCENCE METHOD

The aim of the article is to develop a method of determining seed germination of plants according to their fluorescent properties. To create a theoretical base of the method of optical fluorescent diagnostics spectral characteristics of the excitation (absorption) $\eta(\lambda)$ and luminescence spectra of $\phi(\lambda)$ of seeds of agricultural plants of various germination (B, %) have been investigated. To obtain batches of seeds with different germination the method of artificial aging was used. Measurement of characteristics was carried out at the spectrofluorimeter diffraction "Fluorat-02-Panorama" with the previously developed methodology in the areas of absorption and luminescence of seeds. Explored were the seeds of wheat, rye, triticale, barley, oats, peas, beans and white mustard. According to the obtained spectral characteristics in the program PanoramaPro relative flow photoluminescence of F was calculated and calibration characteristics of the analyzer of luminescence were reconstructed as dependencies of germination upon the stream follow. Dependence data with the accuracy errors up to 7-14% could be approximated by linear functions. The error occurred could be reduced with integrated dimensions taken over the seed surfaces. Whereas the dependencies are falling for all seeds based on B (Ф). The obtained dependences can be of calibrating parameters of the express quality control of grain device projected on the basis of the analysis of the curves of absorption and photoluminescence. The luminescence analyzer with the radiation source, radiating in the range from highs of 370-430 nm and a radiation detector with a sensitivity range 410-650 nm is able to analyze the germination and seed moisture content for the following crops: cereals (wheat, rye, triticale, barley, oats), legumes (peas, soybeans, beans), vegetables (pumpkin, cucumber, pepper, tomato, beet). This analyzer is the most versatile as it works in the spectral range of luminescence of most cultures.

Key words: seeds; germination; excitation spectrum; the spectrum of luminescence; luminescence flow; linear approximation; calibrating characteristics.

Author:

Belyakov Mikhail Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department "Optical-electronic systems". Branch of National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (1, Energetichesky Proezd, Smolensk, Russian Federation, 214013, e-mail: bmw20100@mail.ru).

П.В. Дородов, П.Л. Максимов, Н.Д. Давыдов, Р.А. Жуйков

ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

О ПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ СЕЛЬХОЗМАШИН ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Изучены ползучесть и релаксация стеклопластиковой арматуры (АСП-10), определены механические характеристики при изгибе, ударе и циклическом нагружении. Исследование ползучести АСП-10 проводилось для консольно-нагруженных образцов рабочей длиной 120...125 мм, диаметром 9,44...9,81 мм при нагрузке 10...70 Н. Испытания образцов на изгиб выполнены на модернизированной разрывной машине МР-0,5-1, снабжённой нагрузочным устройством, представляющим собой опорные плиты с направляющими. При помощи нагрузочного устройства образцы испытывались на изгиб по расчётной схеме шарнирно-опёртой балки, нагруженной посередине сосредоточенной силой. Анализ полученных данных показал, что исследуемый материал является вязкоупругим. Скорость ползучести за первые 60...120 секунд сравнительно высока и составляет 0,01...0,02 мм/мин, после резко снижается и остаётся малой в течение десятков часов. Выявлено, что усталостная прочность стеклопластиковой арматуры более чем в 10 раз ниже стальных образцов. Приведён расчёт полимерных композитных материалов на усталостную долговечность. На примере пруткового элеватора копателя-сборщика даны рекомендации при конструировании и оценка надёжной его эксплуатации. С целью предотвращения появления остаточной деформации, которая может стать причиной возникновения монтажных напряжений, излишних натягов или зазоров в сопряжениях деталей, а также в связи с низкой жёсткостью материала необходимо ограничивать расчётные напряжения величиной, меньшей предела пропорциональности, допускаемые напряжения $[\sigma] \leq 90$ МПа.

Ключевые слова: материалоемкость; полимерные композитные материалы; стеклопластиковая арматура; механические свойства; прочность; надёжность; усталостная долговечность.

Актуальность. Требования к современной сельскохозяйственной технике включают снижение её материалоемкости на 40-60% [1]. Одним из способов снижения материалоемкости является применение облегчённых конструкций при условии их достаточной прочности и жёсткости [2-4]. Так, вместо металлических элементов можно использовать полимерные композитные материалы (их плотность более чем в 4 раза меньше стали), при условии их надёжной эксплуатации в условиях динамического нагружения. Примером может служить модернизация элеватора копателя картофеля КСК-1 [5-7] путём замены стальных прутков полимерной композитной арматурой (АКП) – рисунок 1.

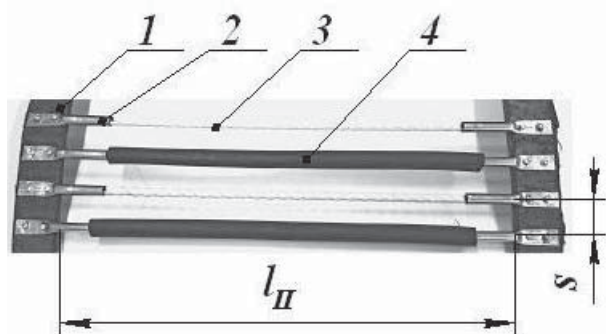


Рисунок 1 – Элемент пруткового элеватора картофелекопателя КСК-1: 1 – ремень элеватора; 2 – опорная металлическая втулка прутка; 3 – стеклопластиковый пруток; 4 – резиновая втулка

Проблема заключается в том, что АКП как строительный материал в основном испытывает статическую нагрузку и неизвестно, как она будет сопротивляться циклическим или ударным воздействиям.

Кроме того, различные источники для такой арматуры дают достаточно широкий разброс механических характеристик [8-10]:

- при растяжении-сжатии предел прочности $\sigma_B = 463...1600$ МПа, модуль упругости $E = (0,21...0,51) \cdot 10^5$ МПа;

- при изгибе предел прочности $\sigma_B = 690...1240$ МПа, модуль упругости $E = (0,27...0,41) \cdot 10^5$ МПа.

Целью работы является оценка прочности и долговечности прутков из стеклопластиковой арматуры.

В связи с поставленной целью в работе определены следующие **задачи**: исследовать механические свойства стеклопластиковой арматуры (АСП-10) при статическом изгибе, ударе и циклическом нагружении; рассчитать стеклопластиковый пруток на усталостную долговечность.

Методы механических испытаний регламентированы государственными стандартами [11] и лабораторные исследования стеклопластиковой арматуры проведены в соответствии с ними.

Результаты и обсуждение. Исследование ползучести АСП-10 проводилось для

консольно-нагруженных образцов рабочей длиной 120...125 мм, диаметром 9,44...9,81 мм при нагрузке 10...70 Н (рис. 2).

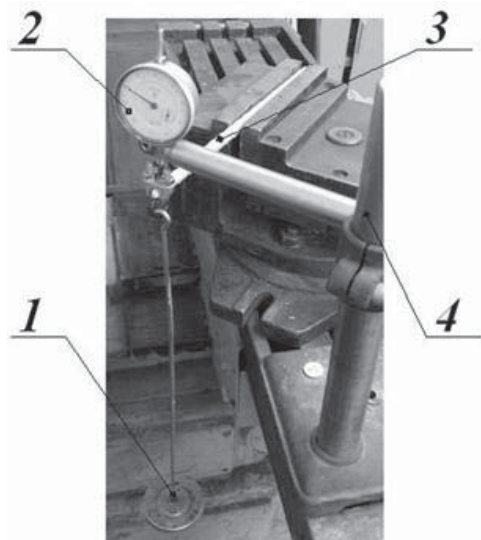


Рисунок 2 – Стенд для исследования ползучести стеклопластиковой арматуры АСП-10: 1 – серьга для гирь; 2 – индикатор; 3 – исследуемый образец; 4 – кронштейн

Затем строились диаграммы ползучести – изменение прогиба w с течением времени t . На рисунке 3 показана диаграмма ползучести образца рабочей длиной $l = 120$ мм, диаметром $d = 9,75$ мм при нагрузке $P = 50$ Н и температуре 21-23 °С.

После снятия внешней нагрузки остаточная деформация составила $w_{\text{ост}} = 0,1$ мм, время релаксации, то есть время, за которое остаточная деформация уменьшилась в e раз, составило 24 часа.

Проведённый анализ показал, что исследуемый материал является вязкоупругим. Скорость ползучести за первые 60...120 секунд сравнительно высока и составляет 0,01...0,02 мм/мин, после резко снижается и остаётся малой в течение десятков часов.

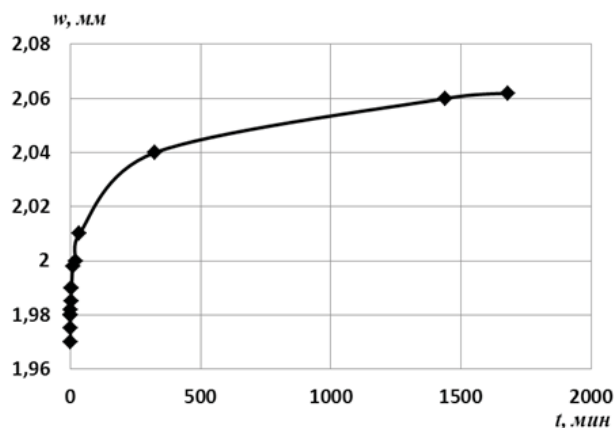


Рисунок 3 – Диаграмма ползучести образца из стеклопластиковой арматуры АСП-10 при нагрузке 50 Н

Большая часть вязкоупругих материалов обладает линейной зависимостью между напряжениями и деформациями в определённых пределах изменения внешней нагрузки [3, 12, 13]. На рисунке 4 представлена графическая зависимость между внешней силой P и прогибом w консольно-нагруженного образца (см. рис. 2). Также на рисунке показана линия тренда (сплошная прямая), её уравнение и величина достоверности аппроксимации ($R^2=0,9971$).

В первом приближении материал исследуемого образца подчиняется закону Гука, следовательно, для определения модуля упругости можно воспользоваться примерной формулой [13]

$$E = \frac{64}{3\pi} \frac{P}{w} \frac{l_3}{d^4}.$$

Так, для исследуемого образца модуль упругости $E = 0,32 \cdot 10^5$ МПа, а для консольно-нагруженных образцов рабочей длиной $l = 120...125$ мм, диаметром $d = 9,44...9,81$ мм при нагрузке $P = 10...70$ Н – $E = (0,31...0,36) \cdot 10^5$ МПа, то есть жёсткость стеклопластикового прутка в 5,5...7,1 раза ниже, чем у стального. Это необходимо учитывать при проектировании (или модернизации) конструкции, предусматривающем подбор (или замену) её несущих элементов.

При превышении предела пропорциональности жёсткость материала снижается и появляется остаточная деформация (рис. 5).

Здесь пределу пропорциональности $\sigma_{\text{п}} = 91,2$ МПа соответствует сила $P_{\text{п}} = 70$ Н, при превышении которой деформация образца начинает расти быстрее. При $P = 150$ Н ($\sigma = 195,5$ МПа) опытное значение прогиба составляет 7,38 мм, который, при соблюдении закона Гука, должен быть равен $w = 150/24,792=6,05$ мм (согласно уравнению линии тренда на рис. 4).

После снятия внешней нагрузки величина остаточной деформации составила $w_{\text{ост}} = 0,8$ мм. На диаграмме также видно, что линия разгрузки идёт почти параллельно линии нагрузки до точки, соответствующей пределу пропорциональности, что свидетельствует о том, что при повторном нагружении материал остаётся упругим. Испытания также показали, что при кратковременной статической нагрузке численные значения предела упругости и предела пропорциональности мало отличаются.

Испытания на изгиб АСП-10 проводились на модернизированной разрывной машине МР-0,5-1 [3, 12], снабжённой нагрузочным устройством, представляющим собой опорные плиты с направляющими (рис. 6).

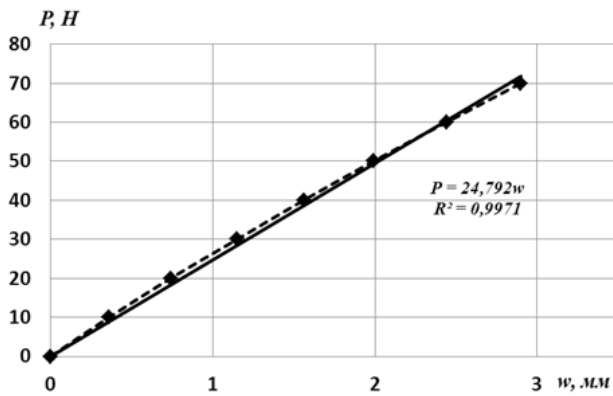


Рисунок 4 – Диаграмма нагрузка-прогиб консольно-нагруженного образца

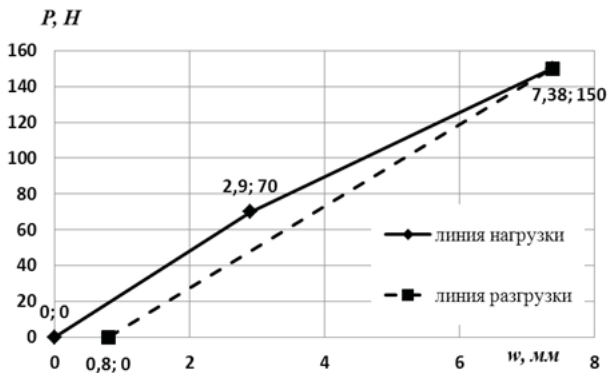


Рисунок 5 – Диаграмма нагрузка-прогиб при превышении предела пропорциональности

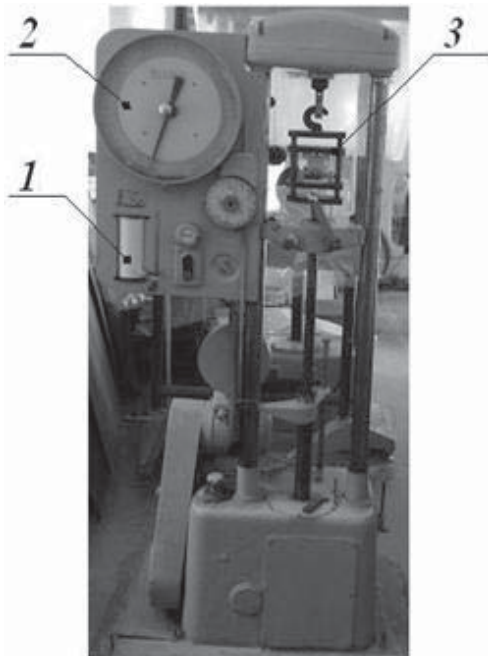


Рисунок 6 – Испытательная машина МР-0,5-1: 1 – диаграммный аппарат; 2 – динамометр; 3 – нагрузочное устройство

При помощи нагрузочного устройства образцы испытывались на изгиб по расчётной схеме шарнирно-опёртой балки, нагруженной посередине сосредоточенной силой (рис. 7).

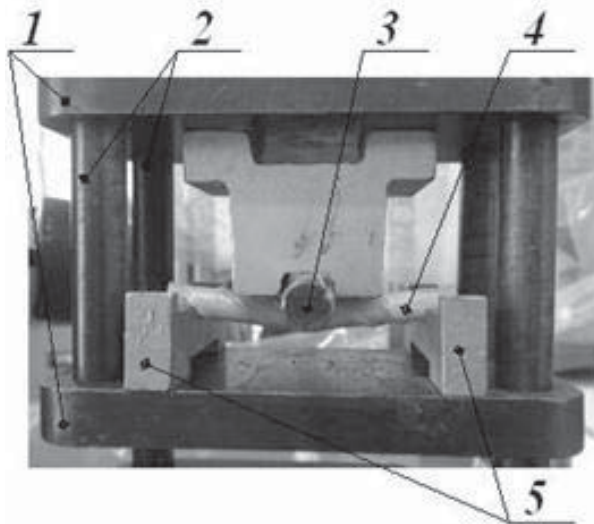


Рисунок 7 – Нагрузочное устройство: 1 – опорные плиты; 2 – направляющие; 3 – цилиндрический демпфер; 4 – исследуемый образец; 5 – центрирующие опоры

Для серии образцов длиной $l = 70...70,5$ мм и диаметром $d = 9,44...9,81$ мм при помощи диаграммного аппарата были построены зависимости нагрузка-прогиб (рис. 8).

Испытания образцов с периодической разгрузкой (см. рис. 8 з) выше предела пропорциональности показали, что петля разгрузки почти полностью возвращается на линию нагружения вплоть до разрушения образца, с образованием остаточной деформации.

Если сравнить максимальные прогибы w_{max} с теоретическими w_T , рассчитанными по известной зависимости [13] (в предположении, что закон Гука справедлив вплоть до разрушения)

$$w_T = 4P_{max} l^3 / 3\pi E d^4,$$

то получим отношение $w_{max} / w_T = 3,4...4$, то есть материал образца имеет предел пропорциональности, значительно меньший предела прочности.

Ордината точки А в масштабе диаграммы представляет собой нагрузку P_{II} , соответствующую пределу пропорциональности. Точка А находится на пересечении линии нагружения с прямой, проходящей через начало координат и точку с координатами $[w_T; P_{max}]$ (точка В). Для исследуемой серии образцов $P_{II} = 433...500$ Н. Затем для шарнирно-опёртой балки с сосредоточенной силой посередине пролёта по формуле [13]

$$\sigma = 8Pl / \pi d^3 \quad (1)$$

рассчитан предел пропорциональности σ_{II} , который составил $\sigma_{II} = 90...102$ МПа.

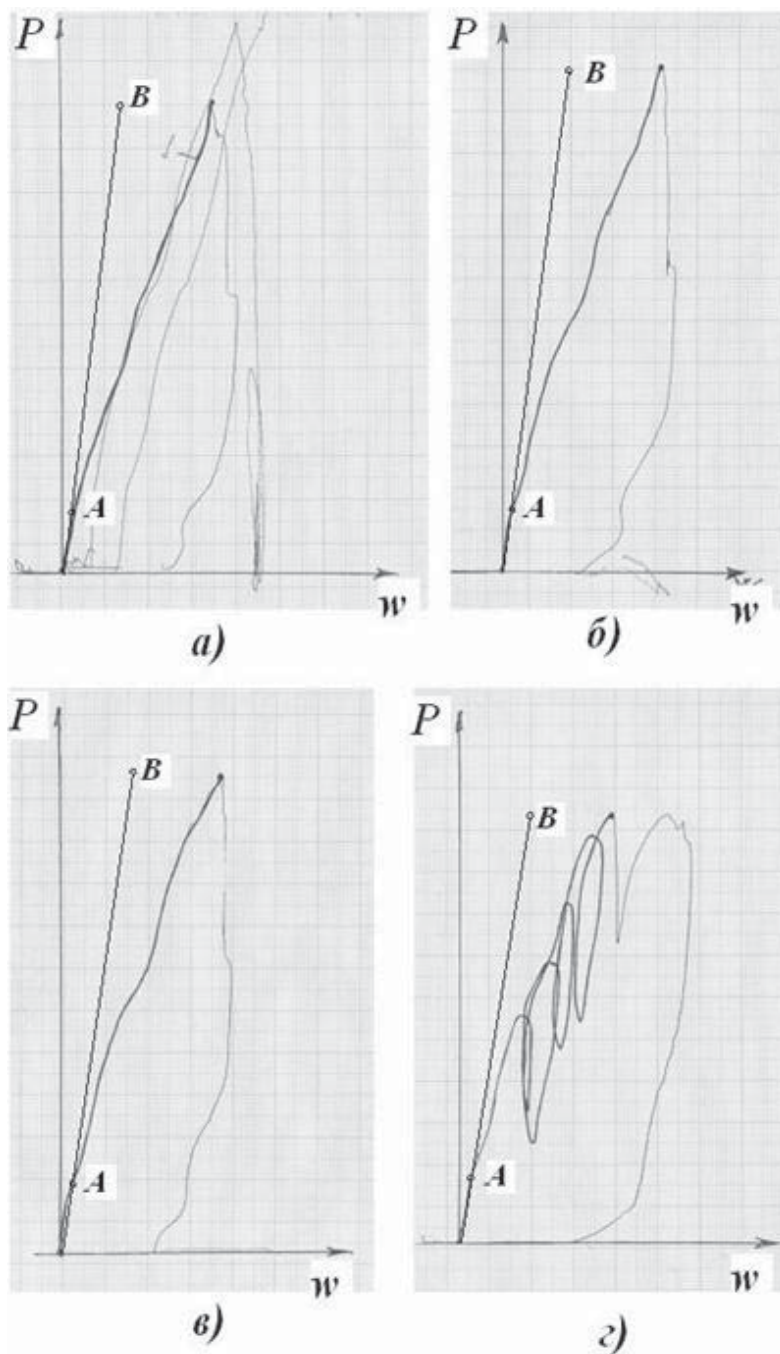


Рисунок 8 – Диаграммы нагрузка-прогиб для АСП-10: а) $l = 70$ мм, $d = 9,54$ мм, $P_{max} = 3600$ Н, $w_{max} = 7$ мм; б) $l = 70$ мм, $d = 9,81$ мм, $P_{max} = 4200$ Н, $w_{max} = 7,4$ мм; в) $l = 70$ мм, $d = 9,74$ мм, $P_{max} = 3800$ Н, $w_{max} = 7,6$ мм; г) с периодической разгрузкой образца $l = 70,5$ мм, $d = 9,44$ мм, $P_{max} = 3410$ Н, $w_{max} = 7,2$ мм

Если считать гипотезу плоских сечений справедливой вплоть до разрушения, то условный предел прочности σ_B можно найти по формуле (1) при $P = P_{max}$. Для исследуемой серии образцов $\sigma_B = 728...793$ МПа.

Таким образом, статическая прочность стеклопластиковой арматуры соизмерима с прочностью стали. Однако с целью предотвращения появления остаточной деформации, которая может стать причиной возникновения

монтажных напряжений, излишних натягов или зазоров в сопряжениях деталей, а также в связи с низкой жёсткостью материала, необходимо ограничивать расчётные напряжения величиной, меньшей предела пропорциональности, то есть допускаемые напряжения $[\sigma] \leq 90$ МПа.

Испытания на удар АСП-10 проводились на маятниковом копре КМ-30 при температуре 21-23 °С над партией однотипных образцов в количестве 6 штук, длиной $l = 89,4...90$ мм, диаметром $d = 9,36...9,67$ мм (рис. 9).

Величина ударной вязкости составила $a = (1,85...2,18) \cdot 10^6$ Дж/м². Таким образом, величина ударной вязкости стеклопластиковой арматуры соизмерима с металлическими прутками (для марки сталь 10 $a = 2,40$ Дж/м²).

Для определения усталостной долговечности АСП-10 испытывалась серия образцов (рис. 10 а) рабочей длиной $l = 102...121$ мм и диаметром $d = 9,5...9,8$ мм в количестве 10 штук до полного их разрушения (рис. 10 б) на машине УКИ-10 М (рис. 11).

По результатам испытаний строилась диаграмма зависимости предельных напряжений σ от числа циклов до разрушения N (кривая усталости), изображённая на рисунке 12.

Напряжения для консольно-нагруженного образца определялись по формуле [13]

$$\sigma = 32Pl / \pi d^3,$$

где P – вес гирь.

При построении диаграммы усталости для $N = 0$ принято значение предела прочности $\sigma_B = 750,1$ МПа.

Известно теоретическое представление кривой усталости [14] в виде уравнения

$$\sigma^m N = C, \tag{2}$$

где m, C – постоянные.

Численное исследование уравнения (2) в контрольных точках экспериментальных значений (на рис. 12 отмечены маркерами) позволило рассчитать значения постоянных: $m = 2,9672$; $C = 13,54 \cdot 10^{28}$ Па^m.

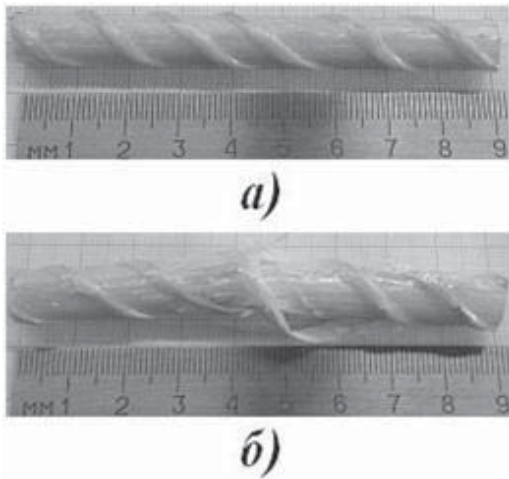


Рисунок 9 – Исследуемый образец на ударную вязкость: а) до удара; б) после удара

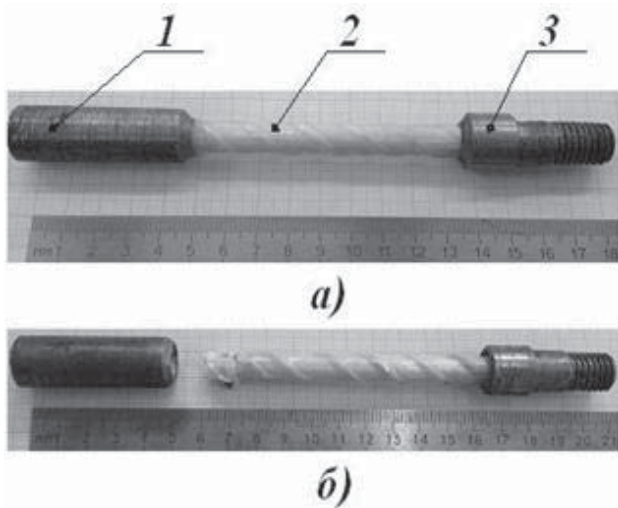


Рисунок 10 – Образец для исследования на усталость: а) до разрушения; 1 – головка под захват машины; 2 – исследуемый пруток; 3 – головка под подшипники с серьгой для гирь; б) после разрушения

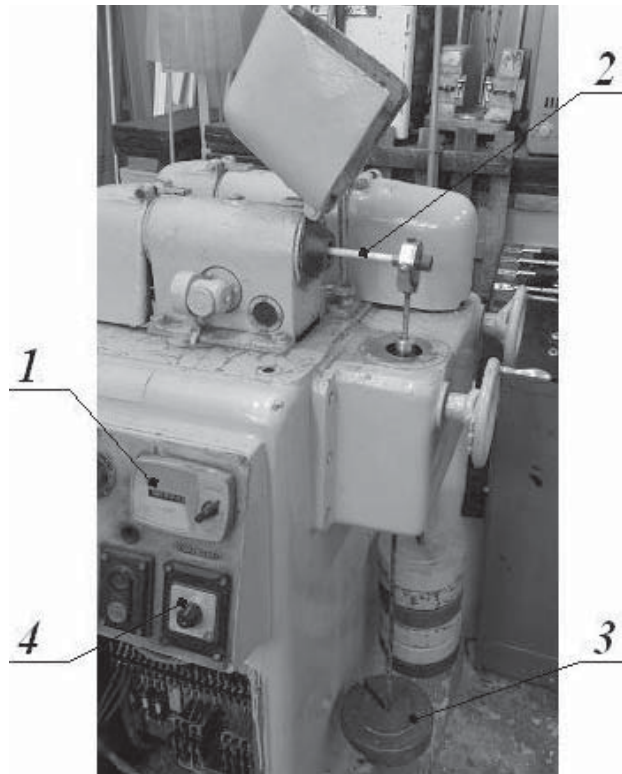


Рисунок 11 – Усталостные испытания на машине УКИ-10 М: 1 – счётчик числа оборотов (циклов); 2 – образец; 3 – гиря; 4 – тумблер для выбора скоростного режима

Тогда по уравнению (2) можно рассчитать предел выносливости при симметричном цикле σ_{-1} , задавшись базовым числом N_0 . В сравнении со стальными образцами, для которых принято $N_0 = 10^7$ циклов [14], получаем $\sigma_{-1} = 28,76$ МПа. Таким образом, для АСП-10 можно записать эмпирическое соотношение между пределом выносливости и пределом прочности при изгибе в виде

$$\sigma_{-1} \approx 0,038\sigma_B.$$

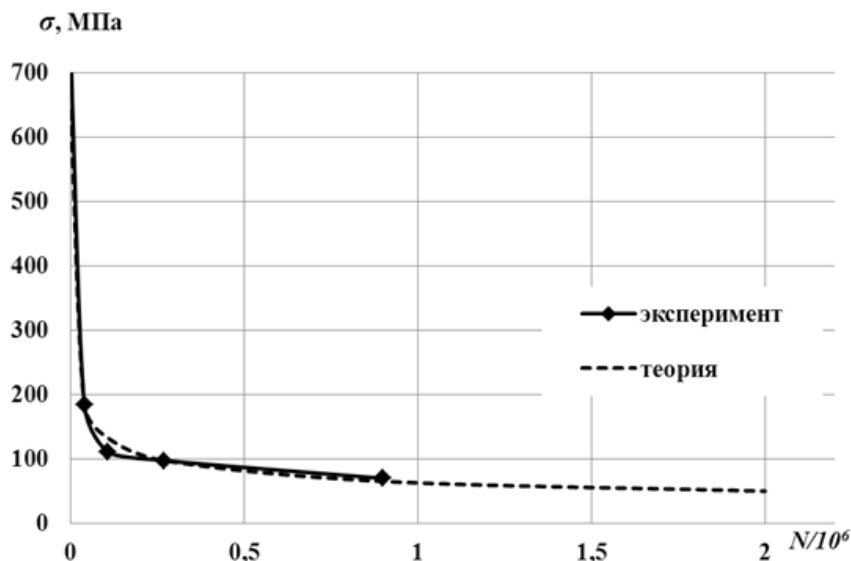


Рисунок 12 – Диаграмма усталости

Для стали принято следующее соотношение $\sigma_{-1} = (0,4...0,5) \sigma_B$ [13, 14].

Таким образом, можно заключить, что усталостная прочность стеклопластиковой арматуры более чем в 10 раз ниже стальных образцов.

Проведённые исследования позволили расчитать усталостную долговечность прутка из АСП-10 элеватора копателя КСК-1. При расчёте исходим из наиболее тяжёлых условий его работы: прутки работают на изгиб под действием нагрузки от сопротивления движению лемеха копателя, равнодействующая R которой приложена посередине пролёта длиной l_{Π} ; напряжения в прутке имеют циклический характер.

Согласно [2, 3, 5], $R = 640,53 H$.

Напряжения в крайних волокнах опасного сечения определяются по формуле [13]

$$\sigma = 4Rl_{\Pi} / k\pi d^3, \quad k = L / s,$$

максимальный прогиб –

$$W_{max} = \frac{5\sigma l_z}{24Ed'}$$

угол поворота опорного сечения –

$$\Theta_{max} = 16w_{max} / 5l_{\Pi},$$

где d – минимальный диаметр прутка;

l_{Π} – длина прутка;

k – целое число витков, воспринимающих нагрузку от клубненоносного слоя;

s – расстояние между прутками (см. рис. 1);

L – длина рабочей поверхности лемеха.

При $l_{\Pi} = 0,5$ м, $d = 9,44$ мм, $L = 0,35$ м, $s = 45$ мм, $E = 0,32 \cdot 10^5$ МПа, получаем $k = 8$, $\sigma = 60,6$ МПа, $w_{max} = 10,44$ мм, $\Theta_{max} = 3^{\circ}8'$.

Расчётные напряжения меньше предела пропорциональности σ_{Π} , но превышают предел выносливости σ_{-1} , то есть материал прутка работает в упругой зоне – многоциклового усталости.

Заключение. Условие надёжной эксплуатации прутка при отсутствии износа его поверхности можно записать в виде

$$N \geq N_0, \quad (3)$$

где N – расчётная усталостная долговечность;

N_0 – усталостная долговечность, соответствующая наработке на отказ.

Для предотвращения износа прутка (нарушения целостности волокон) его поверхность необходимо защищать резиновыми втулками, а опорные металлические втулки должны иметь возможность свободного поворота на угол $\geq 4^{\circ}$ за счёт упругих направляющих ремней элеватора (рис. 1).

Тогда усталостная долговечность, рассчитанная по формуле 2 при $\sigma = 60,6$ МПа, равна $N = 1095130$. Рекомендованная наработка на от-

каз для современной картофелеуборочной техники составляет $T_0 = 80$ часов [1, 3]. Соответствующая ей долговечность

$$N_0 = 3600vT_0 / L,$$

где $v = 1,15$ м/с – рабочая скорость копателя, составляет $N_0 = 954514$, то есть условие (3) вполне выполняется.

Список литературы

1. Технические и технологические требования к перспективной сельскохозяйственной технике / В.Ф. Федоренко, Д.С. Буклагин, М.Н. Ерохин [и др.]. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2011. – 248 с.
2. Ерохин, М.Н. Повышение конструктивной надёжности копателя – сборщика картофеля / М.Н. Ерохин, П.Л. Максимов, П.В. Дородов // Тракторы и сельхозмашины. – 2015. – № 2. – С. 8-12.
3. Дородов, П.В. Повышение надёжности сельскохозяйственных машин путём оптимизации формы их деталей: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.03 / Дородов Павел Владимирович. – М., 2015. – 327 с.
4. Ерохин, М.Н. Принципы повышения надёжности и эффективности эксплуатации сельскохозяйственной техники: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.03 / Ерохин Михаил Никитич. – М., 1994. – 76 с.
5. Максимов, П.Л. Универсальные технические средства для уборки корнеклубнеплодов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / Максимов Павел Леонидович – М., 2003. – 287 с.
6. Картофелеуборочный комбайн, отделяющий клубни в восходящем потоке вороха: пат. 2332828 Рос. Федерация: МПК⁵¹ А 01 D 17/22 / Максимов Л.М., Максимов П.Л., Максимов Л.Л.; заявитель и патентообладатель Максимов Леонид Михайлович. – № 2006144343/11; заявл. 12.12.2006; опубл. 10.09.2008, Бюл. № 25. – 7 с.
7. Новый малогабаритный картофелеуборочный комбайн с сепаратором восходяще-сходящего действия / Л.М. Максимов, П.Л. Максимов, А.К. Струнов [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2015. – № 9. – С. 9-11.
8. Композитная арматура [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/>
9. Нильсен, Л. Механические свойства полимеров и полимерных композиций / Л. Нильсен. – М.: Химия, 1978. – 312 с.
10. Стеклоарматура [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://stekloarmatura.com.ua/images/Album-of-Imperative.ukraine.pdf>.
11. Миненков, Б.В. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений: методические указания / Б.В. Миненков, И.Е. Семенов-Ежов, Т.В. Бидерман. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – С. 64.
12. Дородов, П.В. Комплексный метод расчёта и оптимального проектирования деталей машин с концентраторами напряжений: монография / П.В. Дородов. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2014. – 316 с.

13. Беляев, Н.М. Сопротивление материалов / Н.М. Беляев. – М.; Л.: Гостехиздат, 1951. – 856 с.

14. Серенсен, С.В. Несущая способность и расчёт деталей машин на прочность: руководство и справочное пособие / С.В. Серенсен, В.П. Когаев, Р.М. Шнейдерович. – М.: Машиностроение, 1975. – 488 с.

Spisok literatury

1. Tehnicheskie i tehnologicheskie trebovaniya k perspektivnoj sel'skohozjajstvennoj tehnike / V.F. Fedorenko, D.S. Buklagin, M.N. Erohin [i dr.]. – М.: FGNU «Rosinformagroteh», 2011. – 248 s.

2. Erohin, M.N. Povyshenie konstruktivnoj nadjozhnosti kopatelja – sborshhika kartofelja / M.N. Erohin, P.L. Maksimov, P.V. Dorodov // Traktory i sel'hozmashiny. – 2015. – № 2. – S. 8-12.

3. Dorodov, P.V. Povyshenie nadjozhnosti sel'skohozjajstvennyh mashin putjom optimizacii formy ih detalej: dis. ... d-ra tehn. nauk: 05.20.03 / Dorodov Pavel Vladimirovich. – М., 2015. – 327 s.

4. Erohin, M.N. Principy povysheniya nadjozhnosti i jeffektivnosti jekspluatacii sel'skohozjajstvennoj tehniki: dis. ... d-ra tehn. nauk: 05.20.03 / Erohin Mihail Nikitich. – М., 1994. – 76 s.

5. Maksimov, P.L. Universal'nye tehicheskie sredstva dlja uborki korneklubneplodov: dis. ... d-ra tehn. nauk: 05.20.01 / Maksimov Pavel Leonidovich – М., 2003. – 287 s.

6. Kartofeleuborochnyj kombajn, otdel'jajushhij klubni v voshodjashhem potoke voroha: pat. 2332828 Ros. Federacija: MPK51 A 01 D 17/22 / Maksimov

L.M., Maksimov P.L., Maksimov L.L.; zajavitel' i patentoobladatel' Maksimov Leonid Mihajlovich. – № 2006144343/11; zajavl. 12.12.2006; opubl. 10.09.2008, Bjul. № 25. – 7 s.

7. Novyj malogabaritnyj kartofeleuborochnyj kombajn s separatorom voshodjashhe-shodjashhego dejstvija / L.M. Maksimov, P.L. Maksimov, A.K. Strunov [i dr.] // Traktory i sel'hozmashiny. – 2015. – № 9. – S. 9-11.

8. Kompozitnaja armatura [Jelektron. resurs]. – Rezhim dostupa: <http://ru.wikipedia.org/wiki/>

9. Nil'sen, L. Mehanicheskie svojstva polimerov i polimernyh kompozicij / L. Nil'sen. – М.: Himija, 1978. – 312 s.

10. Stekloarmatura [Jelektron. resurs]. – Rezhim dostupa: <http://stekloarmatura.com.ua/images/Album-of-Imperative.ukraine.pdf>.

11. Minenkov, B.V. Jeksperimental'nye metody issledovanija deformacij i naprjazhenij: metodicheskie ukazaniya / B.V. Minenkov, I.E. Semenov-Ezhov, T.V. Biderman. – М.: MGTU im. N.Je. Baumana, 1999. – S. 64.

12. Dorodov, P.V. Kompleksnyj metod raschjota i optimal'nogo proektirovanija detalej mashin s koncentratorami naprjazhenij: monografija / P.V. Dorodov. – Izhevsk: FGBOU VPO Izhevskaja GSHA, 2014. – 316 s.

13. Beljaev, N.M. Soprotivlenie materialov / N.M. Beljaev. – М.; Л.: Gostehizdat, 1951. – 856 s.

14. Serensen, S.V. Nesushhaja sposobnost' i raschjot detalej mashin na prochnost': rukovodstvo i spravocnoe posobie / S.V. Serensen, V.P. Kogaev, R.M. Shnejderovich. – М.: Mashinostroenie, 1975. – 488 s.

Сведения об авторах:

Дородов Павел Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры теоретической механики и сопротивления материалов. ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, e-mail: pvd80@mail.ru).

Максимов Павел Леонидович – доктор технических наук, профессор, декан агроинженерного факультета, заведующий кафедрой «Тракторы, автомобили и сельскохозяйственные машины». ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, e-mail: maksimovpl@mail.ru).

Давыдов Николай Дмитриевич – старший преподаватель кафедры «Тракторы, автомобили и сельскохозяйственные машины». ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, тел. (3412) 58-99-30).

Жуйков Роман Александрович – старший преподаватель кафедры физической культуры. ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, тел. (3412) 58-99-30).

P.V. Dorodov, P.L. Maksimov, N.D. Davydov, R.A. Zhuikov
Izhevsk State Agricultural Academy

ON DURABILITY OF AGRICULTURAL MACHINERY CONSTRUCTIONS OF POLIMERIC MATERIALS

Thus were studied the creep and relaxation of fiberglass reinforcement (ASP-10), determining mechanical characteristics in bending, impact and cyclic loading. The study of creep of ASP-10 were performed for cantilever-loaded samples of the working length of 120...125 mm with a diameter of 9.44 to 9.81...mm when a load of 10 to 70 N. Testing samples in bending had been done on the upgraded tensile testing machine Mr-0,5-1 provided with a loading device, which is a base plate with guides. With the help of loading devices the specimen were tested in bending according to the design scheme pivotally-supported beam loaded with concentrated force in the middle. Analysis

of the data showed that the tested material is viscoelastic. The rate of creep for the first 60...120 seconds was relatively high: 0.01...0.02 mm/min, then declines sharply and remains low for 10 hours. It was revealed that the fatigue strength of fiberglass rebar is more than 10 times lower than for the steel samples. Calculation of polymer composite materials for fatigue life were also held. By the example of the digging collector's rod Elevator, recommendations are given for the design and evaluation of its reliable operation. To prevent the appearance of residual strain, which can cause mounting stress, excessive tightness or clearances in mating parts, and low material stiffness, it is necessary to apply limits to the estimated voltage with the value less than the limit of proportionality, the allowable stresses $[\sigma] \leq 90 \text{ MPa}$.

Key words: reduction of material input per unit; polymeric composite materials; glass-fibre plastic reinforcement; mechanical properties; durability; operational reliability; fatigue longevity.

Authors:

Dorodov Pavel Vladimirovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Chair of Theoretical Mechanics and Material Resistance. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya Str., Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: pvd80@mail.ru).

Maksimov Pavel Leonidovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, the Dean of the Agro-Engineering Faculty, Head of the Chair of Tractors, Automobiles and Agricultural Machines. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya Str., Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: maksimovpl@mail.ru).

Davydov Nikolai Dmitrievich – Senior Teacher, Chair of Tractors, Automobiles and Agricultural Machines, Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya Str., Izhevsk, Russian Federation, 426069, tel. (3412) 58-99-30).

Zhuikov Roman Aleksandrovich – Senior Teacher, Chair of Physical Culture. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya Str., Izhevsk, Russian Federation, 426069, tel. (3412) 58-99-30).

УДК 619:614.48+631.348:632.934.1

А.В. Савушкин¹, П.Л. Лекомцев², Е.В. Дресвянникова², Л.А. Пантелеева²

¹ООО «Компонент», г. Ижевск;

²ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ, СОЗДАВАЕМЫХ ГЕНЕРАТОРОМ ЭЛЕКТРОАЭРОЗОЛЕЙ

Актуальность исследования обусловлена необходимостью совершенствования методов электроаэрозольной дезинфекции и дезинсекции воздуха и поверхностей помещений, лечебно-профилактической обработки животных и защиты растений. Цель статьи направлена на выявление закономерностей электрофизических процессов при распространении электроаэрозоля в помещениях. Ведущим подходом к исследованию данной проблемы является математическое моделирование электротехнических, динамических и кинетических процессов в электроаэрозольных системах, позволяющее выявить основные закономерности распространения электроаэрозоля. В результате исследований получена математическая модель распределения электроаэрозоля в пространстве. Анализ модели процесса показывает, что концентрация частиц в облаке аэрозоля зависит от их размера, заряда и мощности источника. Положение о равномерности концентрации частиц не выполняется. Существенным моментом является то, что концентрация частиц и напряжённость электрического поля зависят от расстояния до источника частиц. Неравномерная напряжённость поля, создаваемая заряженными частицами вблизи генератора, может привести к разрядным явлениям в воздухе, а повышенная концентрация частиц будет влиять на скорость их испарения. Последнее необходимо учитывать при расчётах электроаэрозольных обработок в помещении.

Ключевые слова: электроаэрозоль; электроаэрозольный генератор; электрическое поле; напряжённость электрического поля; электрический заряд; объёмный заряд; электроаэрозольная обработка.

Актуальность. Специализация и концентрация современного сельскохозяйственного производства, наряду с повышением эффективности производства продуктов живот-

водства и растениеводства, привели к созданию благоприятной среды для распространения болезнетворных микроорганизмов. Промышленные технологии содержания живот-

ных значительно повышают эффективность производства продуктов животноводства, но вместе с тем создают благоприятную среду для распространения болезнетворных микроорганизмов. В связи с этим значительно возрастает роль санитарно-ветеринарных и агротехнических мероприятий по аэрозольной дезинфекция воздуха и поверхностей животноводческих помещений и обработке растений.

Существует два способа получения аэрозолей: конденсационный и дисперсионный. Конденсационный способ по сравнению с дисперсионным более энергозатратен, поэтому большее применение получили дисперсионные аэрозоли. Дисперсионные аэрозоли образуются при диспергировании (измельчении, распылении) твёрдых и жидких тел и при переходе порошкообразных тел во взвешенное состояние под действием воздушных потоков, сотрясений и т.д.

Качество аэрозольной обработки в значительной степени зависит от параметров аэрозоля: размера частиц, степени монодисперсности, скорости введения аэрозоля в помещение. Размер частиц влияет на физико-химические свойства аэрозолей, на особенности их использования в сельскохозяйственном производстве. Наряду с размером частиц большое значение имеет монодисперсность аэрозоля. При использовании монодисперсного аэрозоля расход препаратов уменьшается без ухудшения биологического действия в 10 раз по сравнению с обработкой полидисперсным аэрозолем. Развитие интенсивного тепличного хозяйства при углубляющейся концентрации и специализации производства, несмотря на неоспоримые экономические преимущества, вызывает ряд новых сложных проблем по защите растений от вредителей, болезней и сорняков. Неограниченное развитие вредных организмов при концентрированном производстве становится опасным и может вызвать необратимые последствия. В таких условиях аэрозольные формы химических препаратов зарекомендовали себя с лучшей стороны по сравнению с другими способами обработки. Несмотря на это аэрозольный метод имеет ряд недостатков. Это неравномерность распространения внутри помещения, что корректируется с помощью заряда. Придание частицам аэрозоля электрического заряда позволяет качественно улучшить технологию как агротехнических, так и ветеринарных обработок. В электрически заряженном аэрозоле, по сравнению с незаряженным, возникают дополнительные силы взаимодействия частиц – электростатического рассеива-

ния и зеркального отображения [8, 10, 12, 13, 16, 17]. Электрические силы действуют по всем направлениям, что способствует выравниванию концентрации аэрозоля по объёму помещения при одновременном увеличении скорости осаждения на обрабатываемые поверхности [1-3, 5, 9, 11, 15, 18] и растения [4, 6, 8, 14].

Однако в работах, посвящённых электроаэрозольным обработкам, принято положение, что заряженный аэрозоль равномерно распределён по объёму облака, и его концентрация не зависит от расстояния до источника. Это утверждение приводит к погрешностям при расчёте концентрации электроаэрозоля по объёму помещения и препятствует точному управлению процессами обработок.

Цель исследований состоит в разработке математической модели распределения электроаэрозоля в пространстве.

Задачи исследований: получить математическое выражение для расчёта концентрации электроаэрозоля с учётом величины заряда капель аэрозоля, мощности источника и расстояния до источника.

Материал и методы. Использовались математические методы расчёта электротехнических, динамических и кинетических процессов в электроаэрозольных облаках.

Результаты исследований. Рассмотрим некий источник, локализованный в определённой точке, создающий заряженные частицы.

Источник включается в какой-то момент времени и характеризуется интегральной мощностью J , то есть числом частиц, инжектированных из источника в единицу времени. Будем считать, что характер движения частицы такой, что скорость её локально связана с электрическим полем в данной точке.

$$\vec{v} = bqE, \quad (1)$$

где b – подвижность частиц при движении в газе, с/кг;

q – заряд частицы, Кл;

E – напряжённость электрического поля, В/м.

Напряжённость электрического поля определяется из уравнения Пуассона

$$\operatorname{div} \vec{E} = 4\pi n \cdot q, \quad (2)$$

где n – плотность частиц, м⁻³.

Очевидно, что индуцируемым магнитным полем можно пренебречь.

Уравнения (1) и (2) дополняются уравнением непрерывности

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \operatorname{div}(\vec{v}n) = f(r, t), \quad (3)$$

где $f(r,t)$ – функция, характеризующая источник.

Для удобства анализа системы уравнений (1) – (3) проинтегрируем (3) по объёму. Интеграл от div преобразуем в поверхностный с учётом сферической симметрии:

$$\int \left[\frac{1}{4\pi q} div \frac{\partial \bar{E}}{\partial t} + div(Bqn\bar{E}) \right] d^3\bar{r} = J\varphi(t). \quad (4)$$

При этом $\int f(\bar{r},t)d^3\bar{r} = J\varphi(t)$, $\varphi(t)$ – характеризует включение источника. Отметим, что размерность $[J] = \frac{1}{t}$.

$\int div \bar{E} d^3\bar{r} = \int E_r dS_r = E_r \cdot 4\pi r^2$, в дальнейшем принимаем $E = E_r$.

Таким образом:

$$\frac{1}{4\pi q} \frac{\partial E}{\partial t} + BqnE = \frac{J}{4\pi r^2} \varphi(t). \quad (5)$$

$$n = \frac{1}{4\pi q} \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} r^2 E. \quad (6)$$

Уравнение (6) представляет собой уравнение (2) в сферической системе координат.

Приведём систему уравнений (5), (6) к безразмерному виду с помощью замен:

$$t = \frac{\tau}{J}; \quad r = \left(q^2 \frac{B}{J} \right)^{1/3} z; \quad E = \frac{1}{q^{1/3}} \left(\frac{J}{B} \right)^{2/3} \varepsilon; \quad (7)$$

$$n = \frac{J}{4\pi q^2 B} N.$$

В безразмерных переменных уравнения (5) и (6):

$$\frac{1}{z^2} \frac{\partial}{\partial z} z^2 \varepsilon = N, \quad (8)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial \tau} + \varepsilon N = \frac{1}{z^2} \varphi(\tau). \quad (9)$$

Сделаем ещё одну очевидную замену.

$$z^2 \varepsilon = U, \quad x = \frac{1}{3} z^3,$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} = N, \quad \frac{\partial U}{\partial \tau} + UN = \varphi(\tau). \quad (10)$$

Предположим, что источник мгновенно включается в момент времени $\tau = 0$, то есть

$$\varphi(\tau) = u(\tau),$$

где $u(\tau) = \begin{cases} 1 & \tau \geq 0 \\ 0 & \tau < 0 \end{cases}$ – ступенчатая функция.

Система (10) сводится к одному «простому» уравнению [7]:

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} + U \frac{\partial U}{\partial x} = 1 \quad \text{при } \tau > 0 \quad (11)$$

Очевидно, что в данной системе нет ни характерного масштаба, ни характерного времени. Пусть даже в начальный момент времени мы имеем распределённый источник с размером r_0 , то всё равно, по прошествии некоторого времени, все возмущения, связанные с геометрией источника, затухнут, то есть мы выйдем на автомодельный режим, при котором ничего нельзя сказать об особенностях источника, за исключением его интегральных характеристик.

Вид решения уравнения целиком определяется масштабно-инвариантными свойствами уравнения (11). Действительно уравнение (11) инвариантно относительно следующих автомодельных преобразований

$$x \rightarrow bx, \quad u \rightarrow b^\alpha u, \quad \tau \rightarrow b^\beta \tau,$$

$$b^{\alpha-\beta} \frac{\partial u}{\partial \tau} + b^{2\beta-1} u \frac{\partial u}{\partial x} = 1, \quad \alpha = \beta = \frac{1}{2}. \quad (12)$$

Таким образом, решение можно представить в следующем автомодельном виде:

$$U = \mathcal{F} \left(\frac{x}{\tau^2} \right) \quad (13)$$

или $U = x^{1/2} f_1 \left(\frac{\tau}{x^{1/2}} \right), \quad (14)$

для которых справедливо (12). Подставив (13) в (11), в результате получим:

$$f'_y (f - 2y) + f = 1, \quad y = \frac{x}{\tau^2}. \quad (15)$$

Условие нормировки получается следующим образом. Полное число частиц в момент времени τ равно числу частиц, инжектированных из источника:

$$\int_0^{r_0(t)} n(r,t) 4\pi r^2 dr = J\tau, \quad (16)$$

где $r_0(t)$ – положение границы.

В безразмерных переменных (16) записывается следующим образом:

$$\tau = \int_0^{\tau^{1/2}} N(x,\tau) dx = \int_0^{\tau^{1/2}} \frac{\partial U}{\partial x} dx = U \left(\frac{\tau^2}{2}, \tau \right) - \left[-U(0,\tau) = \left[f \left(\frac{1}{2} \right) - f(0) \right] \cdot \tau. \right. \quad (17)$$

Ниже мы покажем, что уравнение границы

$$x_0 = \frac{\tau^2}{2} \quad f \left(\frac{1}{2} \right) - f(0) = 1. \quad (18)$$

Решение уравнения (15) разобьём на ряд этапов:

1) Введём новые переменные

$$\eta = \frac{1}{f - 2y}, \quad \xi = 3y, \quad (19)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial \xi} = \frac{1}{3} \left(\frac{2}{3} \xi - 1 \right) \eta^2 + \eta^3.$$

2) Если ввести параметр t через $\frac{\partial \xi}{\partial t} = -\frac{1}{t\eta(\xi)}$, то получим следующее уравнение:

$$t^2 \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} + \frac{2}{9} \xi - \frac{1}{3} = 0. \quad (20)$$

3) Решение этого уравнения [6]:

$$\xi = \frac{3}{2} + C_1 t^{2/3} + C_2 t^{1/3}. \quad (21)$$

4) Используем это решение для выражения (20):

$$\eta(t) = -\frac{1}{C_1 \frac{2}{3} t^{2/3} + C_2 \frac{1}{3} t^{1/3}}. \quad (22)$$

5) Выразим t из (21) и подставим в (22).

6) Выразим f из (19):

$$f(y) = \left(1 - \frac{1}{6C_1} \right) + \frac{1}{3C_2} \sqrt{\left[\left(\frac{C_2}{2C} \right)^2 - \frac{3}{2C_1} \right]} + \frac{3}{C_1} y. \quad (23)$$

На этапе 5) $t^{1/3}$ определяется как решение квадратного уравнения, так что в (23) перед корнем должен стоять знак «±», однако минус отбрасывается в силу того, что

$$N(x, t) = \frac{\partial y}{\partial x} = \tau \frac{\partial f\left(\frac{x}{\tau^2}\right)}{\partial x}$$

должно быть больше нуля.

Из (23) следует $f\left(\frac{1}{2}\right) = 1$, поэтому из (18) $f(0) = 0$, то есть $C_1 = \frac{1}{6}$, $C_2 = 1$.

Окончательно получим

$$\begin{cases} u(x, \tau) = \mathcal{F}\left(\frac{x}{\tau^2}\right) = \sqrt{2x} \\ N(x, \tau) = \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{1}{\sqrt{2x}} \end{cases}, \quad (24)$$

где $x = \tau^2/2$ уравнение движения границы.

Вне границы $N=0$, из (10) следует

$$U = \tau, N = 0, x > \frac{\tau^2}{2}. \quad (25)$$

Подставим (7) и $x = \frac{1}{3} z^3$ в (24),

$$E(r, t) = \begin{cases} \frac{qJ}{r^2} t & \text{вне } t < \sqrt{\frac{2}{3} \frac{1}{q^2 B J}} \cdot r^{3/2} \\ \sqrt{\frac{2J}{3B}} \frac{1}{r^{1/2}} & \text{внутри } t > \sqrt{\frac{2}{3} \frac{1}{q^2 B J}} \cdot r^{3/2} \end{cases}$$

$$n(r, t) = \begin{cases} 0 & t < \sqrt{\frac{2}{3} \frac{1}{q^2 B J}} \cdot r^{3/2} \\ \frac{1}{\frac{4\pi q}{3} \cdot \left(\frac{3J}{2B}\right)^{1/2} r^{3/2}} & t > \sqrt{\frac{2}{3} \frac{1}{q^2 B J}} \cdot r^{3/2} \end{cases} \quad (26)$$

Заключение. Поясним полученные модели исходя из физических соображений. Отметим, что чем раньше испущена частица, тем дольше она будет находиться в электрическом поле и, следовательно, в соответствии с выражением (1), будет обладать большей скоростью. Границу будут составлять частицы, испущенные в момент времени $t = 0$.

В момент наблюдения t эти частицы будут занимать положение $\tau(t)$, внутри данной сферы находятся частицы, испущенные в интервал от τ до t . Вне границы $\tau > \tau_0$ частиц нет, и в текущий момент времени t мы наблюдаем все частицы, испущенные до сих пор.

Анализ математической модели процесса (26) показывает, что концентрация частиц в облаке аэрозоля зависит от их размера, заряда и мощности источника. Положение о равномерности концентрации частиц не выполняется. Существенным моментом является то, что концентрация частиц и напряжённость электрического поля зависят от расстояния до источника частиц.

Следовательно, неравномерная напряжённость поля, создаваемая заряженными частицами вблизи генератора, может привести к разрядным явлениям в воздухе, а повышенная концентрация частиц будет влиять на скорость их испарения. Последнее необходимо учитывать при расчётах электроаэрозольных обработок в помещении.

Общий процесс обработки помещения с учётом сложных физических процессов, происходящих в электроаэрозольном облаке, вызывает определённые сложности при планировании обработок. Моделирование распределения заряженных частиц, создаваемых генератором электроаэрозолей, позволяет разработать качественную обработку пространства и поверхностей. Следует отметить, что на процесс обработки также накладываются технологические требования. Так, например, санитарно-ветеринарная и агротехническая обработки имеют различные требования к количеству и составу вещества. Предложенная модель позволяет учитывать данные особенности. В выражении (26) в качестве механизмов регуляции заложены заряд и размер частиц, что оказывает влияние на концентрацию вещества и время обработки.

Таким образом, предложенное выражение имеет широкое применение в различных отраслях сельского хозяйства, при дезинфекции и дезинсекции электроаэрозолями животных и растений.

Список литературы

1. Бородин, И.Ф. Исследование распространения электроаэрозоля в крупногабаритных животноводческих помещениях / И.Ф. Бородин, П.Л. Лекомцев // Доклады РАСХН. – 2006. – № 4. – С. 53-55.
2. Бородин, И. Ф. Моделирование распространения электроаэрозоля в помещении / И.Ф. Бородин, П.Л. Лекомцев // Труды 5-й Международной научно-технической конференции. – М.: ВИЭСХ. – 2006. – С. 237-242.
3. Грин, Х. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы / Х. Грин, В. Лейн. – Изд. 2-е, стер. – М.: Химия, 1972. – 428 с.
4. Дондоков, Д.Д. Исследование работы электростатического распылителя при обработке растений / Д.Д. Дондоков // Тр. ЧИМЭСХ. – Вып. 97. – 1975. – С. 91-101.
5. Дресвянникова, Е.В. Возможности регулирования процессов тепловлажностной обработки в массообменных аппаратах при воздействии электрического поля / Е.В. Дресвянникова, П.Л. Лекомцев, А.В. Савушкин // Инженерный вестник Дона. – 2014. – Т. 28. – № 1. – С. 33.
6. Дунский, В.Ф. Электростатическое опыливание / В.Ф. Дунский, А.В. Китаев // Защита растений от вредителей и болезней. – 1958. – № 4. – С. 17-18.
7. Камке, Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям / Э Камке: Пер. с нем. – 4-е изд., испр. – М.: Наука: Гл.ред.физ.-мат. лит., 1971. – 576 с.
8. Криштоф, К.А. Создание электрически заряженного аэрозоля и его осаждение в целях защиты сельскохозяйственных растений: автореф. дис. ... канд. техн. наук / К.А. Криштоф. – М., 1974.
9. Лекомцев, П.Л. Распространение электроаэрозоля в закрытом помещении / П.Л. Лекомцев, А.В. Савушкин // Материалы XIX научно-производственной конференции ИжГСХА. – Ижевск: ИжГСХА, 1999. – С. 112.
10. Лекомцев, П.Л. Электроаэрозольный генератор с повышенной эффективностью зарядки / П.Л. Лекомцев, А.В. Савушкин, Е.В. Дресвянникова // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2012. – № 5. – С. 36.
11. Лысенко, В.Ф. Разработка и исследование схем и технических средств для электрической зарядки и распыления аэрозолей препаратов в птицеводческих помещениях: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.Ф. Лысенко. – Челябинск, 1979. – 20 с.
12. Мирзабекян, Г.З. Зарядка аэрозолей в поле коронного разряда / Г.З. Мирзабекян // Сильные электрические поля и технические процессы – М.: Энергия, 1969. – С. 20-39.
13. Мкртумян, А.В. Электроаэрозольная обработка животноводческих помещений: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.В. Мкртумян. – М.: МИИСП, 1987.
14. Рыбинский, Ю.В. Исследование электроаэрозольного метода опрыскивания для химической защиты растений: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ю.В. Рыбинский. – М.: МИИСП, 1974. – 26 с.
15. Электроаэрозольное увлажнение воздуха. Особенности подбора параметров работы генератора / А.В. Савушкин, П.Л. Лекомцев, Е.В. Дресвянникова [и др.] // Инженерный вестник Дона. – 2012. – Т. 20. – № 2. – С. 672-675.
16. Фукс, Н.А. Механика аэрозолей / Н.А. Фукс. – М.: Изд-во академии наук СССР, 1955. – 351 с.
17. Фукс, Н.А. Определение размера и заряда частиц в туманах / Н.А. Фукс, И.В. Петрянов // ЖФХ. – 1933. – Т. 4. – С. 576-572.
18. Шмигель, В.Н. Расчёт технологических параметров процессов электроаэрозольной обработки в птицеводстве / В.Н. Шмигель, А.В. Савушкин // Сб. тр. – Пермь, 1983. – С. 121-130.

Spisok literatury

1. Borodin, I.F. Issledovanie rasprostraneniya jelektroajerozolija v krupnogabaritnyh zhivotnovodcheskih pomeshhenijah / I.F. Borodin, P.L. Lekomcev // Doklady RASHN. – 2006. – № 4. – S. 53-55.
2. Borodin, I. F. Modelirovanie rasprostraneniya jelektroajerozolija v pomeshhenii / I.F. Borodin, P.L. Lekomcev // Trudy 5-j Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. – М.: VIJeSH. – 2006. – S. 237-242.
3. Grin, H. Ajerozoli – pyli, dymy i tumany / H. Grin, V. Lejn. – Izd. 2-e, ster. – М.: Himija, 1972. – 428 s.
4. Dondokov, D.D. Issledovanie raboty jelektrostaticheskogo raspylitelja pri obrabotke rastenij / D.D. Dondokov // Tr. ChIMJeSH. – Vyp. 97. – 1975. – S. 91-101.
5. Dresvjannikova, E.V. Vozmozhnosti regulirovaniya processov teplovlazhnostnoj obrabotki v massobmennyh apparatah pri vozdejstvii jelektricheskogo polja / E.V. Dresvjannikova, P.L. Lekomcev, A.V. Savushkin // Inzhenernyj vestnik Dona. – 2014. – Т. 28. – № 1. – S. 33.
6. Dunsij, V.F. Jelektrostaticheskoe opylivanie / V.F. Dunsij, A.V. Kitaev // Zashhita rastenij ot vreditel'j i boleznej. – 1958. – № 4. – S. 17-18.
7. Kamke, Je. Spravochnik po obyknovennym differencial'nym uravnenijam / Je Kamke: per. s nem. – 4-e izd., ispr. – М.: Nauka: Gl.red.fiz.-mat. lit., 1971. – 576 s.
8. Krishtof, K.A. Sozdanie jelektricheski zarjazhenogo ajerozolija i ego osazhdenie v celjah zashhity sel'skohozajstvennyh rastenij: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk / K.A. Krishtof. – М., 1974.
9. Lekomcev, P.L. Rasprostranenie jelektroajerozolija v zakrytom pomeshhenii / P.L. Lekomcev, A. V. Savushkin // Materialy XIX nauchno-proizvodstvennoj konferencii IzhGSHA. – Izhevsk: IzhGSHA, 1999. – S. 112.
10. Lekomcev, P.L. Jelektroajerozol'nyj generator s povyshennoj jeffektivnost'ju zarjadki / P.L. Lekomcev, A.V. Savushkin, E.V. Dresvjannikova // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva. – 2012. – № 5. – S. 36.

11. Lysenko, V.F. Razrabotka i issledovanie shem i tehnikeskikh sredstv dlja jelektricheskoy zarjadki i raspyneniya ajerozolej preparatov v pticevodcheskikh pomeshheniyah: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk / V.F. Lysenko. – Cheljabinsk, 1979. – 20 s.

12. Mirzabekjan, G.З. Zarjadka ajerozolej v pole koronnogo razrjada / G.З. Mirzabekjan // Sil'nye jelektricheskie polja i tehnikeskie processy – M.: Jenergiya, 1969. – S. 20-39.

13. Mkrtumjan, A.V. Jelektroajerozol'naja obrabotka zhivotnovodcheskikh pomeshhenij: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk / A.V. Mkrtumjan. – M.: MIISP, 1987.

14. Rybinskij, Ju.V. Issledovanie jelektrajerozol'nogo metoda opryskivaniya dlja himicheskoy zashhity rastenij: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk / Ju.V. Rybinskij. – M.: MIISP, 1974. – 26 s.

15. Jelektroajerozol'noe uvlazhnenie vozduha. Oso-bennosti podbora parametrov raboty generatora / A.V. Savushkin, P.L. Lekomcev, E.V. Dresvjannikova [i dr.] // Inzhenernyj vestnik Dona. – 2012. – T. 20. – № 2. – S. 672-675.

16. Fuks, N.A. Mehanika ajerozolej / N.A. Fuks. – M.: Izd-vo akademii nauk SSSR, 1955. – 351 s.

17. Fuks, N.A. Opredelenie razmera i zarjada chastic v tumanah / N.A. Fuks, I.V. Petrijanov // ZhFH. – 1933. – T. 4. – S. 576-572.

18. Shmigel', V.N. Raschjot tehnologicheskikh parametrov processov jelektrajerozol'noj obrabotki v pticevodstve / V.N. Shmigel', A.V. Savushkin // Sb. tr. – Perm', 1983. – S. 121-130.

Сведения об авторах:

Савушкин Андрей Владиславович – доктор технических наук, профессор, директор. ООО «Компонент» (426065, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Автозаводская, 7, тел. (3412) 61-33-27).

Лекомцев Пётр Леонидович – доктор технических наук, профессор кафедры энергетики и электротехнологии. ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11, e-mail: lekomcev@yandex.ru).

Дресвянникова Елена Владимировна – кандидат технических наук, профессор кафедры энергетики и электротехнологии. ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11, e-mail: dresva@yandex.ru).

Пантелеева Лариса Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники, электрооборудования и электроснабжения. ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11, e-mail: panlar@bk.ru).

A.V. Savushkin¹, P.L. Lekomtsev², E.V. Dresviannikova², L.A. Panteleeva²

¹LLC Komponent;

²Izhevsk State Agricultural Academy

DISTRIBUTION OF THE CHARGED PARTICLES CREATED BY THE GENERATOR OF ELECTRICAL AEROSOLS

Relevance of a research is reasoned by the need for improvement of methods of electroaerosol disinfection and disinsection of air and the surfaces of rooms, treatment-and-prophylactic processing of animals and protection of plants. The purpose of article is directed to detection of regularities of electrophysical processes at distribution of an electrical aerosol in rooms. The leading approach to a research of this problem is the mathematical modeling of electrotechnical, dynamic and kinetic processes in electroaerosol systems allowing to reveal the main regularities of distribution of an electrical aerosol. As a result, a mathematical model of distribution of an electrical aerosol in space had been obtained. The analysis of model of process showed that concentration of particles in a cloud of aerosol depends on their size, charge and power of a source. The provision on uniformity of concentration of particles did not follow. The essential moment was that concentration of particles and electric field strength depended on distance from the source of the particles. Therefore, the uneven tension in the field created by charged particles near the generator could lead to the digit phenomena in air, and the increased concentration of particles would influence the speed of their evaporation. The latter needs to be considered when calculating electroaerosol processings indoors.

Key words: electrical aerosol; electroaerosol generator; electric field; electric field strength; electric charge; volume charge; electroaerosol processing.

Authors:

Savushkin Andrey Vladislavovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, director LLC Komponent (7, Avtozavodskaya Str., Izhevsk, Russian Federation, 426065, tel. (3412) 61-33-27).

Lekomtsev Pyotr Leonidovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Power and Electrotechnology, Izhevsk State Agricultural Academy (11, Studencheskaya Str., Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: lekomtsev@yandex.ru).

Dresviannikova Elena Vladimirovna – Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Power and Electrotechnology, Izhevsk State Agricultural Academy (11, Studencheskaya Str., Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: dresva@yandex.ru).

Panteleeva Larisa Anatolyevna – Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Electrical Engineering, Electrical Equipment and Electricity, Izhevsk State Agricultural Academy (11, Studencheskaya Str., Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: panlar@bk.ru).

УДК 621.311, 621.314.2

А.С. Серебряков, В.Л. Осокин

ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет»

НЕСИММЕТРИЧНАЯ НАГРУЗКА И КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ ТРЁХФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПРИ СОЕДИНЕНИИ ОБМОТОК ПО СХЕМЕ Y/Δ

Показано, что при соединении обмоток трёхфазного трансформатора по схеме Y/Δ -11, когда отсутствуют составляющие тока нулевой последовательности, первичные и вторичные токи определяются из условия равновесия первичных и вторичных магнитодвижущих сил. В силу этого нет необходимости раскладывать токи на симметричные составляющие и можно значительно упростить задачу анализа, сведя её, пренебрегая токами намагничивания, к расчёту обычной электрической цепи с тремя неизвестными токами. В качестве примера приведены векторные диаграммы режима однофазной и двухфазной нагрузки, а также режима однофазного короткого замыкания. Даны соотношения для расчёта тока однофазного короткого замыкания.

Ключевые слова: трёхфазный трансформатор; схема соединения обмоток трансформатора «звезда-треугольник»; несимметричная нагрузка; короткое замыкание; сопротивление короткого замыкания.

Актуальность. Эксплуатационную надёжность систем электроснабжения можно повысить, применив в аварийных режимах быстродействующую интеллектуальную цифровую защиту силовых трансформаторов при соединении обмоток по схеме Y/Δ . В настоящее время отсутствует математическое обеспечение для настройки такой защиты. Руководящие указания по релейной защите не дают чётких установок для указанных защит и их рекомендации не являются очевидными. Поэтому исследования, устанавливающие основные соотношения в трансформаторах с соединением обмоток по схеме Y/Δ , являются актуальными.

Цель исследования: предложить и обосновать простые и наглядные методы расчёта токов в обмотках трансформаторов при несимметричных коротких замыканиях.

Задачи исследования: обосновать возможность расчёта токов короткого замыкания в фазах трансформатора без разложения их на

симметричные составляющие; упростить задачу анализа, сведя её, пренебрегая токами намагничивания, к расчёту обычной электрической цепи с тремя неизвестными токами без преобразования вторичной обмотки из схемы треугольник в схему звезда.

Материал и методы. Исследования проводились по результатам экспериментов на электрифицированных участках Горьковской железной дороги. Применялись методы расчёта сложных электрических цепей с непосредственным применением законов Кирхгофа, метод узловых потенциалов, метод симметричных составляющих и метод Крамера для решения системы линейных уравнений.

Результаты исследования. Схема соединений Y/Δ -11 применяется для питания мощных однофазных потребителей электрической энергии, например, участков электрифицированной железной дороги. На рисунке 1 приведена схема трёхфазного тягового трансформа-

тора с соединением обмоток по схеме Y/Δ-11, питающего напряжением 25 кВ два участка 1 и 2 электрифицированной железной дороги, потребляющих токи I_1 и I_2 . От этого же трансформатора может получать электрическую энергию и нетяговая нагрузка, в том числе расположенные рядом с железной дорогой ремонтные заводы, а также сельскохозяйственные потребители электроэнергии. Тяговая нагрузка в схеме замещения представлена комплексными сопротивлениями Z_{H1} и Z_{H2} . Обмотка напряжением 10 кВ, питающая нетяговую нагрузку, на схеме не показана.

При известных значениях токов нагрузки значения токов во вторичных фазных обмотках трёхфазного трансформатора можно получить из системы уравнений, составленных для узлов a и b по первому закону Кирхгофа (рис. 1):

$$\underline{I}_a - \underline{I}_b - \underline{I}_2 = 0; \quad (1)$$

$$\underline{I}_b - \underline{I}_c + \underline{I}_1 = 0. \quad (2)$$

Учитывая, что при соединении вторичной обмотки в треугольник, когда в него не трансформируются из других обмоток токи нулевой последовательности, существует равенство

$$\underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c = 0. \quad (3)$$

Найдём выражения для фазных токов во вторичной обмотке:

$$\underline{I}_a = \frac{2}{3}\underline{I}_2 - \frac{1}{3}\underline{I}_1; \quad (4)$$

$$\underline{I}_b = -\frac{1}{3}\underline{I}_1 - \frac{1}{3}\underline{I}_2; \quad (5)$$

$$\underline{I}_c = \frac{2}{3}\underline{I}_1 - \frac{1}{3}\underline{I}_2. \quad (6)$$

На рисунке 2 приведена векторная диаграмма для случая, когда нагрузка – второй приёмник с током I_2 подключён только к одной фазе a . Нагрузка в первом приёмнике отсутствует ($I_1=0$). Токи в фазах вторичной обмотки трансформатора в этом случае в соответствии с (4)-(6) будут равны:

$$\underline{I}_a = \frac{2}{3}\underline{I}_2; \quad \underline{I}_b = -\frac{1}{3}\underline{I}_2; \quad \underline{I}_c = -\frac{1}{3}\underline{I}_2.$$

В этом случае при номинальной нагрузке фазы a (A) тягового трансформатора две других фазы b (B) и c (C) будут загружены на 50%. Выражения (4)-(6) отражают тот факт, что напряжение, подведённое к нагрузке, генерируется двумя параллельно соединёнными источниками электроэнергии, включёнными во вторичную цепь трансформатора (рис. 3). Внутреннее сопротивление Z_K первого источника (фазы ax) в два раза меньше, чем внутреннее сопротивление $2Z_K$ второго источника (двух других последовательно соединённых фаз yb и zc).

Поэтому ток \underline{I}_2 делится между этими фазами в отношении 2:1, то есть по обмотке ax пойдёт ток $\underline{I}_a = \frac{2}{3}\underline{I}_2$, а по фазам yb и zc ток

$$\underline{I}_b = \underline{I}_c = -\frac{1}{3}\underline{I}_2.$$

Аналогичным образом разделится и ток \underline{I}_1 , если он не равен нулю. В результате применения метода наложения и получаются формулы (4)-(6).

Если же известны не токи, а значения сопротивлений нагрузки, то значения токов нагрузки и токов в фазах трансформатора можно получить, решая уравнения (1)-(3) совместно с системой из двух уравнений, составленных по второму закону Кирхгофа для левого и правого контуров (рис. 3):

$$\underline{Z}_{H2}\underline{I}_2 + \underline{Z}_K\underline{I}_a = \underline{U}_A; \quad (7)$$

$$\underline{Z}_{H1}\underline{I}_1 + \underline{Z}_K\underline{I}_c = \underline{U}_C. \quad (8)$$

В матричной форме уравнения (1) – (3) и (7), (8) примут вид:

$$\begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ \underline{Z}_K & 0 & 0 & 0 & \underline{Z}_{H2} \\ 0 & 0 & \underline{Z}_K & \underline{Z}_{H1} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_a \\ \underline{I}_b \\ \underline{I}_c \\ \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \underline{U}_A \\ \underline{U}_C \end{bmatrix} \quad (9)$$

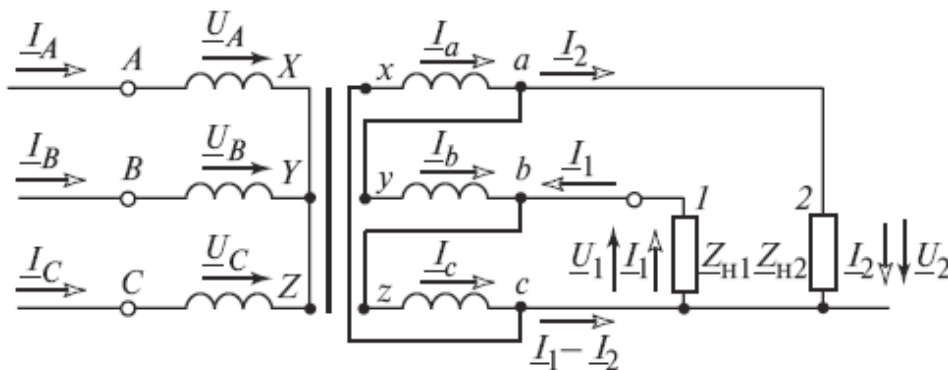


Рисунок 1 – Схема трёхфазного тягового трансформатора, питающего две однофазные нагрузки

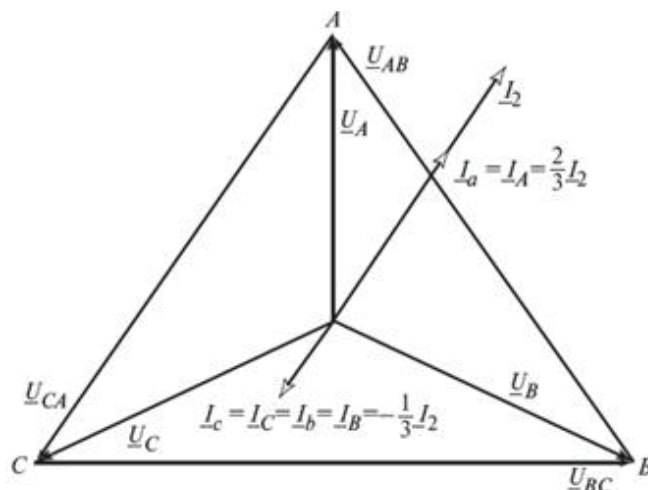


Рисунок 2 – Векторная диаграмма при нагрузке одной фазы *ax* вторичной обмотки

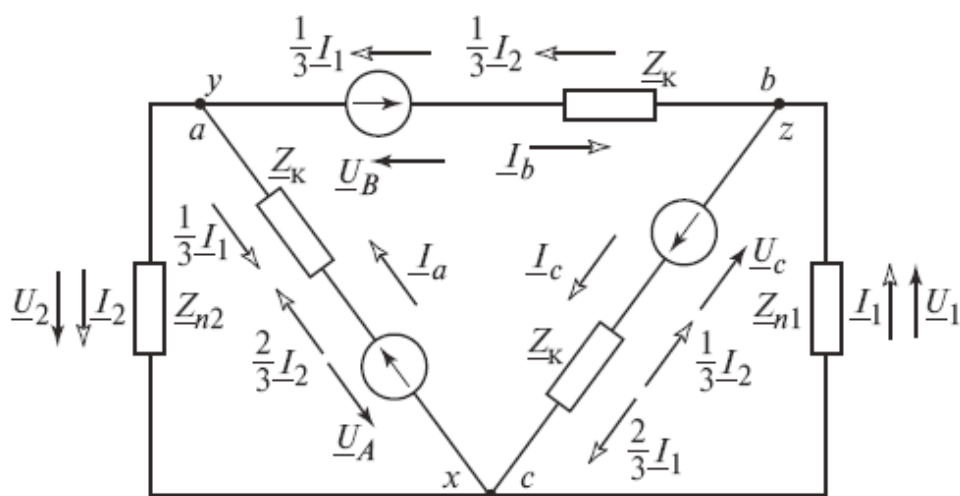


Рисунок 3 – Расчётная схема трансформатора при несимметричной нагрузке и соединении обмоток трансформатора по схеме *YΔ-11*

В уравнениях (7) - (9) Z_K – приведённое ко вторичной цепи суммарное сопротивление двух обмоток одной фазы трансформатора, называемое сопротивлением короткого замыкания. Векторная диаграмма токов, построенная по результатам решения в интегрированном пакете MathCad матричной системы уравнений (9), приведена на рисунке 4, где показано, что наименее нагруженной в этом случае является фаза *B*. При номинальных нагрузках в фазах *a* и *c* фаза *b* оказывается загруженной менее чем на 40%. Загрузка всего трансформатора составляет 80%. Когда ток нагрузки 1 равен нулю, то наименее нагруженными оказываются, как было показано выше, две фазы (рис. 2), а загрузка всего трансформатора при номинальной нагрузке рабочей фазы составляет 67%.

Наиболее опасными для трансформаторов в эксплуатации являются аварийные режи-

мы, вызванные короткими замыканиями (КЗ). Чаще всего они происходят при замыкании контактного провода на рельс. Для разработки систем быстрого обнаружения и ликвидации КЗ необходимо исследовать количественные соотношения при аварийных режимах.

В режиме симметричного трёхфазного короткого замыкания на вторичной стороне трансформатора (рис. 5) каждая фаза его работает независимо. Токи КЗ во вторичных обмотках трансформатора замыкаются каждый в своём контуре. Они равны по значению и определяются по формуле

$$I_{КФ(3)} = I_{ак(3)} = I_{бк(3)} = I_{ск(3)} = \frac{U_\phi}{Z_{KC} + Z_\Pi} \quad (10)$$

Здесь $Z_{KC} = Z_K + Z_C$ – приведённое суммарное сопротивление короткого замыкания на фазу; Z_K – приведённое сопротивление КЗ тягового трансформатора;

Z_C – приведённое сопротивление КЗ системы внешнего электроснабжения;

Z_{II} – приведённое переходное сопротивление в месте КЗ.

Сопротивление короткого замыкания для одной фазы тягового трансформатора при соединении обмоток по схеме звезда или по схеме треугольника находится по формуле

$$Z_K = \frac{U_K \% \cdot 3U_\phi^2}{100S_H} \quad (11)$$

Здесь U_ϕ – фазное напряжение;

S_H – номинальная мощность,

$U_K \%$ – напряжение короткого замыкания.

При соединении обмоток по схеме звезда сопротивление короткого замыкания фазы можно находить по формуле

$$Z_K = \frac{U_K \% \cdot U_{Л}^2}{100S_H} \quad (11a)$$

Здесь $U_{Л} = \sqrt{3}U_\phi$ – линейное напряжение.

Коэффициент 3 в формуле (11) позволяет переходить от фазного напряжения к линейному, если обмотка соединена по схеме звезда. Если принять $Z_{II}=0$ и $Z_C=0$, то ток трёхфазного КЗ будет равен

$$I_{K\Phi(3)} = \frac{U_\phi}{Z_K} \quad (12)$$

Если у тягового трансформатора мощностью 40 МВ·А с напряжениями 110/27,5 кВ напряжение короткого замыкания $U_K \%$ составляет 10%, то сопротивление короткого замыкания Z_{K1} , приведённое к первичной стороне (стороне высшего напряжения 110 кВ) в соответствии с (11,а) будет равно:

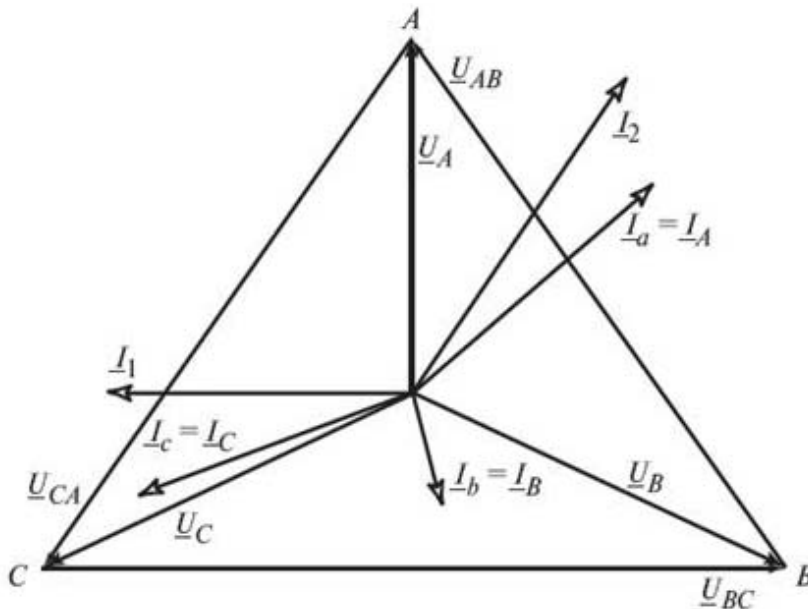


Рисунок 4 – Векторная диаграмма при несимметричной нагрузке трансформатора и соединении его обмоток по схеме Y/Δ-11

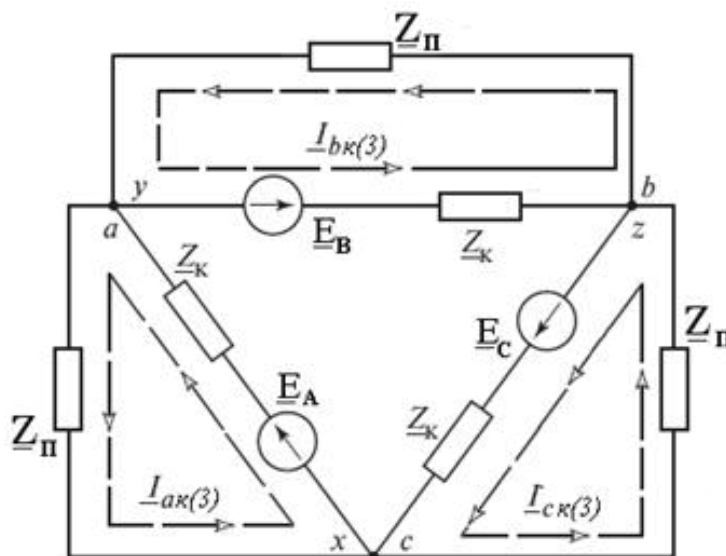


Рисунок 5 – Схема симметричного трёхфазного короткого замыкания

$$Z_{K1} = \frac{U_{K\%} \cdot U_L^2}{100S_H} = \frac{10 \cdot 110000^2}{100 \cdot 40 \cdot 10^6} = 30,25 \text{ Ом}.$$

Линейный ток и он же фазный ток первичной обмотки (обмотки высшего напряжения 110 кВ) при симметричном трёхфазном КЗ на стороне низшего напряжения 27,5 кВ в соответствии с (12) будет равен

$$I_{K1(3)} = \frac{U_{\phi 1}}{Z_{K1}} = \frac{110000}{\sqrt{3} \cdot 30,25} = 2100 \text{ А} = 2,1 \text{ кА}.$$

Фазный ток короткого замыкания вторичной обмотки низшего напряжения (27,5 кВ) будет равен

$$I_{K2\phi(3)} = I_{K1(3)} \cdot n_{\phi} = 2,1 \cdot 2,31 = 4,8 \text{ кА}.$$

Здесь $n_{\phi} = \frac{U_{1\phi}}{U_{2\phi}} = \frac{110}{\sqrt{3} \cdot 27,5} = 2,31$ – коэффициент трансформации фазных напряжений трансформатора.

Линейный ток вторичной цепи низшего напряжения (27,5 кВ) будет равен

$$I_{K2L(3)} = I_{K1(3)} \cdot n_L = 2,1 \cdot 4 = 8,4 \text{ кА}$$

Здесь $n_L = \frac{U_{1L}}{U_{2L}} = \frac{110}{27,5} = 4$ – коэффициент трансформации линейных напряжений трансформатора.

Ток КЗ на вторичной стороне трансформатора можно определить также и с помощью сопротивления КЗ на стороне низшего напряжения, приводя первичную обмотку ко вторичной. В схеме на рисунках 1 и 5 фазное напряжение 27,5 кВ вторичной обмотки тягового трансформатора равно линейному напряжению. В этом случае сопротивление КЗ приведённого трансформатора к стороне 27,5 кВ, определяемое по формуле (11), составит 5,7 Ом. Обратим внимание, что в формулу (11) подставляется фазное напряжение 27,5 кВ. Такое же значение сопротивления короткого замыкания на стороне 27,5 кВ получим, если приведём сопротивление на стороне высшего напряжения 110 кВ к низшему напряжению 27,5 кВ:

$$Z_{K2} = \frac{Z_{K1}}{n_{\phi}^2} = \frac{30,25}{2,31^2} = 5,7 \text{ Ом}.$$

Ток трёхфазного короткого замыкания в фазах вторичной обмотки трансформатора будет равен

$$I_{K2\phi(3)} = \frac{U_{\phi 2}}{Z_K} = \frac{27,5}{5,7} = 4,8 \text{ кА}.$$

Токи в линейных проводах, соединяющих выводы трансформатора с местом трёхфазного короткого замыкания, будут в $\sqrt{3}$ раз больше

фазных токов в обмотках трансформатора, то есть будут равны

$$I_{K2L(3)} = \sqrt{3} \cdot I_{K2\phi(3)} = \sqrt{3} \cdot 4,85 = 8,4 \text{ кА}.$$

Рассмотрим теперь короткое замыкание в одном плече или в одной фидерной зоне, когда нагрузка в другом плече отсутствует. При условии, что намагничивающие токи трансформатора равны нулю и в первичной и вторичной обмотках отсутствуют токи нулевой последовательности, на каждом стержне магнитопровода трансформатора, то есть в каждой фазе должно существовать равенство первичной и вторичной МДС. Это значит, что для приведённого трансформатора должно существовать равенство первичных и вторичных токов в каждой фазе. Другими словами, каждая фаза будет работать независимо. Действительно, как указано в [1], при наличии одной из обмоток, соединённой в треугольник, центр звезды фазных напряжений другой обмотки, соединённой в звезду, совпадает с центром тяжести треугольника линейных напряжений. Токи нулевой последовательности в обмотку, соединённую треугольником, из других обмоток не трансформируются. Схема замещения трансформатора в этом случае приведена на рисунке 6а. На рисунке 6б приведена расчётная схема, где I_K – ток плеча или ток фидера при коротком замыкании. Будем, как и ранее, для упрощения считать приведённое сопротивление короткого замыкания системы внешнего электроснабжения равным нулю. Если оно не равно нулю, то его легко учесть, складывая его с сопротивлением короткого замыкания трансформатора. Составим для схемы на рисунке 6б уравнения по законам Кирхгофа:

$$\underline{Z}_K \underline{I}_a + \underline{Z}_\Pi \underline{I}_K = E_A. \quad (13)$$

$$2\underline{Z}_K \underline{I}_{bc} + \underline{Z}_\Pi \underline{I}_K = -E_B - E_C = E_A. \quad (14)$$

$$\underline{I}_a + \underline{I}_{bc} - \underline{I}_K = 0. \quad (15)$$

Здесь $\underline{I}_{bc} = -\underline{I}_b = -\underline{I}_c$.

Запишем уравнения (13)-(15) в матричной форме, заменив источники ЭДС соответствующими напряжениями:

$$\begin{bmatrix} \underline{Z}_K & 0 & \underline{Z}_\Pi \\ 0 & 2\underline{Z}_K & \underline{Z}_\Pi \\ 1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_a \\ \underline{I}_{bc} \\ \underline{I}_K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{U}_A \\ \underline{U}_A \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (16)$$

Главный определитель системы

$$\Delta = \begin{vmatrix} \underline{Z}_K & 0 & \underline{Z}_\Pi \\ 0 & 2\underline{Z}_K & \underline{Z}_\Pi \\ 1 & 1 & -1 \end{vmatrix} = -2\underline{Z}_K^2 - 3\underline{Z}_K \underline{Z}_\Pi. \quad (17)$$

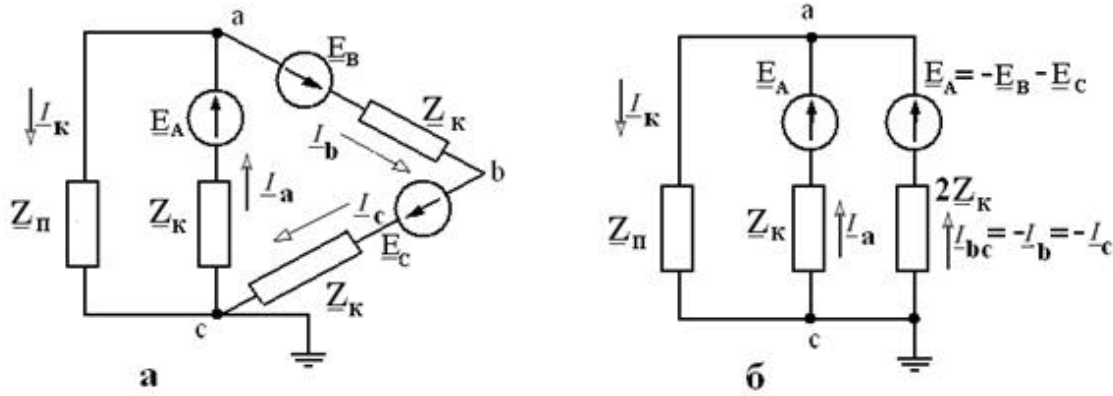


Рисунок 6 – Схема замещения трансформатора при коротком замыкании (а) и расчётная схема (б)

Определители токов I_K, I_a, I_{bc} :

$$\Delta I_a = \begin{vmatrix} U_A & 0 & Z_{\Pi} \\ U_A & 2Z_K & Z_{\Pi} \\ 0 & 1 & -1 \end{vmatrix} = -2Z_K U_A; \quad (18)$$

$$\Delta I_{bc} = \begin{vmatrix} Z_K & U_A & Z_{\Pi} \\ 0 & U_A & Z_{\Pi} \\ 1 & 0 & -1 \end{vmatrix} = -Z_K U_A; \quad (19)$$

$$\Delta I_K = \begin{vmatrix} Z_K & 0 & U_A \\ 0 & 2Z_K & U_A \\ 1 & 1 & 0 \end{vmatrix} = -3Z_K U_A \quad (20)$$

Токи в фазах трансформатора и ток КЗ фидера:

$$I_a = \frac{\Delta I_a}{\Delta} = \frac{-2Z_K U_A}{-2Z_K^2 - 3Z_K Z_{\Pi}} = \frac{2U_A}{2Z_K + 3Z_{\Pi}} = \frac{2U_{\phi}}{2Z_K + 3Z_{\Pi}} \quad (21)$$

$$I_{bc} = \frac{\Delta I_{bc}}{\Delta} = \frac{-Z_K U_A}{-2Z_K^2 - 3Z_K Z_{\Pi}} = \frac{U_A}{2Z_K + 3Z_{\Pi}} = \frac{U_{\phi}}{2Z_K + 3Z_{\Pi}} \quad (22)$$

$$I_K = \frac{\Delta I_K}{\Delta} = \frac{-3Z_K U_A}{-2Z_K^2 - 3Z_K Z_{\Pi}} = \frac{3U_A}{2Z_K + 3Z_{\Pi}} = \frac{3U_{\phi}}{2Z_K + 3Z_{\Pi}} \quad (23)$$

Точно такой же результат получим, применяя для расчёта тока КЗ метод узловых потенциалов. Учитывая, что в первичной и вторичной обмотках отсутствуют токи нулевой последовательности и все фазы работают независимо, найдём потенциал точки a , считая потенциал точки c равным нулю (схема на рис. 6б):

$$\varphi_a = \frac{\frac{E_A}{Z_K} + \frac{E_A}{2Z_K}}{\frac{1}{Z_K} + \frac{1}{2Z_K} + \frac{1}{Z_{\Pi}}} = \frac{E_A(1 + \frac{1}{2})}{1 + \frac{1}{2} + \frac{Z_K}{Z_{\Pi}}} = \frac{3E_A Z_{\Pi}}{2Z_K + 3Z_{\Pi}} \quad (24)$$

Ток фидера при КЗ:

$$I_K = \frac{\varphi_a}{Z_{\Pi}} = \frac{3E_A}{2Z_K + 3Z_{\Pi}} = \frac{3U_A}{2Z_K + 3Z_{\Pi}} = \frac{3U_{\phi}}{2Z_K + 3Z_{\Pi}} \quad (25)$$

Если принять $Z_{\Pi}=0$, то

$$I_K = \frac{3U_{\phi}}{2Z_K} = \frac{3 \cdot 27,5}{2 \cdot 5,7} = 7,2 \text{ кА} \quad (26)$$

Из формулы (26) следует, что ток однофазного КЗ трансформатора, обмотки которого соединены по схеме Y/Δ-11, на 14% меньше линейного тока КЗ при трёхфазном замыкании ($7,2/8,4=0,86$). Это подтверждает моделирование процессов КЗ в интегрированном пакете MathCad и физическое моделирование.

Отметим, что на практике можно пользоваться несколько иной формулой, дающей тот же результат:

$$I_K = \frac{3U_{\phi}}{2Z_K} = \frac{U_{\phi}}{\frac{2Z_K}{3}} = \frac{27,5}{2 \cdot 1,9} = \frac{U_{\Pi}}{2Z_K} = 7,2 \text{ кА}.$$

В этом случае, хотя формула (11а) предназначена для соединения обмоток звездой, производят расчёт сопротивления короткого замыкания по ней, считая напряжение 27,5 кВ линейным напряжением. В этом случае, абстрагируясь от схемы соединения обмоток, принимают две ступени напряжения: 110 и 27,5 кВ, считая по умолчанию, что соединение треугольником преобразовано в звезду. Сопротивление КЗ, приведённое ко вторичной стороне, в этом случае получается в три раза меньшим и равным 1,9 Ом. Коэффициент фазных напряжений становится равным коэффициенту линейных напряжений $n_{\phi} = n_L = \frac{U_{Ll}}{U_{2l}} = \frac{110}{27,5} = 4$, и сопротивление фазы, приведённое к напряжению 27,5 кВ, принимает значение

$$Z_{K2} = \frac{Z_{K1}}{n_{\phi}^2} = \frac{30,25}{4^2} = \frac{30,25}{16} = 1,9 \text{ Ом}.$$

В заключение приведём самое короткое доказательство формулы (26). Из формулы (4) следует, что при $I_1=0$ ток в фазе a вторичной обмотки трансформатора при коротком замыкании в этой фазе равен $I_a = \frac{2}{3} I_K$.

Следовательно, $I_a Z_K = \frac{2}{3} I_K Z_K + I_K Z_{II} = E_a = U_a$.

$$\text{Отсюда } I_K = \frac{3U_a}{2Z_K + 3Z_{II}} = \frac{3U_\phi}{2Z_K + 3Z_{II}}.$$

Напряжение 27,5 кВ следует считать фазным напряжением, а приведённое сопротивление КЗ – равным 5,7 Ом. Действительно, как известно из [2], приведённое сопротивление обмотки высшего напряжения трансформатора равно его сопротивлению, делённому на квадрат коэффициента трансформации. Коэффициент трансформации фазных напряжений, как было показано выше, равен $n_\phi = 2,31$. Следовательно, $n_\phi^2 = 5,3$ и $Z_K = 30,25/5,3 = 5,7$ Ом.

В учебной литературе и руководящих указаниях по расчёту токов КЗ и релейной защите систем тягового электроснабжения [3-6] рекомендуется рассчитывать ток КЗ фидера по формуле двухфазного КЗ, предварительно преобразовав вторичную обмотку из схемы треугольника в схему звезда. Результат для тока КЗ получается тот же самый:

$$I_K = \frac{U_\phi}{2Z_K}. \quad (27)$$

Однако в преобразованной в звезду схеме в одной из фаз в первичной и вторичной обмотках ток оказывается равным нулю, что не соответствует действительности (рис. 7а). На самом деле ток к месту КЗ посылает не одна фаза, а дополнительно или параллельно к ней и две включённые последовательно фазы. Следова-

тельно, расчёт токов КЗ при соединении обмоток трансформатора по схеме Y/Δ-11 следует производить без преобразования треугольника в звезду, пользуясь формулой (26) – рис. 7б. При этом ток КЗ в первичной и вторичной обмотках замкнутой фазы равен току трёхфазного КЗ.

Как видно на рисунке 7, в реальной схеме токи КЗ в фазах отличаются от токов КЗ в преобразованной схеме. Если считать трансформатор чёрным ящиком и определять только ток КЗ в фидере, то формально можно пользоваться формулой (27). Если же речь идёт о настройке релейной защиты, и тем более, о настройке интеллектуальной цифровой защиты, то следует рассчитывать токи КЗ без преобразования вторичной обмотки трансформатора из треугольника в звезду.

Вывод. Поскольку при соединении обмоток трансформатора по схеме Y/Δ-11 токи прямой и обратной последовательностей одинаково трансформируются из одной обмотки в другую и сопротивление короткого замыкания в схеме замещения для этих токов и их суммы одинаковы, то, если пренебречь намагничивающими токами, первичные и вторичные токи в каждой фазе приведённого трансформатора будут равны: $I_A = I_a$, $I_B = I_b$, $I_C = I_c$. Это значит, что токи и МДС первичных и вторичных обмоток уравниваются в каждой фазе в отдельности и влияние одной фазы на другую отсутствует.

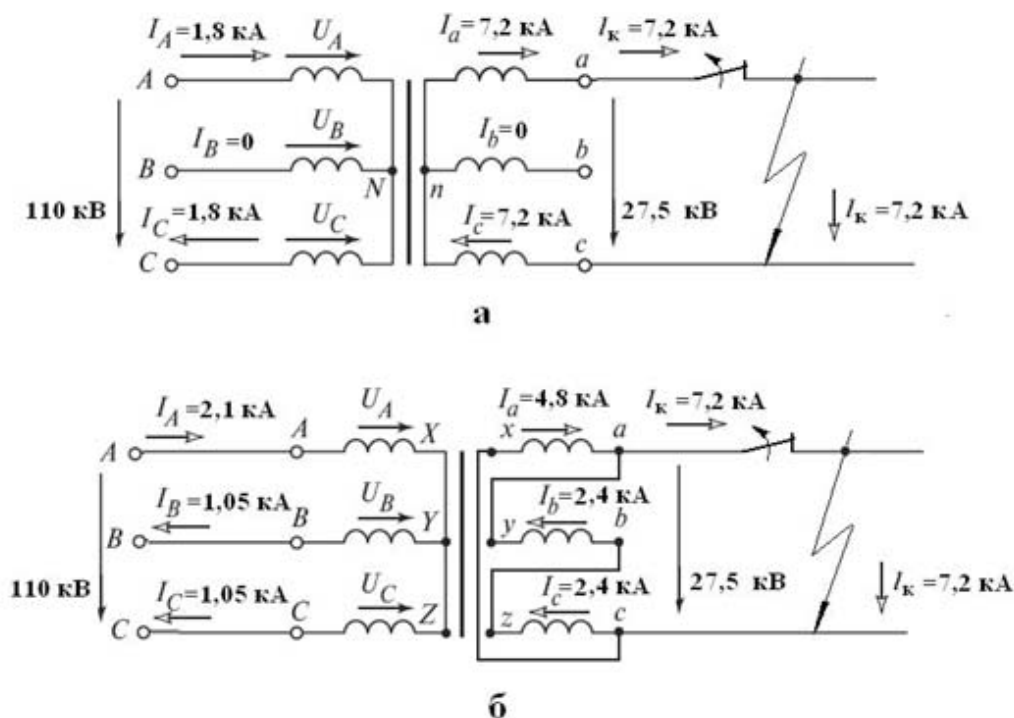


Рисунок 7 – Схема замещения трансформатора при коротком замыкании с преобразованием вторичной обмотки (а) и без преобразования (б)

Это даёт возможность рассчитывать токи КЗ без преобразования треугольника в звезду. При этом расчёт упрощается и становится более наглядным.

При определении сопротивления короткого замыкания на фазу трансформатора с соединением обмоток Y/Δ логически более обосновано и более наглядно с физической точки зрения пользоваться формулой, в которую входят не линейные, а фазные напряжения.

Список литературы

1. Петров, Г.Н. Электрические машины: учебник для вузов. В 3 частях. Ч. 1. Введение. Трансформаторы / Г.Н. Петров. – М.: Энергия, 1974. – 240 с.
2. Костенко, М.П. Электрические машины: учебник для студентов вузов. В 2 частях. Ч. 1. Машины постоянного тока. Трансформаторы / М.П. Костенко Л.М., Пиотровский. – Изд. 3-е, перераб. – Л.: Энергия, 1972. – 544 с.
3. Моделирование аварийных режимов в системах электроснабжения железных дорог: монография / Е.А. Алексеенко, Ю.Н. Булатов, В.П. Закарянкин [и др.]; под ред. А.В. Крюкова. – Иркутск: ИрГУПС, 2016. – 169 с.
4. Руководящие указания по релейной защите систем тягового электроснабжения. – М.: ТРАНЗИЗДАТ, 2005. – 216 с.
5. СТО РЖД 07.021.4-2015 Защита систем электроснабжения железной дороги от коротких замыканий и перегрузки. Часть 4. Методика выбора уставок защит в системе тягового электроснабжения переменного тока.

6. ГОСТ Р 52735-2007 Национальный стандарт Российской Федерации. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчёта в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ. – М.: Стандартинформ, 2007. – 36 с.

Spisok literatury

1. Petrov, G.N. Jelektricheskie mashiny: uchebnik dlja vuzov. V 3 chastjah. Ch. 1. Vvedenie. Transformatory / G.N. Petrov. – М.: Jenergija, 1974. – 240 s.
2. Kostenko, M.P. Jelektricheskie mashiny: uchebnik dlja studentov vtuzov. V 2 chastjah. Ch. 1. Mashiny postojannogo toka. Transformatory / M.P. Kostenko L.M., Piotrovskij. – Izd. 3-e, pererab. – L.: Jenergija, 1972. – 544 s.
3. Modelirovanie avarijnyh rezhimov v sistemah jelektrosnabzhenija zheleznyh dorog: monografija / E.A. Alekseenko, Ju.N. Bulatov, V.P. Zakarjukin [i dr.]; pod red. A.V. Krjukova. – Irkutsk: IrGUPS, 2016. – 169 s.
4. Rukovodjashhie ukazaniya po relejnoj zashhite sistem tjagovogo jelektrosnabzhenija. – М.: ТРАНЗИЗДАТ, 2005. – 216 s.
5. СТО RZhD 07.021.4-2015 Zashhita sistem jelektrosnabzhenija zheleznoj dorogi ot korotkih zamykanij i peregruzki. Chast' 4. Metodika vybora ustavok zashhit v sisteme tjagovogo jelektrosnabzhenija peremennogo toka.
6. GOST R 52735-2007 Nacional'nyj standart Rosijskoj Federacii. Korotkie zamykanija v jelektroustanovkah. Metody raschjota v jelektroustanovkah peremennogo toka naprjazheniem svyshe 1 kV. – М.: Standartinform, 2007. – 36 s.

Сведения об авторах:

Серебряков Александр Сергеевич – доктор технических наук, профессор кафедры электрификации и автоматизации. ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет» (606340, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, Княгинино, ул. Октябрьская, 22а, e-mail: a.sereb@mail.ru).

Осокин Владимир Леонидович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электрификации и автоматизации. ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет» (606340, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, Княгинино, ул. Октябрьская, 22а, e-mail: osokinvl@mail.ru).

A.S. Serebryakov, V.L. Osokin

Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University

ASYMMETRICAL LOADING AND SHORT CIRCUIT OF THE THREE-PHASE TRANSFORMER AT CONNECTION OF WINDINGS ACCORDING TO THE Y/Δ SCHEME

It is shown that at connection of windings of the three-phase transformer according to the scheme Y/Δ -11, when there is no making current of the zero sequence, primary and secondary currents are conducted from the equilibrium condition of primary and secondary magnetomotive forces. Owing to this, there is no need to display currents on symmetric components, and it is possible to simplify the task of analysis, neglecting the currents of magnetization, and calculate a usual electric chain with three unknown currents. The vector diagrams of single-phase and two-phase loading and the mode of single-phase short circuit are represented as an example. Ratios for calculation of current of single-phase short circuit are also disposed.

Key words: *three-phase transformer; the winding connection scheme of the transformer "star-delta"; asymmetrical loading; short circuit; resistance of short circuit.*

Authors:

Serebryakov Aleksandr Sergeevich – Doctor of Technical Science, Professor of the Chair «Electrification and automatization». Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University (22a, Oktyabrskaya Str., Knyaginino District, Nizhny Novgorod, Russian Federation, 606340, e-mail: a.sereb@mail.ru).

Osokin Vladimir Leonidovich – Candidate of Technical Science, Associate Professor, Head of the Chair «Electrification and automatization». Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University (22a, Oktyabrskaya Str., Knyaginino District, Nizhny Novgorod, Russian Federation, 606340, e-mail: osokinvl@mail.ru).

УДК 631.363.25: 681.521.71

В.И. Ширококов, А.Г. Ипатов, Л.Я. Новикова, С.Н. Шмыков

ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИЗНОШЕННОГО СЕПАРИРУЮЩЕГО РЕШЕТА ДРОБИЛКИ ЗЕРНА ЗАКРЫТОГО ТИПА

Исследованы параметры сепарирующего решета дробилки зерна закрытого типа и их влияние на качество измельчённого зерна. Износ решета вызван принятым способом дробления зерна и неизбежно возникает в любом случае. Для определения величины износа рабочей поверхности решета были использованы методы инструментального контроля. Исследования параметров изношенного сепарирующего решета всасывающе-нагнетательной дробилки зерна закрытого типа позволили сделать следующие выводы: увеличение размера отверстия приводит к повышению модуля помола на 2,8...19,4%; износ перемычек между отверстиями приводит к образованию большего количества пылевидной фракции; прогиб решета на 0,47...2,65 мм приводит к увеличению модуля помола на 0,05...0,3 мм и остатка на ситах с диаметром отверстий 3 мм на 1,0...5,6%. Для повышения качественных показателей работы дробилок зерна закрытого типа рекомендуется: увеличить износостойкость решёт за счёт упрочнения кромок отверстий решета с использованием современных технологий; не допускать значительного износа перемычек между отверстиями сепарирующего решета и своевременно, например, разворачивать или перегибать решето, чтобы поток зерна направлялся на неизношенную поверхность решета, как это проводят с молотками дробилки; вынести решето из дробильной камеры и установить его в циклоне или в бункере смесителя, что позволит повысить качественные показатели конечного продукта и увеличить пропускную способность дробилки с меньшими затратами энергии.

Ключевые слова: дробилка; зерно; износ; качество; отверстия; показатели; перемычки; параметры; совершенствование.

Актуальность. В современных условиях производства сельскохозяйственной продукции важное место занимает процесс подготовки кормов к скармливанию животным. Технологически зоотехнической наукой широко проработаны эти процессы и не вызывают нареканий. Конструктивно же существующее оборудование требует совершенствования или модернизации, а также разработки новых, более совершенных машин и оборудования [6, 7, 10, 12, 13]. Так, например, для измельчения зерна сельскохозяйственным животным широко используются дробилки закрытого типа, работающие по принципу всасывания исходного материала и нагнетания готового продукта. При этом для разрушения зерна используются шарнирно подвешенные молотки, а для отделения готового продукта – сменные сепарирующие решета, установленные по периме-

тру в дробильном барабане. Отсутствие дек, подача зерна по центру дробильного барабана и установка решета в дробильном барабане привели к снижению эффективности работы таких дробилок [12, 13]. Это, как показал ситовой анализ проб, взятых с производства, привело к следующим негативным моментам [13]: качество готового продукта (измельчённого зерна) соответствует только двум из пяти показателей, заявленных зоотехнической наукой [4] и ГОСТ 9268-90 [1] для молодняка крупного рогатого скота. Так, например, не соответствуют допустимым значениям следующие показатели: равномерность гранулометрического состава – менее 48%; превышение содержания целых зёрен в 3,3 раза, а пылевидной фракции – 1,8 раза. Кроме того, проведённый сравнительный ситовой анализ измельчённого зерна на дробилках закрытого и открытого типов пока-

зал лучшие качественные показатели последних. При сравнительно небольших отклонениях показателей качества готового продукта дробилки закрытого типа значительно уступают по содержанию пылевидной фракции, которая выше в 2,3 раза в сравнении с дробилками открытого типа, а содержание целых зёрен превышено в 1,3 раза. Поэтому совершенствование конструктивно-технологических параметров дробилок зерна, особенно закрытого типа, которые широко используются сельскохозяйственными товаропроизводителями, является актуальной задачей.

Целью работы является исследование параметров сепарирующего решета и их влияние на качество измельчённого зерна.

В соответствии с целью в работе определены следующие **задачи**: провести анализ качественных показателей работы дробилки зерна закрытого типа; дать рекомендации по совершенствованию конструктивно-технологических параметров дробилки зерна закрытого типа.

Материал и методы. Объектом исследования явилось использованное и изношенное сепарирующее решето дробилки зерна закрытого ДКР-5М, работающей по принципу всасывания исходного и нагнетания готового про-

дукта. Износ решета вызван принятым способом дробления зерна и неизбежно возникает в любом случае, а интенсивность износа пропорциональна: количеству измельчённого зерна и твёрдых неорганических примесей; физико-механическим свойствам материала решета, измельчаемого материала и твёрдых неорганических примесей, поступающих вместе с зерном; наличию сепарирующего решета в дробильной камере. Изменение размеров отверстий вследствие изнашивания перемычек между отверстиями можно рассмотреть на рисунке 1.

На рисунке 1 видно значительное удлинение отверстий в центральной части решета и значительный износ перемычек между отверстиями в продольном направлении, то есть в направлении движения измельчаемого материала. Также визуально обнаружена деформация (изгиб) решета в поперечном сечении.

Для определения величины деформации и износа рабочей поверхности решета использованы методы инструментального контроля. При этом определены следующие конструктивные параметры сепарирующего решета: исходные; изменение размера отверстий, износ перемычек между отверстиями и прогиб решета по ширине.



а)



б)

Рисунок 1 – Износ сепарирующих решёт дробилки закрытого типа: а – внешняя (нерабочая) сторона; б – внутренняя (рабочая) сторона

При проведении исследований использованы средства измерения: малый инструментальный микроскоп ММИ-2 с ценой деления 0,005 мм (ГОСТ 5.1112-71) – измерение исходных размеров, износа перемычек между отверстиями и удлинения отверстий; глубиномер микрометрический 0-100 мм, кл. 2 с ценой деления 0,01 мм (ГОСТ 7470-78) – измерение прогиба решета.

Размер отверстий сепарирующего решета контролировался по рядам отверстий в разных плоскостях с трёхкратной повторностью согласно схеме, приведённой на рисунке 2.

Для измерения величины износа перемычек между отверстиями подготовлены 8 фрагментов, разрезанных вдоль рядов отверстий сепарирующего решета (рис. 3).

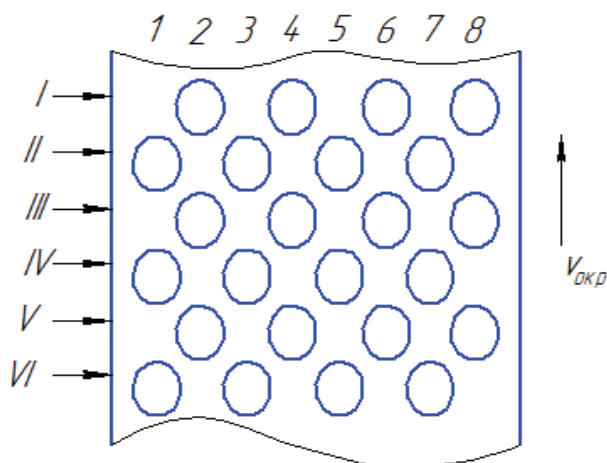


Рисунок 2 – Схема измерения отверстий решета: I...VI – номера плоскостей; 1...8 – номера рядов отверстий решета; ↑ – направление движения измельчаемого материала с окружной скоростью $V_{окр}$

Величина износа перемычек между отверстиям определялась следующим образом (рис. 4): установлена базовая точка с внешней, неизношенной, стороны решета; шаг между точками 1...3 установлен 1 мм, между точками 3...8 – 0,5 мм, а точками 9 и 10 – остаточное значение, измеренное при помощи микроскопа в направлении координатной оси X; для каждого значения шага фиксировалось значение по координатной оси Y.

Прогиб решета в поперечной плоскости измерялся при помощи микрометрического глубиномера согласно схеме на рисунке 5. Интервал между точками измерения отсчитывается с левого края рабочей стороны решета. Точки измерения расположены в шахматном порядке – посередине перемычек между отверстиями.

Результаты и обсуждение. Исходные размеры сепарирующего решета, установленные в дробилке ДКР-5М, составили: длина – 1700 мм; ширина – 105 мм; толщина – 3 мм; диаметр отверстий – 10 мм; ширина перемычек между отверстиями – 5 мм; отверстия расположены в шахматном порядке с шагом в продольном направлении – 15 мм, а в поперечном – 13 мм.

Характер изменения (увеличения) размера отверстий сепарирующего решета в поперечной плоскости (по ширине сепарирующего решета) представлен в таблице 1 и на рисунке 6.

В таблице 1 также показано относительное удлинение размера отверстия решета в сравнении с исходным.

Результаты измерений подтверждают визуальные наблюдения (рис. 1) и показывают величину и характер изменения размеров отверстий решета по ширине.



Рисунок 3 – Фрагменты сепарирующего решета, подготовленные для измерения износа перемычек между отверстиями

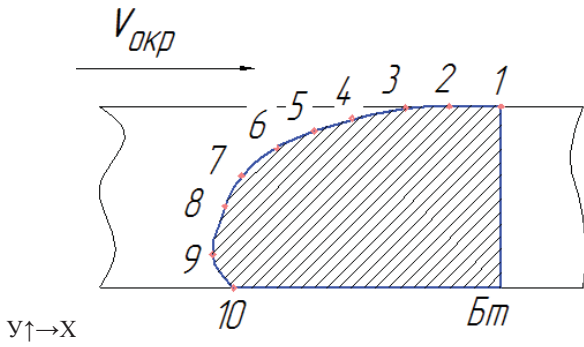


Рисунок 4 – Схема измерения износа перемычек между отверстиями:

1...10 – измеряемые точки; Бт – базовая точка; $V_{окр}$ – окружная скорость измельчаемого материала; $y \uparrow$ и $x \rightarrow$ – координатные оси

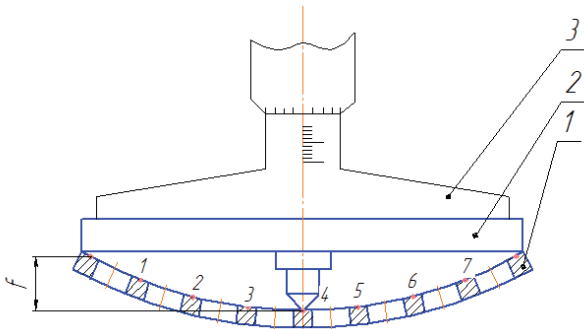


Рисунок 5 – Схема измерения прогиба решета:

1 – решето; 2 – концевая мера длины; 3 – микрометрический глубиномер; f – величина прогиба решета

Данные таблицы 1 говорят о том, что относительное удлинение отверстия решета в поперечной плоскости меняется от 0,23 мм с правого края до 1,62 мм в четвёртом ряду отверстий, или в процентном отношении от 2,3 до 16,2%.

В работах [5, 8, 9] показана взаимосвязь диаметра отверстий сепарирующего решета и получаемого модуля помола, который однозначно увеличивается с увеличением размера отверстия. Так, например, по расчётам, полученным по зависимости из источника [8], увеличение размера отверстия на 10% приведёт к увеличению модуля помола в среднем более чем на 20%. Исходя из этого в рассматриваемом случае повышение модуля помола составит 2,8...19,4%.

Изменения износа перемычек показаны на рисунке 7 для наименее (а – восьмого) и наиболее (б – третьего) изношенных фрагментов сепарирующего решета. При этом величина координатных осей соответствует исходным значениям размера перемычек между отверстиями: толщина 3 мм, длина 5 мм. Остаточная величина неизношенной части перемычек между отверстиями решета заключена под экспериментальными кривыми (рис. 7).

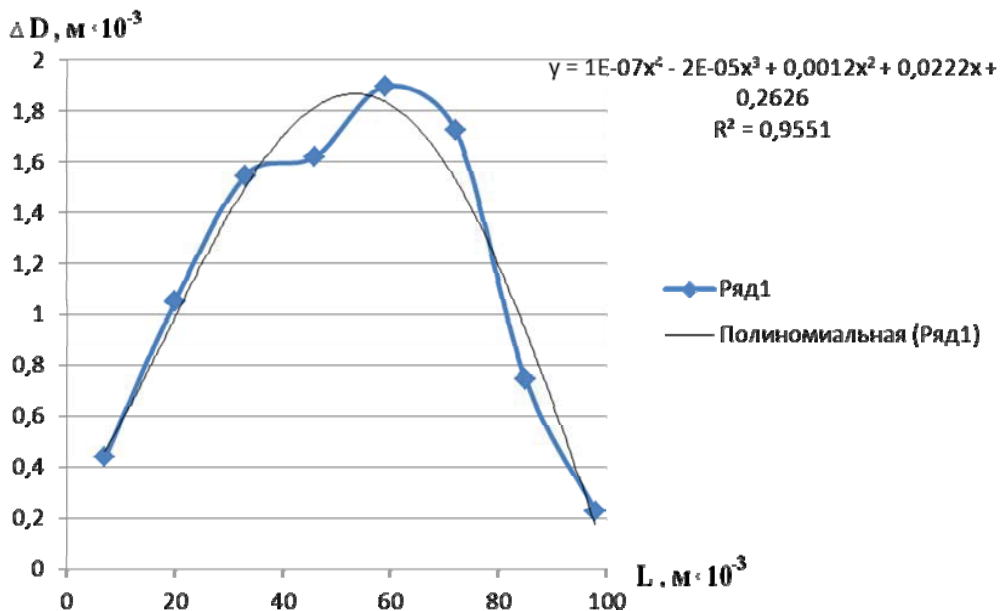


Рисунок 6 – Относительное удлинение отверстий решета

Таблица 1 – Изменения размера отверстий сепарирующего решета по ширине

Межцентровое расстояние, $м \cdot 10^{-3}$	7	20	33	46	59	72	85	98
Размер отверстия, $м \cdot 10^{-3}$	10,440	11,015	11,542	11,620	11,897	11,723	10,745	10,227
Относительное удлинение ΔD , $м \cdot 10^{-3}$	0,440	1,015	1,542	1,620	1,897	1,723	0,745	0,227

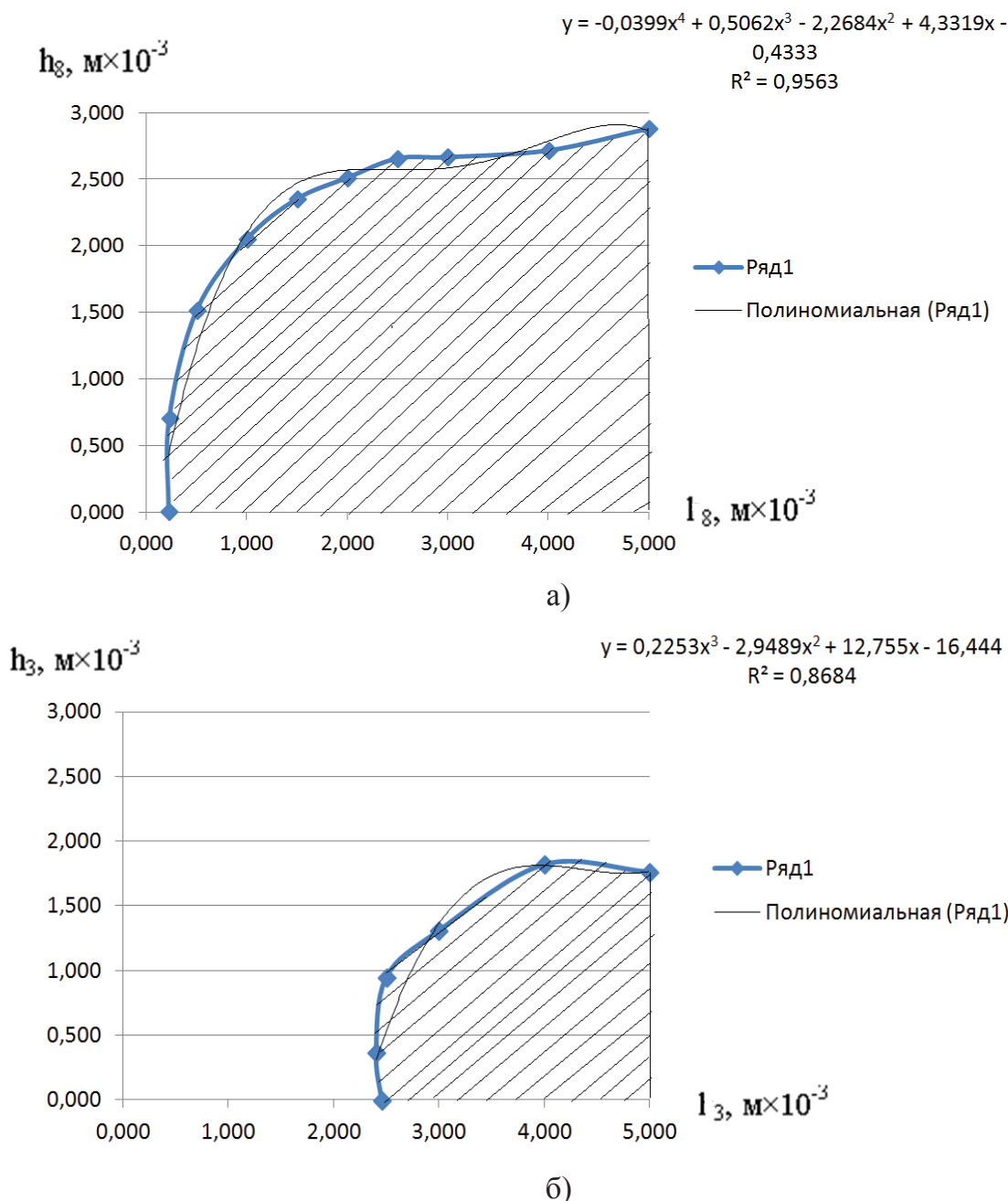


Рисунок 7 – Характер износа перемычек между отверстиями: h_3, h_8, l_3, l_8 – соответственно толщина и длина перемычек третьего и восьмого образцов

Износ перемычек между отверстиями оказывает негативное воздействие на качество дроблёного зерна: повышает содержание пылевидной фракции, а также увеличивает энергопотребление при измельчении зерна. Для пояснения последствий износа перемычек между отверстиями на рисунке 8 представлены возможные варианты движения частиц измельчённого зерна по сепарирующему решету.

По рисунку 8 очевидно, что измельчённая частица, достигнув заданного размера (модуля помола), и движущаяся со скоростью $V_{окр}$,

под действием результирующей силы P проходит в отверстие заданного размера при условии, что центр тяжести частицы будет выше верхней (внутренней) плоскости сепарирующего решета. При незначительном износе появляются частицы, которые возвращаются в дробильный барабан и разрушаются до меньших размеров. Соответственно при большем износе вероятность возврата частиц заданного размера в дробильный барабан повышается и тем самым увеличиваются доля пылевидной фракции и расход энергии на разрушение и транспортировку этих частиц.

В результате измерения прогиба сепарирующего решета по ширине установлено, что наибольшее значение составляет 2,65 мм (табл. 2, рис. 9).

Сопоставляя прогиб решета и износ перемычек, выявили, что наибольший прогиб проявился в месте наибольшего износа перемычек между отверстиями.

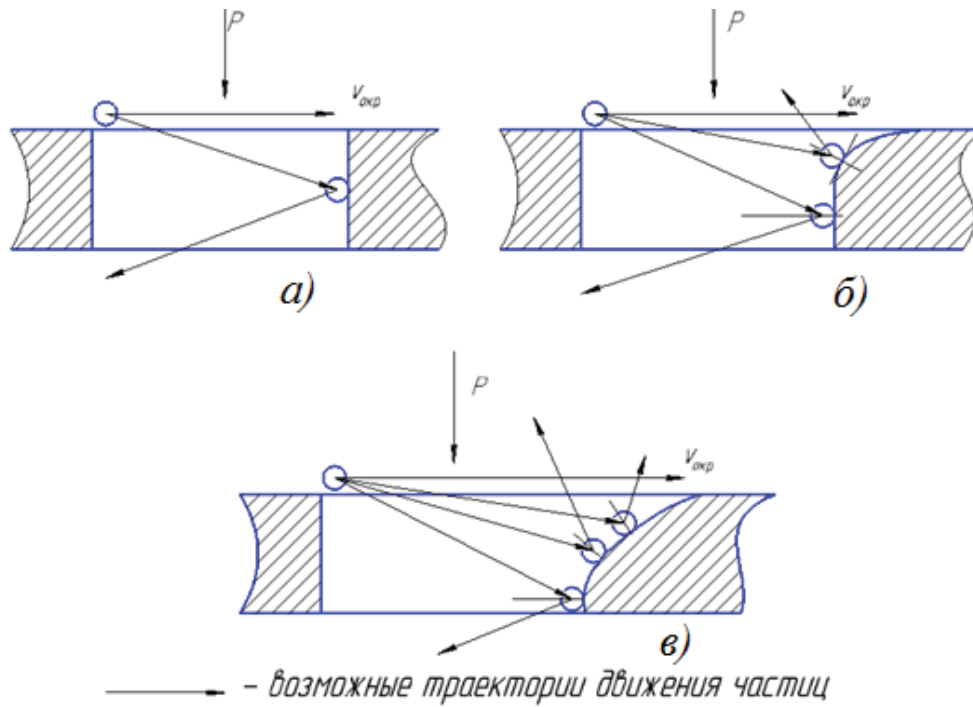


Рисунок 8 – Варианты движения частиц зерна по сепарирующему решету: а) неизношенного решета; б) частично изношенного решета; в) полностью изношенного по высоте решета

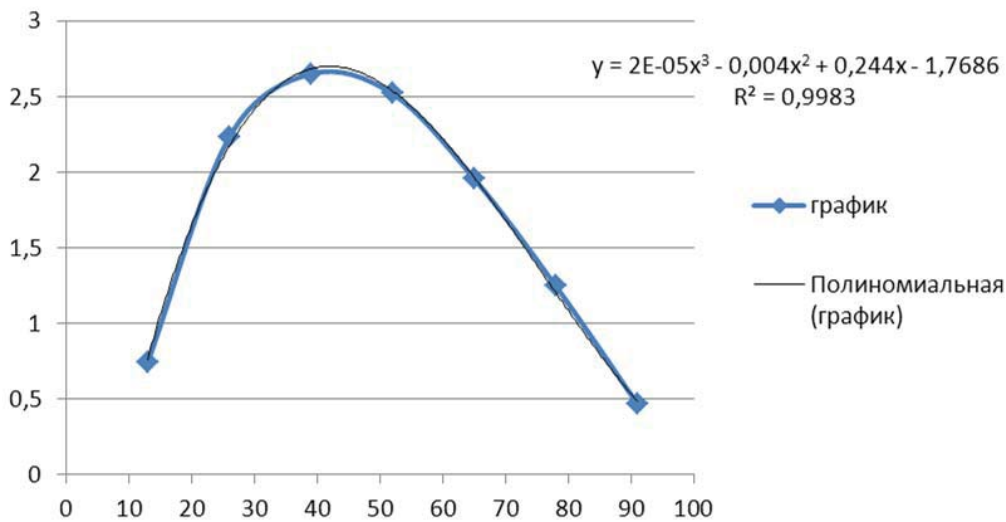


Рисунок 9 – Характер прогиба сепарирующего решета по ширине

Таблица 2 – Результаты измерения прогиба решета по ширине

Номера точек	1	2	3	4	5	6	7
Расстояние от левого края решета, м×10 ⁻³	13	26	39	52	65	78	91
Величина прогиба решета, м×10 ⁻³	0,74	2,23	2,65	2,52	1,96	1,25	0,47

Экспериментальными исследованиями [9] установлены зависимости между качественными показателями работы дробилки зерна и зазора между молотками и декой. При этом выяснилось, что увеличение этого зазора приводит к увеличению модуля помола не линейно.

В среднем увеличение зазора на 1 мм повышает модуль помола более чем на 0,1 мм, а остаток на ситах с диаметром отверстий 3 мм увеличивается на более чем 2,1%. Так как сепарирующее решето в рассматриваемых дробилках выполняет функции деки, то по аналогии можно утверждать, что прогиб решета на 0,47...2,65 мм приводит к увеличению модуля помола на 0,05...0,3 мм и остатка на ситах с диаметром отверстий 3 мм на 1,0...5,6%.

Вывод. Исследования параметров изношенного сепарирующего решета всасывающе-нагнетательной дробилки зерна закрытого типа позволили сделать следующие выводы: увеличение размера отверстия приводит к повышению модуля помола на 2,8...19,4%; износ перемычек между отверстиями вызывает образование большего количества пылевидной фракции; прогиб решета на 0,47...2,65 мм увеличивает модуль помола на 0,05...0,3 мм и остатка на ситах с диаметром отверстий 3 мм на 1,0...5,6%. Эти показатели качества конечного продукта могут изменяться в сторону повышения по мере увеличения износа и деформации сепарирующего решета.

Для улучшения качественных показателей дроблёного зерна необходимо выполнить следующие мероприятия по совершенствованию конструктивно-технологических параметров всасывающе-нагнетательных дробилок зерна: упрочнять кромки отверстий решета с использованием современных технологий [3, 11] и полученных экспериментальных данных, приведённых в этих исследованиях; не допускать значительного износа перемычек между отверстиями сепарирующего решета и своевременно, например, разворачивать или перегибать решето, чтобы поток зерна направлялся на неизношенную поверхность решета, как это проводят с молотками дробилки. Для этого необходимо теоретически и экспериментально обосновать предельные износы и прогибы сепарирующего решета.

В плане совершенствования рабочего процесса дробилки зерна необходимо вынести решето из дробильной камеры и установить его в циклоне или в бункере смесителя, что позволит повысить качественные показатели конечного продукта и увеличить пропускную

способность дробилки с меньшими затратами энергии [2, 6, 7].

Список литературы

- ГОСТ 9268-90. Комбикорма-концентраты для крупного рогатого скота. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 10 с.
- Обоснование пропускной способности циклона-сепаратора для дробилок зерна / А.Г. Бастрогов, П.В. Дородов, О.С. Федоров [и др.] // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 4 (49). – С. 44-51.
- Некоторые параметры работоспособности модифицированных молотков молотковых дробилок / А.Г. Ипатов, В.И. Ширококов, С.Н. Шмыков [и др.] // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 1 (38). – С. 6-10.
- Механизация и электрификация животноводства / Л.П. Карташов, А.А. Аверкиев, А.И. Чугунов [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1987. – 487 с.
- Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Г.Е. Листопад, Г.К. Демидов, Б.Д. Зонов [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1986. – 688 с.
- Пат. № 124190 Российская Федерация, МПК В 02 С 13/04, Дробилка для зерна / В.И. Ширококов, В.А. Жигалов, О.С. Федоров, А.Г. Бастрогов, Н.С. Панченко; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА – № 2012121280/13; заявл.23.05.12; опубл.20.01.13, Бюл. № 2. – 2 с.: ил.
- Пат. №151368 Российская Федерация, МПК В02С 13/00(2006.01), Модернизированная дробилка для зерна / Ширококов В.И., Жигалов В.А., Федоров О.С., Ясафов Ю.А., Бастрогов А.Г.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА – № 2014126676/13; заявл.01.07.14; опубл.10.04.15, Бюл. № 10. – 2 с.: ил.
- Савиных, П.А. Исследование движения измельчённой частицы зерна в наклонной части сепарирующего решета «циклона-сепаратора» дробилки зерна / П.А. Савиных, О.С. Федоров, А.Г. Иванов // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2012. – № 1 (26). – С. 60-63.
- Федоров, О.С. Повышение эффективности функционирования молотковой дробилки путём совершенствования способа сепарации: дис. ... канд. техн. наук / Федоров Олег Сергеевич. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2010. – 136 с.
- Ширококов, В.И. Модернизированная дробилка фуражного зерна / В.И. Ширококов, А.Г. Иванов, О.С. Федоров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2010. – № 1. – С. 21-23.
- Ширококов, В.И. Повышение износостойкости молотков зерновых дробилок / В.И. Ширококов, А.Г. Ипатов, Е.В. Харанжевский // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 1 (34). – С. 69-71.
- О необходимости модернизации всасывающе-нагнетательных дробилок зерна / В.И. Ширококов,

Р.С. Байтуков, Е.В. Байтукова [и др.] // Вестник Казанского ГАУ. – 2014. – № 4 (34). – С.103-106.

13. Анализ работы ротационной дробилки кормов ДКР-5 / В.И. Ширококов, А.Г. Бастрогов, Н.С. Панченко [и др.] // Научное и кадровое обеспечение АПК для продовольственного импортозамещения: материалы Всероссийской научно-практической конференции, 16-19 февр. 2016 г. В 3 т. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2016. – Т. 3. – С. 60-65.

Spisok literatury

1. GOST 9268-90. Kombikorma-koncentraty dlja krupnogo rogatogo skota. Tehnicheskie uslovija. – М.: Izd-vo standartov, 1991. – 10 s.

2. Obosnovanie propusknoj sposobnosti ciklona-separatora dlja drobilok zerna / A.G. Bastrigov, P.V. Dorodov, O.S. Fedorov [i dr.] // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. – 2016. – № 4 (49). – С. 44-51.

3. Nekotorye parametry rabotosposobnosti modifirovannyh molotkov molotkovyh drobilok / A.G. Ipatov, V.I. Shirobokov, S.N. Shmykov [i dr.] // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. – 2014. – № 1 (38). – С. 6-10.

4. Mehanizacija i jelektrifikacija zhivotnovodstva / L.P. Kartashov, A.A. Averkiev, A.I. Chugunov [i dr.]. – 2-e izd., pererab. i dop. – М.: Agropromizdat, 1987. – 487 s.

5. Sel'skohozjajstvennyye i meliorativnyye mashiny / G.E. Listopad, G.K. Demidov, B.D. Zonov [i dr.]. – М.: Agropromizdat, 1986. – 688 s.

6. Pat. № 124190 Rossijskaja Federacija, MPK V 02 S 13/04, Drobilka dlja zerna / V.I. Shirobokov, V.A. Zhigalov, O.S. Fedorov, A.G. Bastrigov, N.S. Panchenko; zaja-vitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO Izhevskaja GSHA – № 2012121280/13; zajavl.23.05.12; opubl.20.01.13, Bjul. № 2. – 2 s.: il.

7. Pat. №151368 Rossijskaja Federacija, MPK V02S 13/00(2006.01), Modernizirovannaja drobilka dlja zerna / Shirobokov V.I., Zhigalov V.A., Fjodorov O.S., Jasafov Ju.A., Bastrigov A.G.; zaja-vitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO Ilzhevskaja GSHA – № 2014126676/13; zajavl.01.07.14; opubl.10.04.15, Bjul. № 10. – 2 s.: il.

8. Savinyh, P.A. Issledovanie dvizhenija izmel'chjonnoj chasticy zerna v naklonnoj chasti separirujushhego resheta «ciklona-separatora» drobilki zerna / P.A. Savinyh, O.S. Fedorov, A.G. Ivanov // Agrarnaja nauka Evro-Severo-Vostoka. – 2012. – № 1 (26). – С. 60-63.

9. Fedorov, O.S. Povyshenie jeffektivnosti funkcionirovanija molotkovoj drobilki putjom sovershenstvovaniya sposoba separacii: dis. ... kand. tehn. nauk / Fedorov Oleg Sergeevich. – Izhevsk: FGBOU VPO Izhevskaja GSHA, 2010. – 136 s.

10. Shirobokov, V.I. Modernizirovannaja drobilka furazhnogo zerna / V.I. Shirobokov, A.G. Ivanov, O.S. Fedorov // Traktory i sel'skohozjajstvennyye mashiny. – 2010. – № 1. – С. 21-23.

11. Shirobokov, V.I. Povyshenie iznosostojkosti molotkov zernovyh drobilok / V.I. Shirobokov, A.G. Ipatov, E.V. Haranzhevskij // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. – 2013. – № 1 (34). – С. 69-71.

12. O neobhodimosti modernizacii vsasyvajushhe-nagnetatel'nyh drobilok zerna / V.I. Shirobokov, R.S. Bajtukov, E.V. Bajtukova [i dr.] // Vestnik Kazanskogo GAU. – 2014. – № 4 (34). – С.103-106.

13. Analiz raboty rotacionnoj drobilki kormov DKR-5 / V.I. Shirobokov, A.G. Bastrigov, N.S. Panchenko [i dr.] // Nauchnoe i kadrovoe obespechenie AПК dlja prodovol'stvennogo importozameshenija: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, 16-19 fevr. 2016 g. V 3 t. – Izhevsk: FGBOU VO Izhevskaja GSHA, 2016. – Т. 3. – С. 60-65.

Сведения об авторах:

Ширококов Владимир Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонта машин. ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, e-mail: vlh150@rambler.ru).

Ипатов Алексей Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонта машин. ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, e-mail: ipatov.al@yandex.ru).

Новикова Лилия Яннуровна – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонта машин. ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, e-mail: lepricon-85@yandex.ru).

Шмыков Сергей Николаевич – кандидат экономических наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонта машин. ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА (426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 9, тел. (3412) 58-99-30).

V.I. Shirobokov, A.G. Ipatov, L.Y. Novikova, S.N. Shmykov
Izhevsk State Agricultural Academy

RESEARCH OF PARAMETERS OF THE CLOSED TYPE SEPARATING SIEVE OF THE GRAIN CRUSHER

The article is aimed at researching the parameters of the separating sieve and their influence on quality of the crushed grain. According to the aim, the following tasks are defined: to carry out the analysis of quality indicators of the research of a crusher of grain of the closed type; to suggest the ways to improve constructive and technological

parameters of closed type grain a crusher. The wear of the sieve is caused by the accepted mode of crushing of grain and is inevitably to arise. Methods of instrumental control were used to determine the size of wear of a working face of the sieve. Research of parameters of the worn-out separating sieve of the sucking-discharge of the grain crusher of the closed type allowed to draw the following conclusions: - increase in the size of a bore leads to increase in the module of a grinding by 2,8... 19,4%; wear of crossing points between holes leads to formation of a greater number of dust-like fraction; a sieve deflection by 0,47... 2,65 mm leads to increase in the module of a grinding by 0,05... 0,3 mm, and remained residuals on sets with the diameter of holes 3 mm at 1,0... 5,6%. To increase the quality indicators of closed type grain crushers operation it is recommended to increase wear resistance of the sieves by hardening the edges of bores of the sieve using modern technologies. As well as not to admit prominent wear and tear of crossing points between the bores of the separating sieve, and timely turn out or bend the sieve to let the streaming grain escape worn-out surface of the sieve as it is normally being done about crusher hammers. To remove the sieve from the crushing camera and install it in the cyclone or in the mixer bunker that would allow to raise the quality indicators of the final product and to increase the crusher's throughput capacity thus reducing energy expenses.

Key words: grain crusher; product quality; indicators; wear and tear; seave's crossing points; bores; crossing points; research parameters; improvement.

Authors:

Shirobokov Vladimir Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Machinery Operation and Maintenance Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya Str., Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: vlh150@rambler.ru).

Ipatov Aleksey Gennadievich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Machinery Operation and Maintenance Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya Str., Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: ipatov.al@yandex.ru).

Novikova Lilia Yannurovna – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of Machinery Operation and Maintenance Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya Str., Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: lepricon-85@yandex.ru).

Shmykov Sergey Nikolaevich – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of Machinery Operation and Maintenance Department. Izhevsk State Agricultural Academy (9, Studencheskaya Str., Izhevsk, Russian Federation, 426069, tel. (3412) 58-99-30).

ПРАВИЛА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ПУБЛИКАЦИИ АВТОРСКИХ МАТЕРИАЛОВ

1. К публикации принимаются соответствующие основным научным направлениям журнала статьи, содержащие новые, ранее не опубликованные результаты научных исследований, разработки, готовые к практическому применению, а также материалы, представляющие познавательный интерес.

2. Автор предоставляет редакции журнала «Вестник Ижевской ГСХА» неисключительные права на статью для ее опубликования. Шаблон лицензионного договора размещен на странице журнала в сети Интернет (<http://izhgsha.ru>).

3. Рукопись статьи представляется непосредственно в редакцию журнала или присылается по почте (в т. ч. электронной) в виде компьютерной распечатки с приложением носителя (CD-R или CD-RW диск, USB-носитель) с записанным текстом (в формате Microsoft Word 2003 с расширением файла *.rtf или *.doc) и иллюстрационным материалом.

Статья должна содержать следующие структурные элементы: актуальность, цель, задачи, материал и методы, результаты исследования (желательно наличие иллюстративного материала: таблицы, рисунки), выводы.

4. Текст должен быть набран шрифтом Times New Roman. Размер шрифта 14 (для основного текста), 12 – для дополнительного текста (текста таблиц, списка литературы и т. п.). Междустрочный интервал для текста полуторный; режим выравнивания – по ширине, расстановка переносов – автоматическая. Формат бумаги А4 (210x297 мм). Поля: сверху, снизу, слева – 2,0 см, справа – 2,5. Абзацный отступ должен быть одинаковым по всему тексту (1,27 или 1,5 см). Номера страниц ставятся внизу и посередине.

5. Таблицы должны быть созданы в Microsoft Word. Шрифт шапки таблицы – 11 (жирн.), текста таблицы – 12. Междустрочный интервал для таблиц одинарный. Ширина таблицы должна совпадать с границами основного текста, горизонтальные таблицы необходимо поместить в отдельные файлы.

6. Рисунки допускаются только черно-белые, штриховые, без полутонов и заливки. В рисунках необходимо предусмотреть 1,5-кратное уменьшение. Ширина рисунков – не более ширины основного текста. Дополнительно рисунки представляются в отдельных файлах в одном из следующих форматов: *.jpeg, *.eps, *.tiff.

7. Все математические формулы должны быть тщательно выверены. Электронная версия представлена в формате Microsoft Equation 3.1.

8. Объем рукописи должен быть не менее 14 стандартных страниц текста, включая таблицы и рисунки.

9. Сведения об авторе должны содержать: фамилию, имя, отчество, ученую степень, ученое звание, должность, полное название организации – место работы каждого автора в именительном падеже, страна, город (на русском и английском языках); E-mail для каждого автора, корреспондентский почтовый адрес и телефон для контактов с авторами статьи (можно один на всех авторов).

10. Название статьи приводится на русском и английском языках.

11. Аннотация приводится на русском и английском языках и повторяет структуру статьи: актуальность, цель, задачи, материал и методы, результаты исследования, выводы. Аннотация должна содержать не менее 200 слов.

12. Ключевые слова или словосочетания отделяются друг от друга точкой с запятой. Ключевые слова приводятся на русском и английском языках.

13. Статья должна быть подписана всеми авторами.

14. Пристатейный список литературы должен оформляться по ГОСТ 7.1-2003. В тексте статьи ссылки на литературу оформляются в виде номера в квадратных скобках на каждый источник. В список литературы желательно включать статьи из периодических источников: научных журналов, материалов конференций, сборников научных трудов и т. п., нельзя ссылаться на неопубликованные работы. Источники (не менее 7) в списке литературы сначала приводятся на русском языке, затем на других языках (не менее 2). Все работы одного автора необходимо указывать по возрастанию годов издания. Авторы несут ответственность за правильность данных, приведенных в пристатейном списке литературы, а также за точность приводимых в рукописи цитат, фактов, статистических данных.

15. Статьи, оформленные с нарушением требований, рассматриваться и публиковаться не будут.

16. Рецензирование всех научных статей обеспечивается редакцией. Рецензирование проводят члены редакционной коллегии или приглашенные редакцией рецензенты.

AUTHORS' INSTRUCTIONS FOR ARTICLES SUBMISSION AND PUBLICATION

1. Articles submitted for publication should conform to the main scientific directions of the journal, contain previously unpublished results of original researches, developments which are ready for use in practical work, as well as the materials of cognitive interest.

2. The author gives non-exclusive rights for the article publication to the editorship of "Vestnik of Izhevsk SAA". A license agreement template is published on the journal website (<http://izhgsha.ru>).

3. Manuscripts should be presented to the editorial office directly or submitted by mail (e-mail) in the printed form with an electronic version of the article (Microsoft Word 2003, *.rtf file or *.doc file) on CD-R, CD-RW, Flash drive.

The article should include the following structural parts: relevance, the aim and tasks, materials and methods, research results (supporting data and illustrative material are desirable: tables, drawings), conclusions.

4. The print size type of the text is Times New Roman, font size 14 is for the main part, 12 – for the additional text (tables, literature references etc.). Line spacing is one-and-a-half; justified alignment; automatic hyphenation. The article must be printed on paper with format of A4 (210x297). The sidelines: above, below and left – 2 cm, right – 2.5 cm. The paragraph break must be the same in the whole text (1.27 or 1.5 cm). Page numbers are put in the centre below.

5. Tables must be executed in Microsoft Word. The font of table heading is 11 (bold), table texts – 12; single space. The width of the table must be the same as the main text lines, horizontal tables should be placed in a separate file.

6. Only black-and-white drawings, drawings in lines, without halftones and filling are allowed. It is necessary to provide for 1.5-fold reduction in the drawings. The drawing width must not be more than the width of the main text. In addition, the drawings are presented in separate files in one of the following formats: *.jpeg, *.eps, *.tiff.

7. All mathematical formulae must be accurately adjusted. The electronic version should be provided in format Microsoft Equation 3.1.

8. The volume of the manuscript should not be less than 14 standard pages of the text including tables and drawings.

9. Information about the author should contain: the surname, first name and patronymic; science degree, academic rank, position, full name of organization – place of work of every author, city and country (in the Russian and English languages); e-mail of every author, correspondent postal address and contact telephone number (may be one for all authors).

10. The title of the article is given in Russian and English.

11. The annotation of the article is given in Russian and English and it should reflect the structure of the article: relevance, the aim and tasks, materials and methods, research results, conclusions. The annotation should contain minimum 200 words.

12. Key words or word combinations are separated by semicolon. Key words are printed in Russian and English.

13. The article must be signed by all its authors.

14. The literature reference list of the article must be done according to the state standard GOST 7.0.1-2003. References to the resources of information in the text are indexed with numbers and given in square parentheses. The reference list should include articles from periodicals: peer-reviewed journals, conference proceedings, collection of scientific papers etc., unpublished papers should not be put on the literature reference list.

The reference sources (not less than 7) must be listed: first the papers of authors are given in Russian, further in other languages (not less than 2). All the papers of one author should be indexed in ascending order of the years of publishing.

The authors are responsible for the correctness of data given in the literature reference list of the article, as well as for the accuracy of citations, facts, statistical information provided in the manuscript.

15. Papers which do not conform to the requirements mentioned above shall not be taken for consideration, reviewing and publishing.

16. Review of all scientific articles is provided by the editorial staff. The peer review is carried out by the editors or external reviewers.