«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ» **«SCIENCE IN THE CENTRAL RUSSIA»** **12+**

Научно-производственный периодический журнал The research-production periodic magazine
Включен в международную базу данных Agris
№2 (26), 2017 г.

Основан в 2012 г. **It is based in 2012.**
Выходит 6 раз в год **There are 6 times a year**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА
«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ»

ЗАЗУЛЯ Александр Николаевич — главный редактор, доктор технических наук, профессор, директор ФГБНУ ВНИИТиН

НАГОРНОВ Станислав Александрович — зам. главного редактора, доктор технических наук, профессор, зам. директора по научной работе ФГБНУ ВНИИТиН

ГОЛУБЕВ Иван Григорьевич — доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Московской области, зав. отделом ФГБНУ «Росинформагротех»

ГОРБАЧЕВ Иван Васильевич — член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

ЕРОХИН Михаил Никитьевич — академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, лауреат премии Правительства РФ

ЖАЛНИН Эдуард Викторович — доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

ЗАВРАЖНОВ Анатолий Иванович — академик РАН, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО МичГАУ

КУШНАРЕВ АРТУР СЕРГЕЕВИЧ — доктор технических наук, профессор, член-корреспондент УААН, заслуженный работник народного образования, заведующий кафедрой теоретической механики и теории машин и механизмов Таврического государственного агротехнологического университета, Украина

ЛАРЮШИН Николай Петрович — доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный работник сельского хозяйства, профессор кафедры ФГБОУ ВО «Пензенская ГСХА»

ЛЯЛЯКИН Валентин Павлович — доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

МИЩЕНКО Сергей Владимирович — доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, лауреат премии Правительства РФ в области образования, член Национального комитета по теплофизическим свойствам веществ РАН, ФГБОУ ВО ТГТУ

ПОПОВ Владимир Дмитриевич — академик РАН, доктор технических наук, профессор, президент Региональной областной организации "Санкт-Петербургская ассоциация инженеров сельского хозяйства – СПА-ИСХ", член Правления Ассоциации содействия полевым экспериментам и исследованиям, директор ФГБНУ «ИАЭП»

СТРЕБКОВ Дмитрий Семенович — академик РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заместитель председателя Российского комитета по использованию возобновляемых источников энергии, председатель рабочей группы Европейского бюро ЮНЕСКО по образованию в области солнечной энергии, главный научный сотрудник ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

ФЕДОРЕНКО Вячеслав Филиппович — академик РАН**,** доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, директор ФГБНУ «Росинформагротех»

REZA Ambrishambaf — PhD, Vice Rector of Eastern Mediterranean University, Centro Algoritmi University of Minho Campus of Azurem, Portugal

MAJID Hashemipour — PhD Manufacturing Engineering, Professor, Vice Rector for Technical Administration and International Affairs of Eastern Mediterranean University, Turkey

Редакция

Журнал «Наука в Центральной России Science in the central Russia»
Учредитель: ФГБНУ ВНИИТИН
Главный редактор: Зазуля А.Н.
№ 2 (26) 10.04.2017, Тираж - 100 экз. Свободная цена
Адрес редакции и издателя: **392022, г. Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28, к. 21,** тел. 8(4752)440-241; e-mail: naukacr@yandex.ru
Отпечатано в типографии ООО «Максимал информационные технологии» 398017, г. Липецк, ул. Ушинского, 8
СМИ зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) ПИ № ФС77-51695 от 07.12.2012 г.
Технический редактор: Левина Эмма Владимировна**, тел. +7 (920) 246-20-64**
Зав. отделом по развитию: Левин Максим Юрьевич**, тел. +7 (920) 240-71-96**

© «Наука в центральной России», 2017

«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ» **«SCIENCE IN THE CENTRAL RUSSIA»**
Научно-производственный периодический журнал The research-and-production periodic magazine
№2 (26), 2017 г.
Основан в 2012 г. **It is based in 2012.**
Выходит 6 раз в год **There are 6 times a year**

Учредитель и издатель журнала:
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве
(ФГБНУ ВНИИТИН)

ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА
«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ»

технологии в животноводстве и растениеводстве, эффективное использование отечественной и зарубежной сельскохозяйственной техники

ОСТРИКОВ Валерий Васильевич — доктор технических наук, зав. лабораторией использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов, ФГБНУ ВНИИТиН
ШУВАЛОВ Анатолий Михайлович — доктор технических наук, профессор, зав. лабораторией использования альтернативных источников энергии взамен жидкого топлива, ФГБНУ ВНИИТиН
ПЕТРАШЕВ Александр Иванович — доктор технических наук, зав. лабораторией организации хранения и защиты техники от коррозии, ФГБНУ ВНИИТиН
ЕРОХИН Геннадий Николаевич — кандидат технических наук, зав. лабораторией эксплуатационных требований к сельскохозяйственной технике, ФГБНУ ВНИИТиН

Технология продовольственных продуктов

ТИШАНИНОВ Николай Петрович — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве, ФГБНУ ВНИИТиН
ДОРОВСКИХ Владимир Иванович — кандидат технических наук, зав. лабораторией управления качеством технологических процессов в животноводстве, ФГБНУ ВНИИТиН

Агрономия

ТРУНОВ Юрий Викторович — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Всероссийский институт садоводства им. И.В. Мичурина

Ветеринария и Зоотехния

ЭНГОВАТОВ Вячеслав Федорович — доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории технологии производства свинины, ФГБНУ ВНИИТиН
ШУЛАЕВ Геннадий Михайлович — кандидат сельскохозяйственных наук, зав. лабораторией технологии производства свинины, ФГБНУ ВНИИТиН
ФИЛИППОВА Ольга Борисовна — кандидат биологических наук, зав. лабораторией технологии производства молока и говядины, ФГБНУ ВНИИТиН

Экономика и управление народным хозяйством (АПК и сельское хозяйство)

САЗОНОВ Сергей Николаевич — доктор технических наук, профессор, зав. лабораторией использования производственных ресурсов в фермерских хозяйствах, ФГБНУ ВНИИТиН
СОЛОПОВ Владимир Алексеевич — доктор экономических наук, профессор, проректор по научной и инновационной работе ФГБОУ ВО МичГАУ

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.
© «Наука в центральной России», 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Балашов Александр Владимирович, Стрыгин Сергей Петрович, Синельников Александр Алексеевич, Капустин Василий Петрович, Хайруллина Сабина Гумаровна
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕМЯН СОИ.....5
Balashov Alexander, Strygin Sergei, Sinelnikov Alexander, Kapustin Vasiliy, Khayrullina Sabina
DETERMINATION OF PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF SOYBEAN SEEDS 6
Горшенин Василий Иванович, Кузнецов Павел Николаевич, Михеев Николай Владимирович, Соловьёв Сергей Владимирович
К ВОПРОСУ ОБ ОЧИСТКЕ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ПРИ УБОРКЕ В УСЛОВИЯХ ЦЧР 13
Gorshenin Vasily, Kuznetsov Pavel, Mikheev Nikolay, Soloviev Sergey
ON THE CLEANING OF SUGAR BEET HARVESTING IN THE CONDITIONS OF CENTRAL CHERNOZEM REGION.....13
Губашева Алмагуль Мустафаевна, Князева Лариса Геннадьевна, Петрашев Александр Иванович, Зазуля Александр Николаевич
ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ АГРЕССИВНОСТИ ПОЧВЫ КАК СРЕДЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА 21
Gubasheva Almagul, Knyazeva Larisa, Petrashev Alexandr, Zazulya Alexander
RESEARCH OF CORROSION AGGRESSIVENESS OF SOILS AS AGRICULTURAL PRODUCTION ENVIRONMENT.....22
Гуськов Артём Анатольевич, Родионов Юрий Викторович, Капустин Василий Петрович, Никитин Дмитрий Вячеславович, Анохин Сергей Александрович, Коновалов Владимир Викторович
УНИВЕРСАЛЬНАЯ ЭКСТРАКТНО-ВЫПАРНАЯ УСТАНОВКА РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ 32
Guskov Artem, Rodionov Yuri, Kapustin Vasily, Nikitin Dmitry, Anokhin Sergey, Konovalov Vladimir
UNIVERSAL EXTRACT-EVAPORATING UNIT OF VEGETATIVE RAW MATERIALS.....33
Камбулов Сергей Иванович, Рыков Виктор Борисович, Камбулов Иван Аликанович, Ридный Сергей Дмитриевич, Колесник Валентина Владимировна, Дёмина Елена Борисовна
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ 41
Kambulov Sergei Ivanovich, Rykov Viktor Borisovich, Kambulov Ivan Alikanovich, Ridnyi Sergey Dmitrievich, Kolesnik Valentina Vladimirovna, Demina Elena Borisovna
TECHNOLOGICAL ASPECTS OF CULTIVATION OF WINTER WHEAT USING ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES 42
Кобелев Александр Викторович, Кочергин Сергей Валерьевич, Федосова Екатерина Олеговна
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И ФРАКТАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЛЬСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 47
Kobelev Alexander, Kochergin Sergey, Fedosova Ekaterina
USING NEURAL NETWORKS AND FRACTAL MODELING FOR RESEARCH OF RURAL ELECTRICITY DISTRIBUTION NETWORKS.....48

Нагорнов Станислав Александрович, Корнев Алексей Юрьевич, Мещерякова Юлия Владимировна, Бусин Игорь Вячеславович, Конькова Нина Григорьевна, Мещеряков Александр Геннадьевич
БИОТОПЛИВО ИЗ НЕТРАДИЦИОННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ 54
Nagornov Stanislav, Kornev Alexey, Meshcheryakova Julia, Busin Igor, Konkova Nina, Mescheryakov Alexander
BIOFUEL FROM NON-TRADITIONAL VEGETABLE OILS 55
Романцова Светлана Валерьевна, Алибаев Батырбек Тулегенович, Корнев Алексей Юрьевич, Бусин Игорь Вячеславович
ИССЛЕДОВАНИЕ СМАЗЫВАЮЩИХ И НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВОЙСТВ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ С ДОБАВЛЕНИЕМ ПАВ НА ОСНОВЕ ТРИАЦИЛГЛИЦЕРИНОВ РЫЖИКОВОГО МАСЛА 62
Romantsova Svetlana, Alibaev Batyrbek, Kornev Alexey, Busin Igor
THE STUDY OF the LUBRICating AND LOW TEMPERATURE PROPERTIES OF DIESEL FUELS WITH THE ADDITION OF SURFACTANTS BASED ON TRIACYLGLYCEROLS of CAMELINA OIL 63
Тишанинов Николай Петрович, Анашкин Александр Витальевич
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СЕГРЕГАЦИИ ПРИМЕСИ ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ ПРОСА ИЗ ПШЕНИЦЫ 70
Tishaninov Nikolay, Anashkin Alexander
SCIENTIFIC RESEARCH OF DYNAMIC SEGREGATION OF IMPURITIES DURING ALLOCATION OF WHEAT MILLET 71

УДК 631.303

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕМЯН СОИ

Балашов Александр Владимирович,
кандидат технических наук, доцент, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов,
E-mail: ntc.agro@yandex.ru
Стрыгин Сергей Петрович,
кандидат технических наук, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов,
E-mail: sew1982@gmail.com
Синельников Александр Алексеевич,
кандидат технических наук, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов,
E-mail: ntc.agro@yandex.ru
Капустин Василий Петрович,
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, e-mail: msh@nnn.tstu.ru
Хайруллина Сабина Гумаровна,
аспирант, ФГБОУ ВО Тамбовский государственный технический университет, Тамбов,
E-mail: hsg1988@mail.ru

Реферат. *В ходе лабораторных исследований определены размерные характеристики и физико-механические свойства семян сои сортов Припять фракций 5,5-6,5, 6,5-7,5 и 7,5-8,5 мм Мерлин и Ланцетная одной фракции 8,0-10,0 мм по разработанной методике с применением специально изготовленного в лаборатории приспособления. Размерные характеристики семян сои трех сортов и фракций 5,5-10 мм варьируют в широких пределах: длина семян от 5,64 до 9,83 мм, ширина – от 4,98 до 7,34 мм и толщина – от 3,77 до 5,98 мм. Средние значения длины семян варьируют от 6,2 до 8,63 мм, ширины семян - от 5,51 до 6,49 мм, а толщины- 4,45 до 5,14 мм. Определен показатель сферичности семян, характеризуемый отношением площади поверхности равновеликого по объему шара к площади внешней поверхности семени несферической формы. Форма семян сои – эллипсоид. Определена формула для расчета показателя сферичности семян. Этот показатель варьирует от 0,54 до 0,76. Масса 1000 семян сои в среднем не превышала 161 г. Угол естественного откоса семян средней влажности 8% варьировал от 23 до 28^0. Средний коэффициент трения покоя семян по окрашенной стали и по полистиролу не превышал 0,5. Прочностные свойства семян различных фракций до их разрушения определены величиной приложенной силы в пределах от 135 до 189 Н. Результаты исследований будут использованы при разработке нового высевающего аппарата механического типа с диском, имеющим цилиндрические ячейки диаметром и глубиной соответствующей длине семени.*

Ключевые слова: *семена сои, фракция, размерные характеристики, показатель сферичности, физико-механические свойства, коэффициент трения.*

DETERMINATION OF PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF SOYBEAN SEEDS

Balashov Alexander,
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor, FSBSI All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Oil Products in Agriculture, Tambov,
Strygin Sergei,
Candidate of Technical Sciences,
FSBSI All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Oil Products in Agriculture, Tambov,
Sinelnikov Alexander,
candidate of technical Sciences,
FSBSI All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Oil Products in Agriculture, Tambov,
Kapustin Vasiliy,
Full Doctor of Technical Sciences, professor,
Tambov State Technical University, Tambov,
Khayrullina Sabina,
Post-graduate student, Tambov State Technical University, Tambov

Abstract. *In the course of laboratory studies, the dimensional characteristics and physical and mechanical properties of the soybean seeds of varieties Pripyat fractions 5.5-6.5, 6.5-7.5 and 7.5-8.5 mm Merlin and Lancetone single fraction 8,0- 10.0 mm according to the developed technique with the use of a device specially made in the laboratory. The dimensional characteristics of soybean seeds of three varieties and fractions of 5.5-10 mm vary within a wide range: the length of the seeds is from 5.64 to 9.83 mm, the width is from 4.98 to 7.34 mm and the thickness is from 3.77 to 5.98 mm. The average length of seeds varies from 6.2 to 8.63 mm, the width of seeds is from 5.51 to 6.49 mm, and the thickness is 4.45 to 5.14 mm. The index of sphericity of seeds is determined, characterized by the ratio of the surface area of a sphere of equal volume over the volume to the area of the external surface of a seed of a non-spherical shape. The shape of the soybean is ellipsoid. The formula for calculating the seed sphericity index is determined. This indicator varies from 0.54 to 0.76. The average weight of 1000 soybean seeds did not exceed 161 g. The angle of natural repose of seeds of average humidity of 8% ranged from 23 to* 28^0*. The average coefficient of friction of the rest of seeds on painted steel and polystyrene did not exceed 0.5. Strength properties of seeds of different fractions before their destruction are determined by the magnitude of the applied force ranging from 135 to 189 N. The results of the studies will be used in the development of a new mechanical type sowing apparatus with a disc having cylindrical cells with a diameter and depth corresponding to the length of the seed.*

Keywords: *soybean seeds, fraction, dimensional characteristics, coefficient of sphericity, physical and mechanical properties, coefficient of frictional force.*

Введение. Соя является экономически выгодной культурой, которая производится без внесения азотных удобрений, пестицидов, не требует затрат на возмещение ущерба окружающей среде и способствует ее сохранению за счет накопления азота, пользуется устойчивым спросом на мировом рынке [1].

В Тамбовской области площади посева увеличиваются ежегодно и достигли в настоящее время более 44 тыс.га, средняя урожайность около 18 ц/га, а передовые хозяйства достигают урожайности более 26 ц/га.

В различных регионах страны используются при возделывании различные сорта сои: Севилья, Мерлин, Лиссабон, Кордоба, Ланцетная, Припять и другие.

Посев является одним из ответственных агротехнических приемов при возделывании сои, от качественного и своевременного проведения которого зависит урожайность.

Для совершенствования конструкции посевных машин и разработке новых специализированных сеялок, необходимо определить размерные и физико-механические свойства семян, которые определяют конструктивные параметры рабочих органов посевных машин [2].

Поэтому целью данных исследований было изучение размерных и массовых характеристик, фрикционных свойств семян сои, которые определяют форму и размеры ячеек дисков механических сеялок влияющие на качество технологического процесса посева.

Материалы и методы. От геометрической формы и линейных размеров семян зависят размеры ячеек высевающих аппаратов сеялок. Для определения размера фракции семян сои исследуемых сортов (Припять, Мерлин и Ланцетная) просеивали через лабораторные сита с круглыми отверстиями диаметром ячеек 7,5, 6,5 и 5,5 мм. К крупной фракции были отнесены семена, которые проходили в ячейки диаметром 7,5, к семенам средней фракции - 6,5, к мелкой фракции - 5,5 мм. Семена сорта Припять были взяты из общего вороха и подразделены нами на три фракции: 5,5-6,5; 6,5-7,5; 7,5-8,5 мм. Семена сортов Мерлин и Ланцетная были взяты из семенного материала одной фракции. Объём выборки по каждому сорту и фракциям составил 300 семян [3].

Для определения длины, толщины и ширины каждого семени измеряли с погрешностью ±0,01 мм с помощью специального приспособления, разработанного в лаборатории «использования МТА» ФГБНУ ВНИИТиН (г. Тамбов), рисунок 1.

1 - платформа, 2 - семя, 3 - держатель семени, 4 - лоток,
5 - измерительная шкала, 6 - шток, 7 - стрелка индикатора

Рисунок 1. Приспособление для измерения размеров семян сои

Размеры семян сои в трех положениях (по длине, толщине и ширине) определяли следующим образом. Укладывали семя 2 в определенном положении и фиксировали держателем 3, закрепленном на лотке 5. Нижний конец штока 6 индикатора перемещали до соприкосновения с поверхностью семени 2. По отклонению стрелки 7 на измерительной шкале 5 индикатора считывали зафиксированное положение штока. Данные обрабатывались методом математической статистики с использованием компьютерного редактора Excel. Результаты измерений записывались в таблицу.

Из анализа соотношений размеров семян и визуальной оценки нами принято, что форма семян сои приблизительно можно отнести к эллипсоиду, который представляет поверхность, полученную из сферы, если её сжать в произвольных отношениях в трех взаимно перпендикулярных направлениях.

К характеристикам семян такой форма относятся коэффициент формы и показатель сферичности [4].

Коэффициент формы определяется как отношение площади поверхности семени несферической формы к поверхности эквивалентного шара, объем которого равен объему семени.

Показатель сферичности определяется как отношение площади поверхности равновеликого по объему шара к площади внешней поверхности семени и несферической формы.

Показатель сферичности определяется следующим образом. Для определения площади поверхности эллипсоида применим приближенную формулу [5]:

$$S_c \approx 4 \cdot \pi \cdot \left[\left(a^p \cdot b^p + a^p \cdot c^p + b^p \cdot c^p\right)/3\right]^{\frac{1}{p}} \quad (1)$$

где a, b, c – принимаем за половину длины, ширины и толщины семени соответственно, мм.

Для простоты вычислений можно *p* принять 2 или 1. Если *p*=1,6075, то максимальная ошибка в расчетах составит 1,061%.

Площадь поверхности шара вычисляется по известной формуле:

$$S_ш = 4 \cdot \pi \cdot R^2 \quad (2)$$

При этом радиус шара *R* определяется расчетным путем с использованием формулы расчета его объёма по полученным значениям объёмной массы семян сои путем деления массы 1000 семян на величину вытесненного семенами объема воды *V* помещенных в мензурку по формуле:

$$R_ш = \sqrt[3]{0,239 \cdot V} \quad (3)$$

Подставляя значения радиуса *R* в формулу (2) получим окончательное выражение для определения площади поверхности шара:

$$S_ш = 4 \cdot \pi \left(\sqrt[3]{0,239 \cdot V}\right)^2 \quad (4)$$

С учетом формул (1) и (4) показатель сферичности определяется по эмпирическому выражению:

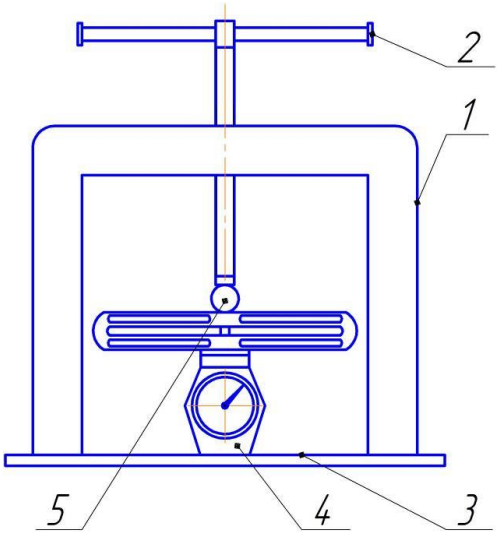
$$K_{сф} = \frac{S_ш}{S_c} = \frac{0,762 \cdot V^{\frac{2}{3}}}{\left(a^p \cdot b^p + a^p \cdot c^p + b^p \cdot c^p\right)^{\frac{1}{p}}} \quad (5)$$

Наряду с определением размерных характеристик нами определялись фрикционные свойства наиболее распространенных фракций семян сои.

Коэффициент силы трения покоя семян сои определяли с помощью прибора (патент РФ № 2488094 [6]), который содержит платформу, шарнирно закрепленную на станине, шкалу и тяговое устройство.

Исследования коэффициента силы трения покоя проводились следующим образом. Из массы семян в 10 кг, выделяли 300 шт. и для каждой исследуемой поверхности определяли коэффициент силы трения покоя. В журнале записывали результаты проводимых исследований, после чего числовые значения распределяли на 7 классов для построения вариационных кривых и гистограмм распределения [7].

Прочностные свойства семян сои определяли с помощью прибора [8], схема которого представлена на рисунке 2.



1 –рама, 2 –винт, 3 –плита, 4 – динамометр, 5 – семена сои

Рисунок 2 – Схема и прибора для определения усилия разрушения семян сои

Прибор изготовлен на базе ручного пресса и состоит из рамы 1, винта 2, плиты 3, механического динамометра 4. При замере усилия разрушения семя 5 укладывается между плитой 3 и подвижной пластиной динамометра. Вращением винта 2 задается нагрузка, отображаемая на шкале предварительно откалиброванного гирями механического динамометра ДОСМ-3-0.05, при которой начинается разрушение семян сои. В нашем случае отклонение стрелки на одно деление соответствует нагрузки в3,3 Н. Результаты показаний динамометра разрушающей нагрузки заносятся в таблицу.

Результаты и обсуждение. Максимальные размеры семян сорта Припять составляют: фракция 5,5-6,5 длина – 6,56, ширина 6,03, толщина 5,69; фракция 6,5-7,5 длина - 7,5, ширина 6,95, толщина 5,98; фракция 7,5-8,5 длина – 8,5, ширина 6,98, толщина 5,98; сорта Мерлин - длина – 8,84, ширина 6,39, толщина 5,95; сорта Ланцетная - длина – 9,83, ширина 7,34, толщина -5,62 мм. Минимальные размеры семян сорта Примять по фракциям варьировали от 3,77 до 4,32 мм, сорта Мерлин -3,92, сорта Ланцетная-3,91 мм. Были определены средние значения размерных характеристик семян сои исследуемых сортов. Так, среднее значение длины семян сорта Припять в зависимости от фракции варьировали от 6,2 до 7,69 мм, ширины –от 5,62 до 6,49 мм, толщины – от 4,45 до 5,14 мм, сорта Мерлин соответственно 7,47,5,51и 4,72 мм, сорта Ланцетная соответственно 8,63,5,86 и 4,8 мм.

Большое значение при обосновании размеров ячеек высевающего диска имеет соотношение размеров семян, которое определяет условие западания в ячейку только одного семени. Результаты расчетов по определению коэффициента формы и показателя сферичности по исследованным семенам сои представлены в таблице 1. Приведенные соотношения размеров семян показывают, что в ячейке цилиндрической формы диаметром и глубиной равным длине семени может быть уложено только одно семя.

Таблица 1 - Результаты исследований размерных характеристик семян сои различных сортов и фракций

Сорт, фракция	Соотношения размеров			Коэффициент формы	Показатель сферичности
	длины	ширины	толщины		
Припять 5,5-6,5 мм	1	0,91	0,72	1,31	0,76
Припять 6,5-7,5 мм	1	0,86	0,70	1,38	0,72
Припять 7,5-8,5 мм	1	0,83	0,66	1,47	0,68
Мерлин 6,0-8,0 мм	1	0,74	0,63	1,63	0,61
Ланцетная 8,0-10,0	1	0,68	0,56	1,85	0,54

Кроме того, в таблице 1 приведены данные по коэффициентам формы и показателям сферичности семян сои, рассчитанные по формуле (5). Анализ результатов расчетов показывает, что с увеличением размерных характеристик семян сои коэффициент формы увеличивается с 1,31 до 1,85, а показатель сферичности уменьшается с 0,76 до 0,54, т.е. семена меньших фракций наиболее близки к сферической форме.

Полученные экспериментальные данные по определению коэффициента силы трения покоя семян сои о различные поверхности представлены на рисунках 2, 3.

Как видно из графиков рисунков 2, 3 распределение частостей происходит по закону Гаусса. Сходимость экспериментальных и теоретических значений данных проверялось с помощью x^2 Пирсона при уровне значимости в 95% с использованием пакета программ Mathcad и Exel.

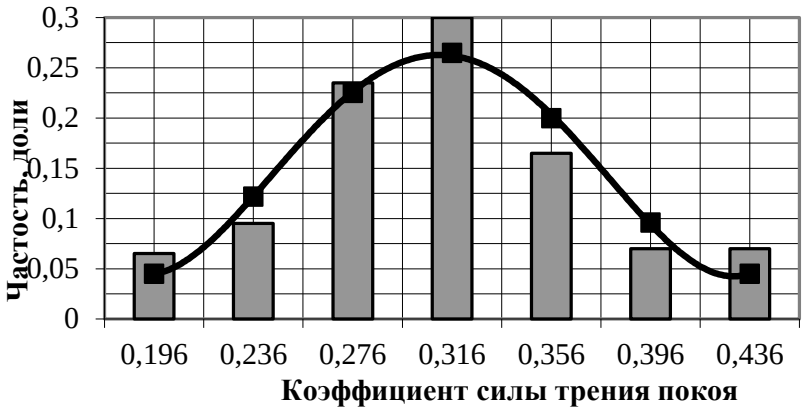


Рисунок 3 - Коэффициент силы трения покоя семян сои по окрашенной стали

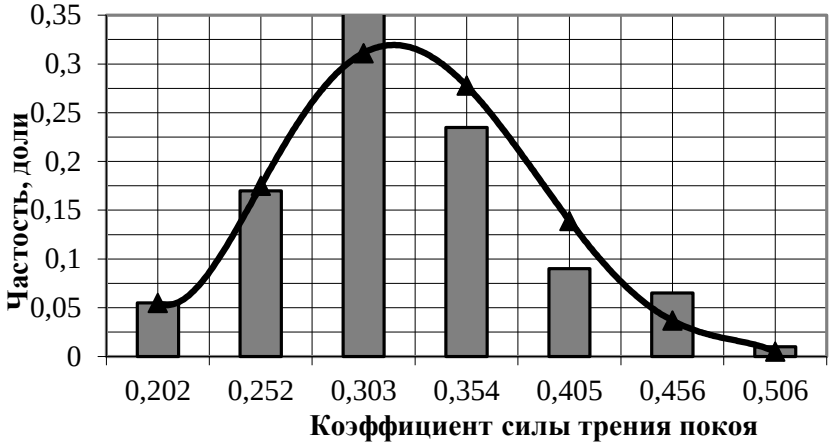


Рисунок 4- Коэффициент силы трения покоя семян сои по полистиролу

Были определены угол естественного откоса семян сои, их прочность при влажности семян сои 7,5 – 8,5 %, результаты исследований представлены в таблицах 2, 3.

Таблица 2 Определение угла естественного откоса семян сои

Сорт «Припять», фракция	Диапазон углов естественного откоса, град.	Среднее значение коэффициента трения	Среднее квадратичное отклонение, (*G*)	Коэффициент вариации значений, (*v*)
5,5-6,5	23-26	0,454	1,14	0,047
6,5-7,5	26-28	0,51	0,707	0,026
7,5-8,5	26-28	0,51	0,707	0,026

Таблица 3. Определение прочностных свойств семян сои

Сорт «Припять», фракция	Среднее значение отклонения показаний индикатора, мм	Среднее квадратичное отклонение, (*G*)	Коэффициент вариации значений, (*v*)	Среднее значение усилия, Н
5,5-6,5	56,6	2,7	0,048	189
6,5-7,5	53,8	12,07	0,224	179
7,5-8,5	40,4	3,13	0,077	135

Заключение. Полученные результаты исследований физико-механических свойств семян сои предполагается использовать при обосновании параметров и режимов работы высевающего аппарата разрабатываемой механической сеялки.

Список литературы

1. Выращивание сои [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.agrocounsel.ru/vyraschivanie-soi

2. Физические и физиологические свойства семян сои [Электронный ресурс] / Режим доступа:http://www.agrodialog.com.ua/fizicheskie-i-fiziologicheskie-svojstva-semyan-soi.html

3. ГОСТ 12036-85 Семена сельскохозяйственных культур. Привила приемки и методы отбора проб [Текст] - Взамен ГОСТ 12036-66; введ. 1986-07-01. - М.: Изд-во стандартов, 2004. 10 с.

4. Пилипюк, В.Л. Технология хранения зерна и семян [Текст] / В.Л. Пилипюк. - Учебное пособие. Саратов. 2008. 33 с.

5. Площадь сфероида [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://cyclowiki.org/wiki/ Площадь.

6. Пат. 2488094 Российская Федерация, МПК G01N19/02. Прибор для определения коэффициента силы трения покоя [Текст] / Н.П. Тишанинов, А.Г. Амельянц, А.В. Анашкин, К.А. Растюшевский; заявитель и патентообладатель ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии. – № 2012107007/28; заявл. 27.02.2012; опубл. 20.07.2013, Бюл. №20. – 6 с.: ил.

7. Балашов, А.В. Исследование коэффициента силы трения покоя капсулированных семян [Текст] / А.В. Балашов, А.А. Синельников, С.П. Стрыгин, В.П. Белогорский // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: Сборник научных докладов 8 Международной научно-практической конференции, 23-24 сентября 2015 года, г. Тамбов. – Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2015. С. 67-70.

8. Балашов, А.В. Результаты лабораторно-стендовых исследований высевающего аппарата для капсулированных семян пропашных культур [Текст] / А.В. Балашов, С.П. Стрыгин // Наука в центральной России. 2015. №6. С. 78-84.

References

1. Vyrashhivanie soi [Jelektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: http://www.agrocounsel.ru/vyraschivanie-soi

2. Fizicheskie i fiziologicheskie svojstva semjan soi [Jelektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: http://www.agrodialog.com.ua/fizicheskie-i-fiziologicheskie-svojstva-semyan-soi.html

3. GOST 12036-85 Semena sel'skohozjajstvennyh kul'tur. Privila priemki i metody otbora prob [Tekst] - Vzamen GOST 12036-66; vved. 1986-07-01. - M.: Izd-vo standartov, 2004. 10 s.

4. Pilipjuk, V.L. Tehnologija hranenija zerna i semjan [Tekst] / V.L. Pilipjuk. - Uchebnoe posobie. Saratov. 2008. 33 s.

5. Ploshhad' sferoida [Jelektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: http://cyclowiki.org/wiki/ Ploshhad'.

6. Pat. 2488094 Rossijskaja Federacija, MPK G01N19/02. Pribor dlja opredelenija kojefficienta sily trenija pokoja [Tekst] / N.P. Tishaninov, A.G. Amel'janc, A.V. Anashkin, K.A. Rastjushevskij; zajavitel' i patentoobladatel' GNU VNIITiN Rossel'hozakademii. – № 2012107007/28; zajavl. 27.02.2012; opubl. 20.07.2013, Bjul. №20. 6 s.: il.

7. Balashov, A.V. Issledovanie kojefficienta sily trenija pokoja kapsulirovannyh semjan [Tekst] / A.V. Balashov, A.A. Sinel'nikov, S.P. Strygin, V.P. Belogorskij // Povyshenie jeffektivnosti ispol'zovanija resursov pri proizvodstve sel'skohozjajstvennoj produkcii – novye tehnologii i tehnika novogo pokolenija dlja rastenievodstva i zhivotnovodstva: Sbornik nauchnyh dokladov 8 Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, 23-24 sentjabrja 2015 goda, g. Tambov. – Tambov: Izd-vo Pershina R.V., 2015. S. 67-70.

8. Balashov, A.V. Rezul'taty laboratorno-stendovyh issledovanij vysevajushhego apparata dlja kapsulirovannyh semjan propashnyh kul'tur [Tekst] / A.V. Balashov, S.P. Strygin // Nauka v central'noj Rossii. 2015. №6. S. 78-84.

УДК 631.331.85: 631.349: 631.356.24

К ВОПРОСУ ОБ ОЧИСТКЕ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ПРИ УБОРКЕ В УСЛОВИЯХ ЦЧР

Горшенин Василий Иванович,
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Мичуринский государственный аграрный университет, Мичуринск,
Кузнецов Павел Николаевич,
кандидат технических наук, ФГБОУ ВО Мичуринский государственный аграрный университет, Мичуринск,
Михеев Николай Владимирович,
кандидат технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Мичуринский государственный аграрный университет, Мичуринск, e-mail: mikheyev@mgau.ru
Соловьёв Сергей Владимирович,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО Мичуринский государственный аграрный университет, Мичуринск. E-mail: sergsol6800@yandex.ru

Реферат. *При возделывании сахарной свеклы одной из наиболее трудоемких операций является её уборка. В условиях Центрального Черноземья срок уборки наступает поздней осенью, который характеризуется ухудшением агрофизических свойств почвы. В результате чего у выкапывающих и сепарирующих рабочих органов свеклоуборочных машин происходит залипание почвой, ухудшаются возможности очистки корнеплодов, что резко снижает качество уборки. Уборочные комплексы, разработанные ранее позволяли механизировать процесс уборки сахарной свеклы. Но по качественным и эксплуатационно-технологическим показателям работы применяемые машины не соответствуют современным агротехническим требованиям, особенно в условиях повышенной влажности почвы (25 - 29%). С повышением влажности почвы увеличивается ее налипание на рабочие поверхности выкапывающих органов и очистителя вороха, снижая их сепарирующую способность. Нами предлагается совершенствование технологии очистки путем модернизации конструкции сепарирующих звезд. Это достигается путем применения цилиндрических щеток (в количестве трёх штук), которые крепятся вертикально горизонтальной плоскости расположения прутков звезды. Один конец цилиндрической щётки закреплён на одном из концов прутка звезды, а другой конец щёток находится в полом кронштейне. Все щётки располагаются на одинаковом расстоянии друг от друга по периферии звезды. Вторые концы щёток, расположенные в полом кронштейне, закреплены между собой и свободно перемещаются в нём. Данная усовершенствованная конструкция позволит щеткам взаимодействовать с загрязненной поверхностью ограждения звезд, улучшая их очищающую способность и исключая технологические перерывы на очистку при работе в неблагоприятных условиях.*

Ключевые слова: *корнеплод, сахарная свёкла, эффективность, очистка, щётка, технология, уборка, комбайн.*

ON THE CLEANING OF SUGAR BEET HARVESTING IN THE CONDITIONS OF CENTRAL CHERNOZEM REGION

Gorshenin Vasily,
Full Doctor of Technical Sciences, professor,

Michurinsk state agrarian University, Michurinsk,
Kuznetsov Pavel,
candidate of technical Sciences,
Michurinsk state agrarian University, Michurinsk,
Mikheev Nikolay,
candidate of technical Sciences, professor,
Michurinsk state agrarian University,
Michurinsk,
Soloviev Sergey,
Full Doctor of agricultural sciences, professor,
Michurinsk state agrarian University, Michurinsk.

Abstract. *The cultivation of sugar beet one of the most time-consuming operations is its cleaning. In conditions of Central Chernozem region date of harvest occurs in late autumn, which is characterized by the deterioration of agrophysical properties of the soil. Resulting in the digging up and separating working bodies of beet harvesting machines is stuck in the soil, deteriorating the cleaning ability of root crops, which dramatically reduces the quality of cleaning. Harvesting complexes, developed previously allowed to mechanize the process of harvesting sugar beets. But for quality and performance-technological performance of the used machines do not meet modern agricultural requirements, particularly in conditions of high soil moisture (25 - 29%). With the increase of soil moisture increases its sticking to work surfaces digging up bodies and purifier of the heap, reducing their separation power. We propose the improvement of purification technology by modernization of the design of separating stars. This is achieved by the use of cylindrical brushes (three pieces), which are mounted vertically the horizontal plane of arrangement of bars of the star. One end of a cylindrical brush mounted on one end of the bar stars, and the other end of the brush is a hollow bracket. All the brushes are located at the same distance from each other along the periphery of the star. The second ends of the brushes located in the hollow bracket, krepleni between them and move freely in it. This was stevanna design will allow the brushes to interact with the contaminated surface of the fencing stars, improving their cleansing ability and eliminating technological interruptions for cleaning when working in adverse conditions.*

Keywords: *root crop, sugar beet, effectiveness, cleaning, brush, technology, harvesting, combine.*

Введение. При возделывании сахарной свеклы одной из наиболее трудоемких операций является её уборка. В условиях Центрального Черноземья срок уборки наступает поздней осенью, который характеризуется ухудшением агрофизических свойств почвы (повышается её влажность и липкость). В результате чего у выкапывающих и сепарирующих рабочих органов свеклоуборочных машинпроисходит залипание почвой, ухудшаются возможности очистки корнеплодов, что резко снижает качество уборки.

Проводимые исследования соответствуют Постановлению Правительства Российской Федерации № 717 от 14 июля 2012 г. «О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013−2020 годы». Разработка высокоэффективного рабочего органа для очистки сахарной свеклы, адаптированного к условиям уборки в неблагоприятных погодных условиях, позволяющего снизить загрязненность выкопанных корнеплодов, неэффективные затраты на

их транспортировку и предотвратить потери плодородного слоя почвы и гумуса, является весьма актуальной задачей [1], [2].

Проведённые научные исследования подтвердили эффективность применения щёточных устройств для очистки корнеплодов при их уборке.

Цель исследований - повышение качества очистки корнеплодов сахарной свеклы при уборке в условиях повышенной влажности почвы и снижение потерь плодородного слоя почвы и гумуса путем совершенствования очищающих устройств свеклоуборочного комбайна.

Материалы и методы. Методология проводимых исследований основана на анализе патентной литературы, научных статей отечественных и зарубежных авторов, информационных изданий и книг научной и производственной тематики. Теоретические исследования выполнялись с использованием законов математики, физики, теоретической механики и аналитической геометрии. Экспериментальные исследования проводились в полевых условиях с использованием общепринятых методик в соответствии с действующими ГОСТами, а также с использованием планирования многофакторных экспериментов.

Результаты и обсуждение. Качественные показатели работы свеклоуборочных машин должны отвечать определённым агротехническим требованиям [3].

При этом свеклоуборочная машина должна [3]:

1 - не допускать общие повреждения корнеплодов – свыше 20,0%, в т. ч. сильные - свыше 5,0%;

2 - не допускать загрязненность убранного вороха свыше 10,0%, в т. ч. зеленой массой – свыше 3,0%,

Уборочные комплексы, разработанные ранее и основанные на применении самоходных машин КС-6Б, РКС-6, тракторов МТЗ-80, МТЗ-82, Т-70С, позволяли механизировать процесс уборки сахарной свеклы. Но по качественным и эксплуатационно-технологическим показателям работы применяемые машины не соответствуют современным агротехническим требованиям, особенно в условиях повышенной влажности почвы (25 - 29%).

Анализ литературных источников и патентных материалов позволяет классифицировать рабочие органы, используемые при очистке сахарной свеклы: по характеру действия – пассивные, активные и комбинированные; по принципу воздействия – с ориентированием и без ориентирования; по конструктивному исполнению – роторный (рисунок 1), прутковый (транспортер), шнековый, щеточный, молотковый, битерный.

Анализ использования свеклоуборочной техники показывает, что все рабочие органы забиваются влажной почвой при уборке в неблагоприятных погодных условиях, и как следствие снижается их очищающая способность [4], [5]. Однако некоторые производители решают эту проблему, устанавливая пассивные чистики, либо задают условие, обеспечивающее самоочистку рабочих органов, например, шнековые вальцы, с разной навивкой вращаясь, витками частично счищают прилипшую почву друг об друга [6]. У большинства же машин, работающих в неблагоприятных погодных условиях, приходится их очищать в технологические перерывы вручную, скребками и др. вспомогательными средствами.

Использование в уборке зарубежных комбайнов и машин таких производителей, таких как GRIMME, ROPA, и др. позволяет добиться неплохих результатов при работе на любых почвах, однако это не решает проблем, связанных с загрязнением рабочих органов и потерей гумуса.

Agrifac WKM HEXA

Franz Kleine SF 10

Holmer Terra Dos

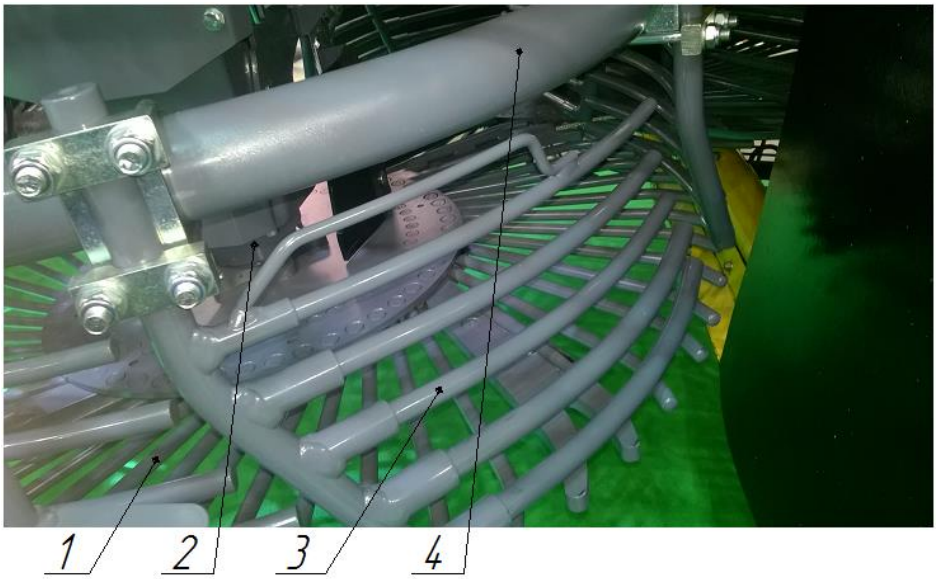
ROPA Tiger 5

GrimmeREXOR 620

Рисунок 1 – Роторные очищающие рабочие органы свеклоуборочной техники

С повышением влажности почвы увеличивается ее налипание на рабочие поверхности выкапывающих органов и очистителя вороха, снижая их сепарирующую способность.

Рассматриваемые зарубежные машины [7], с целью улучшения очистки корнеплодов, устанавливают роторные очистители (рисунок 1), которые достаточно хорошо справляются с процессом транспортирования и очистки. Однако производственное использование показало, что через определенные промежутки времени, требуется их остановка на технологические перерывы. Это делается для ограждения 3 звёзд1 роторного очистителя от налипших примесей, которые снижают степень очистки корнеплодов при работе комбайна (рисунок 2).



1 – звезда; 2 – центр поворотной оси; 3 – ограждение звёзд (решётки или просеивающие пружины); 4 – кронштейн крепления ограждения

Рисунок 2 – Роторные очистители свеклоуборочного комбайна ROPA

Первая звезда размером 170 см в диаметре, расположена под шарниром рамы и смонтирована по центру поворотной оси (рисунок 3) [8].

Ограждение звезд (рисунок 3) состоит из решеток, или просевающих пружин, высота подъема которых регулируется гидравликой из кабины.

Нами предлагается совершенствование технологии очистки путем модернизации конструкции сепарирующих звезд. Это достигается путем применения цилиндрических щеток (в количестве трёх штук), которые крепятся вертикально горизонтальной плоскости расположения прутков звезды (рисунок 4). Один конец цилиндрической щётки закреплён на одном из концов прутка звезды, а другой конец щёток находится в полом кронштейне. Все щётки располагаются на одинаковом расстоянии друг от друга по периферии звезды. Вторые концы щёток, расположенные в полом кронштейне, закреплены между собой и свободно перемещаются в нём (рисунок 4).

Данная усовершенствованная конструкция позволит щеткам взаимодействовать с загрязненной поверхностью ограждения звезд, улучшая их очищающую способность и исключая технологические перерывы на очистку при работе в неблагоприятных условиях.

Загрязненность корнеплодов после уборки значительно отражается на величине выручки от реализации сахарной свёклы, сданной на сахарный завод.

В таблице 1 представлена величина недополученной прибыли от реализации корнеплодов, вследствие их загрязненности.

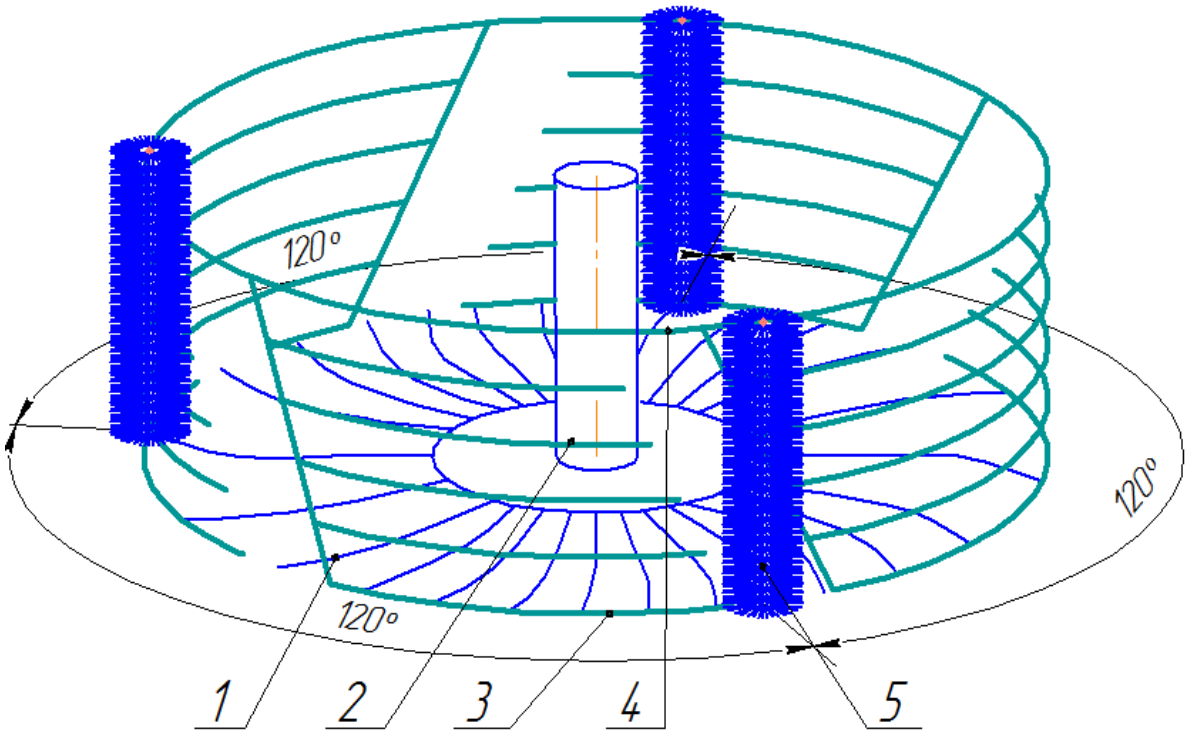
Таблица 1 – Результаты расчета недополученной прибыли из-за загрязненности корнеплодов почвой

Показатель	Значение показателя
1. Средняя урожайность корнеплодов, т/га	50
2. Потери от загрязненности корнеплодов, %	10
3. Потери от загрязненности корнеплодов, т	5

4. Цена реализации 1 т корнеплодов, тыс. руб.	1,6
5. Недополученная выручка, тыс. руб./га	0,8

а) б)

Рисунок 3 – Рабочий процесс очистки корнеплодов: а – при благоприятных; б – неблагоприятных условиях (с использованием просеивающих пружин)



1 – звезда; 2 – центр поворотной оси; 3 – ограждение звёзд (решётки или просеивающие пружины); 4 – кронштейн крепления ограждения; 5 – цилиндрическая щётка

Рисунок 4 – Схема усовершенствованного роторного очистителя с применением очищающих цилиндрических щёток

Анализируя данные таблицы 1, можно сделать вывод, что при загрязненности корнеплодов в пределах 10%, недополученная выручка от их реализации составит 0,8 тыс.руб./га.

Произведем расчет затрат на перевозку корнеплодов сахарной свёклы после уборки с использованием и без использования предлагаемого очищающего устройства.

Исходные данные для расчёта представлены в таблице 2.

Применение разработанного устройства снижает загрязненность до 70% по сравнению с серийными моделями уборочных машин. Следовательно, загрязненность корнеплодов свеклы составит 3%.

Количество рейсов для вывоза выращенного урожая с 1 га можно рассчитать по формуле:

$$n = \frac{U_{\text{ср}}}{q} \quad (1)$$

После подстановки найдём $n \approx 1{,}67$ рейсов.

Таблица 2 – Исходные данные для расчета (по данным на 2014 год)

Показатель	Условное обозначение	Значение
Средняя урожайность сахарной свеклы, т/га	$U_{\text{ср}}$	50
Грузоподъемность автомобиля с прицепом, т	q	30
Среднее расстояние перевозок, км	L	15
Стоимость перевозки 1 тонны корнеплодов на расстояние 1 км, руб.	C	5
Средняя стоимость перевозки 1 тонны корнеплодов, руб.	$C_{1\text{т}}$	75
Загрязненность корнеплодов без применения разработанного устройства, %	$З$	10
Среднее содержание гумуса в черноземной почве, %	z	6

Неэффективные затраты на транспортировку урожая с 1 га без использования предложенного устройства составят

$$З = C_{1\text{т}} \cdot m \cdot n \quad (2)$$

где m– вынос почвы с урожаем корнеплодов при загрязненности 10%, т/га: без использования предложенного устройства – $m_{\text{вын}}$ = 5 т/га; с использованием разработанного устройства – $m_{\text{очист}}$ = 1,5 т/га.

Вынос гумуса с 1 га при уборке и транспортировке урожая определяется по формуле:

$$M_{\text{гум}} = m \cdot z \quad (3)$$

Результаты расчёта представлены в таблице 3

Таблица 3 – Результаты расчета

Показатель	Значение показателя

	без использования предложенного устройства для очистки	с использованием разработанного устройства для очистки
Вынос почвы с урожаем корнеплодов при загрязненности 10%, т/га	5	1,5
Неэффективные затраты на транспортировку урожая, руб./га	626,3	187,9
Вынос гумуса при транспортировке урожая, т/га	0,3	0,09

По представленным выше расчетам получим экономическую эффективность, которая отражена в таблице 4.

Таблица 4 – Оценка эффективности использования устройства для удаления налипшей почвы при уборке в условиях повышенной влажности (28-32%)

Показатель	Очищающий рабочий орган	
	Базовый	Экспериментальный
Площадь, га	100	100
Вынос почвы с урожаем корнеплодов при загрязненности 10%, т/га	5	1,5
Неэффективные затраты на транспортировку урожая, руб./га	626,3	187,9
Вынос гумуса при транспортировке урожая, т/га	0,3	0,09
Себестоимость модернизации, тыс.руб.	-	283,3
Сокращение сроков уборки, дней	-	5
Удельная экономическая эффективность, тыс.руб./га.	-	7,1…12,6
Экономический эффект, тыс.руб.	-	709,9…1255,7
Коэффициент энергетической эффективности.	-	2,53…4,48
Срок окупаемости, лет.	-	0,4…0,22

Заключение. Использование предложенного устройства позволит снизить безвозвратные потери плодородного слоя почвы с 5 до 1,5 т/га, гумуса с 0,3 до 0,09 т/га и снизить неэффективные затраты на транспортировку урожая с 626,3 до 187,9 руб./га.

Список литературы

1. Кузнецов, П.Н. Совершенствование технологии и техническое средство для очистки сахарной свеклы в условиях повышенной влажности почвы / автореф. дис.… к-та техн. наук: 05.20.01/Кузнецов Павел Николаевич – Мичуринск-наукоград, 2015. 20с.

2. Использование устройств для транспортировки и очистки корнеклубнеплодов в условиях центрального Черноземья РФ /: Рекомендации. Учебное издание / С.В. Соловьёв, В.И. Горшенин, П.Н. Кузнецов – Мичуринск-наукоград: Издательско-полиграфический центр ФГБОУ ВПО «МичГАУ», 2013. 21 с., ил.

3. Халанский, В. М. Сельскохозяйственные машины /: Учебники и учебные пособия для студентов высш. учеб. заведений / Халанский, В. М., Горбачёв И.В. - М.: КолосС, 2004. 624 с.

4. Мухин В. А. Устройство для повышения эффективности щеточного очистителя корнеклубнеплодов / В. А. Мухин, М. К. Дусенов // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 5. С. 18-20.

5. Мухин В. А. Динамика воздействия щеточного очистителя на корнеклубнеплод / В. А. Мухин, М. К. Дусенов // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. 2011. № 8. С. 41-43.

6. Арданов, Ч.Е. Механизация сухой очистки корнеплодов: автореф. дис. … канд. тех. наук: 05.20.01/ Арданов Чимит-Сырен Ешеевич – Саратов, 1988. 24с.

7. Проспект фирмы ROPA. Современная техника для уборки сахарной свёклы. Euro-TigerV8-3. [Изоматериал]. - BAUER Sats. Druck. WerbetchnikSchierlink, 09451/943021, 10/09, Art.-Nr. P600003RUS. 20 с.

References

1. Kuznetsov, P.N. Sovershenstvovanie tekhnologii i tekhnicheskoe sredstvo dlya ochistki sakharnoy svekly v usloviyakh povyshennoy vlazhnosti pochvy / avtoref. dis.… k-ta tekhn. nauk: 05.20.01/Kuznetsov Pavel Nikolaevich – Michurinsk-naukograd, 2015. 20s.

2. Ispolzovanie ustroystv dlya transportirovki i ochistki korne-klubneplodov v usloviyakh tsentralnogo Chernozemya RF /: Rekomendatsii. Uchebnoe izdanie / S.V. Solovev, V.I. Gorshenin, P.N. Kuznetsov – Michurinsk-naukograd: Izdatelsko-poligraficheskiy tsentr FGBOU VPO «MichGAU», 2013. 21 s., il.

3. Khalanskiy, V. M. Selskokhozyaystvennye mashiny /: Uchebniki i uchebnye posobiya dlya studentov vyssh. ucheb. zavedeniy / Khalanskiy, V. M., Gorbachev I.V. - M.: KolosS, 2004. 624 s.

4. Mukhin V. A. Ustroystvo dlya povysheniya effektivnosti shchetochnogo ochistitelya korneklubneplodov / V. A. Mukhin, M. K. Dusenov // Traktory i selkhozmashiny. 2011. № 5. S. 18-20.

5. Mukhin V. A. Dinamika vozdeystviya shchetochnogo ochistitelya na korneklubneplod / V. A. Mukhin, M. K. Dusenov // Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N. I. Vavilova. 2011. № 8. S. 41-43.

6. Ardanov, Ch.Ye. Mekhanizatsiya sukhoy ochistki korneplodov: avtoref. dis. … kand. tekh. nauk: 05.20.01/ Ardanov Chimit-Syren Yesheevich – Saratov, 1988. 24s.

7. Prospekt firmy ROPA. Sovremennaya tekhnika dlya uborki sakharnoy svekly. Euro-TigerV8-3. [Izomaterial]. - BAUER Sats. Druck. WerbetchnikSchierlink, 09451/943021, 10/09, Art.-Nr. P600003RUS. 20 s.

УДК 620:631.3: 620.197.3

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ АГРЕССИВНОСТИ ПОЧВЫ КАК СРЕДЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Губашева Алмагуль Мустафаевна,
Аспирант,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Тамбов, e-mail: kungurova.almagul@mail.ru
Князева Лариса Геннадьевна,
доктор химических наук,
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Тамбов,
e-mail: vitin-10@mail.ru
Петрашев Александр Иванович,
доктор технических наук, старший научный сотрудник,
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»,
Тамбов, e-mail: vitin-10.pet@mail.ru
Зазуля Александр Николаевич,
доктор технических наук, профессор,
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Тамбов,
e-mail: zazulja_an@rambler.ru

Реферат. *Известно, что основой сельскохозяйственной деятельности является почва, коррозионная активность которой возрастает при внесении минеральных удобрений. Исследования проводили с образцами чернозема обыкновенного, чернозема выщелоченного, каштановой почвы, взятыми на территории Западного Казахстана, и минеральными удобрениями. Использовали электрохимические и гравиметрические методы коррозионных исследований. Исследование водных вытяжек грунтов показали, что их pH составляет 5,8 – 7,2. Самое низкое значение pH наблюдали в почвенных вытяжках чернозема выщелоченного, при самой высокой скорости коррозии. Защитные свойства чернозема обыкновенного и темно-каштановых почв близки, несмотря на различия в составе. Показано, что в отсутствии влаги исследуемые грунты, в том числе обогащенные минеральными удобрениями, не проявляют коррозионной активности к стальной поверхности. При испытаниях на открытой площадке из исследуемых грунтов наименее агрессивным оказался чернозем обыкновенный. Установлено, что в насыщенных растворах минеральных удобрений скорость коррозии, определяемая гравиметрическим методом, по сравнению с твердой фазой, возрастает на порядок. Самым агрессивным из исследованных удобрений, как в твердом, так и в жидком состоянии, оказалась аммиачная селитра. Показано, что отсутствие аэрации приводит к снижению скорости коррозии стальных пластин, погруженных в грунт, даже при повышении его влажности. Проведены ускоренные коррозионные испытания стальных образцов, имевших контакт с минеральными удобрениями. Показано, что водно-восковые составы Герон эффективно защищают стальную поверхность, как очищенную, так и со следами всех исследованных минеральных удобрений.*

Ключевые слова: *почва, коррозионная активность, минеральные удобрения, защитные свойства, консервационные материалы*

RESEARCH OF CORROSION AGGRESSIVENESS OF SOILS AS AGRICULTURAL PRODUCTION ENVIRONMENT

Gubasheva Almagul,
Post-graduate student, Tambov State Technical Universit, Tambov,

Knyazeva Larisa,
Full Doctor of chemical sciences,
FSBSI All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery
and Oil Products in Agriculture, Tambov,
Petrashev Alexandr,
Full Doctor of Technical Sciences,
FSBSI All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Oil Products in
Agriculture, Tambov,
Zazulya Alexander,
Full Doctor of Technical Sciences, professor,
FSBSI All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Oil Products in
Agriculture, Tambov

Abstract. *It is known that the basis of agricultural activity is the soil, the corrosive activity of which increases with the introduction of mineral fertilizers. Studies were conducted with samples of black earth, leached chernozem, chestnut soil taken in the territory of Western Kazakhstan, and mineral fertilizers. Electrochemical and gravimetric methods of corrosion research are used. The study of water extracts of soils has shown that their pH is 5.8 - 7.2. The lowest pH was observed in the soil extracts of leached chernozem, at the highest corrosion rate. The protective properties of black earth and dark chestnut soils are close, despite the differences in composition. It is shown that in the absence of moisture, the investigated soils, including those enriched with mineral fertilizers, do not exhibit corrosion activity to the steel surface. The common black soil is the least aggressive of the investigated soils when testing on an open site. It is established that in saturated solutions of mineral fertilizers, the corrosion rate determined by the gravimetric method, as compared with the solid phase, increases by an order of magnitude. The most aggressive of the fertilizers studied, both in the solid and liquid state, was ammonium nitrate. It is shown that the absence of aeration leads to a decrease in the corrosion rate of steel plates immersed in the ground, even with an increase in its humidity. Accelerated corrosion tests of steel samples that had contact with mineral fertilizers were carried out. It is shown that the water-wax compositions of Geron effectively protect the steel surface, both cleaned and with traces of all investigated mineral fertilizers.*

Keywords: *soil, corrosion activity, mineral fertilizers, protective properties, conservation materials*

Введение. Основой сельскохозяйственной деятельности является почва, поэтому исследование ее коррозионной активности, как среды сельскохозяйственного производства, чрезвычайно важно. Почва состоит из множества химических соединений и элементов, многие из которых ускоряют коррозионный процесс. Из-за наличия влаги и различных химических реагентов, любая почва обладает ионной проводимостью и в большинстве случаев, за исключением очень сухих грунтов, механизм коррозии – электрохимический [1]. На агрессивность почвы влияют влажность, аэрация, пористость, pH, наличие растворенных солей, электропроводность. Для повышения плодородия почвы в нее вносят минеральные и органические удобрения, которые влияют на солевой состав. Высокая коррозионная активность минеральных удобрений связана с наличием коррозионно-активных солей (нитраты, хлориды, сульфаты, фосфаты и их высокой гигроскопичностью. Коррозионная активность любых почв напрямую связана с присутствием влаги. Она возрастает при внесении

в почву минеральных удобрений. Агрессивному воздействию минеральных удобрений подвергается не только техника для их внесения, но и рабочие органы почвообрабатывающих машин при эксплуатации и в нерабочий период при неправильной постановке на хранение (рабочие органы не очищены от грунта) [2 - 5].

Методика эксперимента. Исследования проводили с образцами чернозема обыкновенного, чернозема выщелоченного, каштановой почвы, взятыми на территории Западного Казахстана. Были использованы также грунты, к которым было добавлено 1 % (об.) минеральных удобрений азофоски, аммиачной селитры, карбамида и суперфосфата. Забор образцов, выделение навески и приготовление почвенной вытяжки были проведены в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84 и ГОСТ 26483-85. Агрессивность сухих грунтов по отношению к стальным пластинам изучали, предварительно высушивая грунты в сушильном шкафу при температуре 100 ^{0}С в течение 8 часов слоем в 2-3 см. Эксперименты проводили в стеклянных банках, закрытых металлическими крышками в лабораторном помещении в течении 3 месяцев. Влажность грунтов 25 и 50 % создавали добавлением дистиллированной воды 25г и 50 г на 100 г грунта, соответственно. При натурно-стендовых испытаниях стальные пластины помещали в изначально высушенные грунты на глубину 5 -10 см в банки без крышек, эксперименты проводили на крыше без навеса. Ускоренные коррозионные испытания на стальных(Ст3) пластинах со следами минеральных удобрений проводили в 0,5 М растворе хлорида натрия по ГОСТ 9.042-75. Следы минеральных удобрений получали окунанием пластин в насыщенные растворы минеральных удобрений с последующим их высушиванием при комнатной температуре в течение суток. Для противокоррозионной защиты использовали водно-восковые составы различных марок «Герон», синтетическое моторное масло Mobil-Devlac товарное, отработанное, отработанное, ингибированное 5 масс. % Эмульгина [6]. Скорость коррозии определяли по поляризационным кривым по методике, описанной в [6] и гравиметрически [6]. Защитную эффективность противокоррозионных материалов рассчитывают по формуле:

$$Z = \frac{K_0 - K}{K_0} \cdot 100\ \%, \qquad (2.4)$$

где K_0 и K – скорости коррозии металла в отсутствии и при наличии пленки консервационного материала, соответственно. Для образцов стали со следами минеральных удобрений определяли также Z_1, где K_0 и K– скорости коррозии металла с первоначальными следами минеральных удобрений в отсутствии и при наличии пленки консервационного материала, соответственно.

Результаты и обсуждение. В Республике Казахстан в северной части распространены черноземы, южнее находятся каштановые почвы. В таблице 1 приведены некоторые данные о составе и защитных свойствах водных вытяжек образцов указанных выше почв, взятых на территории Западного Казахстана. Поляризационные кривые почвенных вытяжек показаны на рисунке 1.

Хотя образцы грунтов отличаются по составу, иногда значительно, защитные свойства их почвенных вытяжек близки, особенно у чернозема обыкновенного и темно-каштановых почв. Значение pH исследуемых грунтов находится в пределах 5,8 – 7,2. Самое низкое значение наблюдали в почвенных вытяжках чернозема выщелоченного, при самой высокой скорости коррозии (рисунок 1). Видимо, это связано с тем, что в более кислых почвах вторичные продукты коррозии становятся более растворимыми, возникает возможность дополнительной катодной деполяризации ионами водорода.

Была исследована агрессивность высушенных грунтов по отношению к стальным пластинам. После трехмесячной выдержки в стеклянных банках, закрытых металлическими крышками, в лабораторном помещении на стальных пластинах во всех исследуемых грунтах, включая грунты, содержащие по 1 % (об.) азофоски, аммиачной селитры, карбамида и суперфосфата, коррозия не началась, скорость коррозии К ~ 0г/м^2·ч (таблица 2)

Были проведены натурные испытания, когда стальные пластины помещали в изначально высушенные грунты на глубину 5 -10 см в банки без крышек, на открытой площадке, где они подвергались действию атмосферной коррозии. Натурно-стендовые испытания проводили в мае-июле, средняя температура составила +25 ^{0}С. Полученные результаты показали, что уже после двухнедельных испытаний коррозия началась на всех образцах, во всех исследуемых грунтах, включая грунты, дополнительно содержащие минеральные удобрения, также, как и на контрольных образцах без грунта (таблица 2). Из исследуемых грунтов наименее агрессивен чернозем обыкновенный, из исследуемых минеральных удобрений наиболее повышает агрессивность грунтов при прочих равных условиях азофоска.

Таблица 1 – Химический состав и защитные свойства образцов почвенных вытяжек

№ п/п	Показатель	Образцы почвы		
		Чернозем выщелочный	Чернозем обыкновенный	Темно-каштановые
1	pH	5,9	7,2	6,7
2	Гумус, %	6,3	7,2	3,0
3	Фосфор, мг/кг	585	295	500
4	Общий азот,%	0,32	0,30	0,24
5	Кальций, ммоль/100 г	100,0	95,0	80,0
6	Магний, ммоль/100 г	20,50	12,70	10,00
7	Калий, мг/кг	190	1,0	0,2
8	Натрий, мг/кг	0,27	0,85	0,54
9	Хлориды, %	0,05	0,35	0,40
10	Сульфаты, %	0,2	2,9	2,8
11	Бикарбонаты	0,061	0,041	0,024
12	Содержание частиц физической глины <0,01 мм, %	45-60	30-45	15-30
13	Скорость коррозии в почвенных выдержках, г/м^{2}час	0,073	0,064	0,065

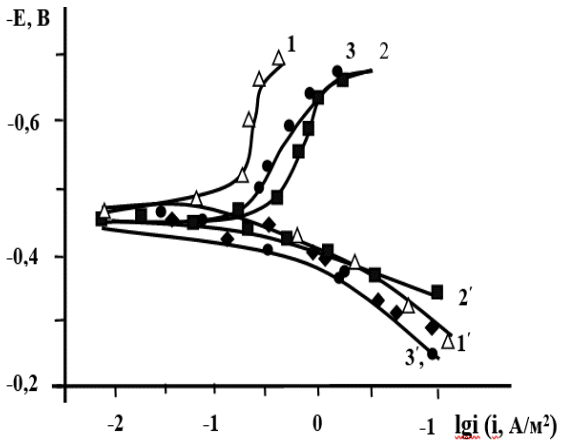


Рисунок 1 - Анодные (1-4) и катодные (1´-4´) поляризационные кривые стали Ст3 в водных выдержках: 1 – чернозема обыкновенного; 2- чернозема выщелоченного; 3 – темно-каштановой почвы

Высокая коррозионная активность минеральных удобрений связана с наличием коррозионно-активных солей (нитраты, хлориды, сульфаты, фосфаты и их высокой гигроскопичностью. Проведенные исследования показали, что в насыщенных растворах минеральных удобрений скорость коррозии, определяемая гравиметрическим методом, по сравнению с твердой фазой, возрастает на порядок (таблица 3). Самым агрессивным из исследованных удобрений, как в твердом, так и в жидком состоянии, оказалась аммиачная селитра. К = 0,023 г/м^2·ч при контакте с удобрением в твердом состоянии и К = 0,240 г/м^2·ч – с насыщенным раствором.

Таблица 2- Скорость коррозии стальных пластин Ст3 в различных грунтах

№ п/п	Грунт	Время испытаний 45 суток				Время испытаний 14/45 суток	
		Закрытые банки в лабораторном помещении		Закрытые банки на открытой площадке		Открытые банкина открытой площадке	
		К, г/м^{2}час	Z,%	К, г/м^{2}час	Z,%	К, г/м^{2}час	Z,%
1	Отсутствует	0,0001		0,0005		0,015	
2	Чернозем выщелочный	~0	~ 100	0,00002	97	0,0023/0,0042	85/72
3	Чернозем обыкновенный	~0	~ 100	~0	~ 100	0,0015/0,0023	90/85
	+ 1 % (об.) азофоски	~0	~ 100	~0	~ 100	0,0023/0,0045	85/70
	+ 1 % (об.) карбамида					0,0018/0,0023	88/85
	+ 1% (об.) аммиачной селитры	~0	~ 100	~0	~ 100	0,0023/0,0042	85/72
	+ 1 % (об.) суперфосфата	~0	~ 100	~0	~ 100	0,0018/0,0023	88/85
4	Темно-каштановая	~0	~ 100	~0	~ 100	0,0021/0,0024	86/84

Таблица 3 – Скорость коррозии стали Ст3 в среде удобрений

Вид удобрения	Скорость коррозии, г/м^2·ч	
	Твердое состояние	Насыщенный раствор
Азофоска	0,020	0,200
Аммиачная селитра	0,023	0,240
Карбамид	0,010	0,140
Суперфосфат	0,010	0,150
Примечания - Температура эксперимента – комнатная. Длительность испытаний – 60 суток.		

В почву на подкормку растений удобрения вносят вместе с водой. Исследовали влияние влажности грунта на коррозию стальных пластин. Эксперименты проводили в стеклянных банках, закрытых крышками в течение 2 недель. Требуемую влажность создавали добавлением дистиллированной воды. При влажности грунта 25 % скорость коррозии всех исследуемых образцов, определенная гравиметрически, находилась в диапазоне 0,0035 – 0,0041 г/м^{2}ч, а при влажности грунта 50 % - 0,0019 – 0,024 г/м^{2}ч. (таблица 4).

Таблица 4 – Скорость коррозии стали Ст3, увлажненной растворами минеральных удобрений (1мг/1 л воды)

№ п/п	Раствор	Увлажнение	Скорость коррозии, г/м^{2}ч		
			Чернозем выщелочный	Чернозем обыкновенный	Темно-каштановая
1	Вода дистиллированная	25%	0,0041	0,0039	0,0035
		50 %	0,0024	0,0020	0,0019
	Растворы с минеральными удобрениями				
2	Азофоска	25	0,0080	0,0075	0,0080
3	Аммиачная селитра		0,0090	0,0085	0,0090
4	Карбамид		0,0025	0,0025	0,0020
5	Суперфосфат		0,0030	0,0025	0,0025
6	Азофоска	50	0,0060	0,0060	0,0050
7	Аммиачная селитра		0,0050	0,0060	0,0050
8	Карбамид		0,0025	0,0020	0,0020
9	Суперфосфат		0,0025	0,0020	0,0030

Можно предположить, что уменьшение скорости коррозии при повышении влажности грунтов связано с затруднением катодного процесса из-за затруднения аэрации грунта, насыщенного влагой.

Были проведены эксперименты с исследуемыми грунтами, увлажненными до 25 и 50 % растворами минеральных удобрений из расчета 1мг на 1 литр воды. Проведенные исследования показали, что введение минеральных удобрений в почву повышает ее агрессивность. Наиболее агрессивны почвы, содержащие аммиачную селитру. Разница между грунтами с минеральными удобрениями, увлажненными до 50 % водой нивелируется.

Рабочие органы почвообрабатывающей техники, металлические поверхности техники для внесения минеральных удобрений необходимо защищать от коррозии. Для защиты сельскохозяйственной техники широко используют ингибированные масла [7-18] и водно-восковые составы [19-22].

Были проведены ускоренные коррозионные испытания по ГОСТ 9.042-75 стальных образцов, имевших контакт с минеральными удобрениями, защищенных водно-восковыми составами «Герон» (ТУ 0255-001-11475232-2002) синтетическим моторным маслом Mobil Devlac как товарным, так и отработанным, в том числе ингибированным 5 масс. % Эмульгина (таблица 5).

Таблица 5 – Результаты ускоренных коррозионных испытаний стальных образцов со следами минеральных удобрений в 0,5 М растворе NaCl

№ пп	Консервационный состав	Минеральное удобрение	Толщина покрытия,мкм	$K \cdot 10^4$,, г/м^2·час	Z, %	Z_1., %
1	Герон	Аммиачная селитра	130	69,5	78	91
		Карбамид		63,1	80	86
		Суперфосфат		56,9	82	89
		Без удобрения		53,7	83	
2	Герон - Б	Аммиачная селитра	127	34,8	89	96
		Карбамид		6,32	98	99
		Суперфосфат		15,8	95	97
		Без удобрения		3	100	-
3	Герон-ЛБ	Аммиачная селитра	140	132,7	58	81
		Карбамид		63,2	80	91
		Суперфосфат		113,8	64	78
		Без удобрения		82,2	74	
4	Герон - Л	Аммиачная селитра	125	154,8	51	77
		Карбамид		53,7	83	92
		Суперфосфат		37,9	88	93
		Без удобрения		94,8	70	
5	Товарное синтетическое масло Mobil-Devlac	Аммиачная селитра	65	246,5	22	69
		Карбамид		183,3	42	61
		Суперфосфат		230,7	27	55
		Без удобрения		211,7	33	
6	Отработанное синтетическое масло Mobil-Devlac	Аммиачная селитра	70	199,1	37	75
		Карбамид		500,0	С	С
		Суперфосфат		218,0	31	58
		Без удобрения		259,1	18	
7	Отработанное синтетическое масло Mobil-Devlac + 5 масс.% Эмульгина	Аммиачная селитра	80	37,9	88	95
		Карбамид		195,9	38	58
		Суперфосфат		199,1	37	62
		Без удобрения		6,3	98	-
8	Контроль	Аммиачная селитра		806	-	-

		Карбамид		465	-	-
		Суперфосфат		518	-	-

Примечания - Продолжительность испытаний 14 суток. Температура нанесения пленки 20^0С. Z – защитный эффект по контрольным образцам в 0,5 М NaCl, Z_1 - защитный эффект по контрольным образцам со следами удобрений. Температура проведения эксперимента - комнатная.$К_0$ = 0,0316 г/$м^2$ч. С – стимулирование коррозии.

Заключение. Высокую защитную эффективность продемонстрировали водно-восковые составы, особенно Герон-Б, на стальной поверхности как очищенной, так и со следами всех исследованных минеральных удобрений. Защитное действие синтетического моторного масла Mobil Devlac намного слабее. Пленка свежего синтетического масла Mobil Devlac не лучшим образом защищает стальную поверхность, причем со следами карбамида даже несколько лучше, чем без его следов. Отработанное синтетическое масло на образцах со следами карбамида стимулирует коррозию. Повысить защитную эффективность отработанного синтетического масла можно, добавив в него 5 масс. % присадки Эмульгин (таблица 5). Нанесение такой композиции позволяет практически полностью защитить стальную поверхность без следов минеральных удобрений (Z = 98%) и имеет высокий защитный эффект на стали со следами аммиачной селитры (Z = 88%).

Список литературы

1. Жук. Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов. - М.: Металлургия, 1976. 473с.

2. Губашева А.М., Князева Л.Г. Противокоррозионная защита сельскохозяйственной техники для внесения минеральных удобрений // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 8-2 (19-2). С. 116-124.

3. Прохоренков В.Д., Князева Л.Г., Ивойлов А.А., Еремин В.Н. Консервация сельскохозяйственной техники для внесения минеральных удобрений // Техника в сельском хозяйстве. 2007. № 6. С. 30-32.

4. Князева Л.Г., Сазонов С.Н. О некоторых проблемах хранения сельскохозяйственной техники// АПК России. 2016. Т. 23. № 2. С. 392-399.

5. Черноиванов В.И., Северный А.Э, Зазуля А.Н., Прохоренков В.Д., Петрашев А.И., Вигдорович В.И., Князева Л.Г. Сохраняемость и противокоррозионная защита техники в сельском хозяйстве. М: ГНУ ГОСНИТИ. 2009. 240 с.

6. Князева Л.Г. Научные основы создания антикоррозионных консервационных материалов на базе отработавших нефтяных масел и растительного сырья: диссертация на соискание ученой степени доктора химических наук / Тамбовский государственный технический университет. 2012.

7. Кузнецова Е.Г., Князева Л.Г., Прохоренков В.Д. Обоснование выбора ингибитора для противокоррозионной защиты сельскохозяйственной техники по данным ускоренных коррозионных исследований //Наука в центральной России. 2015. № 3 (15). С. 54-62.

8. Князева Л.Г., Вигдорович В.И., Прохоренков В.Д. Ингибирование коррозии отработавшими моторными маслами. // Коррозия: материалы, защита. 2010. № 10. С. 25-30.

9. Князева Л.Г., Акользин А.П., Вигдорович В.И., Шель Н.В. Некоторые проблемы ингибирования атмосферной коррозии стали отработавшими моторными маслами. // Практика противокоррозионной защиты. 2012. № 1(63). С. 60 – 65.

10 Цыганкова Л.Е., Князева Л. Г. Ингибирование коррозии отработавшими моторными маслами. // Вестник ТГУ им. Державина. Естественные и технические науки. 2011. Т. 16, вып. 3. С. 851-854.

11 Князева, Л.Г., Защита сельскохозяйственной техники от атмосферной коррозии ингибированными масляными покрытиями в условиях влагонасыщения / Л.Г. Князева, В.Д. Прохоренков, Е.Г. Кузнецова // Наука в Центральной России. 2014. № 1 (7). С. 4-11.

12. Князева Л.Г., Вигдорович В.И. Использование масляных пленок для защиты углеродистой стали от атмосферной коррозии // Вестник ВГУ, Серия: Химия. Биология. Фармация. 2011. № 2. С. 21-27.

13. Князева Л.Г., Прохоренков В.Д., Остриков В.В., Чернышова И.Ю. Разработка консервационных материалов на основе отработанных масел. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2002. № 10. С. 38-40.

14. Князева, Л.Г. Антикоррозионная характеристика пленок нефтяных и синтетических масел и их физико-химические характеристики / Л.Г. Князева, В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова и др. // Коррозия: материалы, защита. 2014. № 9. С. 31-37.

15. Князева, Л.Г. Антикоррозионная эффективность поверхностных и защитных пленок товарных и отработанных синтетических масел на примере продукта Мобил-1. / Л.Г. Князева, В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова, Н.В. Шель, Е.Г. Кузнецова, В.Д. Прохоренков // Практика противокоррозионной защиты. 2014. № 2 (72). С. 58-65.

16. Прохоренков В.Д., Остриков В.В., Князева Л.Г. Использование отработанных моторных масел как основы для консервационных материалов //Практика противокоррозионной защиты. 2000. № 2. С. 40-45.

17. Прохоренков В.Д., Вигдорович В.И., Князева Л.Г. Доступные противокоррозионные материалы для защиты сельскохозяйственной техники от атмосферной коррозии // Практика противокоррозионной защиты. 2003. № 3. С. 51-54.

18. Прохоренков В.Д., Петрашев А.И., Князева Л.Г. Защита от коррозии сельскохозяйственной техники отработанными маслами //Техника в сельском хозяйстве. 2006. №5. С. 18-21.

19. Князева Л.Г., Кузнецова Е.Г., Вигдорович В.И., Прохоренков В.Д. Защитные свойства водно-восковых составов «Герон» // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2013. Т. 18. № 5. С. 2299-2303.

20. Прохоренков В.Д., Петрашев А.И., Князева Л.Г., Кузнецова Е.Г. Антикоррозионный водно-восковой состав «Герон» // Сельский механизатор. 2009. № 10. С. 28-29.

21. Петрашев А.И., Князева Л.Г., Прохоренков В.Д., Клепиков В.В.Технология консервации аграрной техники водно-восковым составом «Герон»// Наука в центральной России. 2013. №1. С. 53-56.

22. Князева Л.Г., Кузнецова Е.Г., Прохоренков В.Д., Вигдорович В.И., Еремин В.Н. Экспресс-оценка защитных свойств водно-восковых составов «Герон»// Наука в центральной России. 2013. № 4. С. 4-11.

References

1. Zhuk. N.P.Kurs teorii korrozii i zashhity metallov. - M.: Metallurgija, 1976. 473s.

2. Gubasheva A.M., Knjazeva L.G. Protivokorrozionnaja zashhita sel'skohozjajstvennoj tehniki dlja vnesenija mineral'nyh udobrenij // Aktual'nye napravlenija nauchnyh issledovanij XXI veka: teorija i praktika. 2015. T. 3. № 8-2 (19-2). S. 116-124.

3. Prohorenkov V.D., Knjazeva L.G., Ivojlov A.A., Eremin V.N. Konservacija sel'skohozjajstvennoj tehniki dlja vnesenija mineral'nyh udobrenij // Tehnika v sel'skom hozjajstve. 2007. № 6. S. 30-32.

4. Knjazeva L.G., Sazonov S.N. O nekotoryh problemah hranenija sel'skohozjajstvennoj tehniki// APK Rossii. 2016. T. 23. № 2. S. 392-399.

5. Chernoivanov V.I., Severnyj A.Je, Zazulja A.N., Prohorenkov V.D., Petrashev A.I., Vigdorovich V.I., Knjazeva L.G.Sohranjaemost' i protivokorrozionnaja zashhita tehniki v sel'skom hozjajstve. M: GNU GOSNITI. 2009. - 240 s.

6. Knjazeva L.G. Nauchnye osnovy sozdanija antikorrozionnyh konservacionnyh materialov na baze otrabotavshih neftjanyh masel i rastitel'nogo syr'ja: dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni doktora himicheskih nauk / GOUVPO «Tambovskij gosudarstvennyj tehnicheskij universitet». 2012.

7. Kuznecova E.G., Knjazeva L.G., Prohorenkov V.D.Obosnovanie vybora ingibitora dlja protivokorrozionnoj zashhity sel'skohozjajstvennoj tehniki po dannym uskorennyh korrozionnyh issledovanij //Nauka v central'noj Rossii. 2015. № 3 (15). S. 54 - 62.

8. Knjazeva L.G., Vigdorovich V.I., Prohorenkov V.D. Ingibirovanie korrozii otrabo-tavshimi motornymi maslami. // Korrozija: materialy, zashhita. 2010. № 10. S. 25 - 30.

9. Knjazeva L.G., Akol'zin A.P., Vigdorovich V.I., Shel' N.V. Nekotorye problemy ingibirovanija atmosfernoj korrozii stali otrabotavshimi motornymi maslami. // Praktika protivokorrozionnoj zashhity. 2012. № 1(63). S. 60 – 65.

10 Cygankova L.E., Knjazeva L. G. Ingibirovanie korrozii otrabotavshimi motornymi maslami. // Vestnik TGU im. Derzhavina. Estestvennye i tehnicheskie nauki. 2011. T. 16, vyp. 3. S. 851 – 854.

11 Knjazeva, L.G., Zashhita sel'skohozjajstvennoj tehniki ot atmosfernoj korrozii ingibirovannymi masljanymi pokrytijami v uslovijah vlagonasyshhenija / L.G. Knjazeva, V.D. Prohorenkov, E.G. Kuznecova // Nauka v Central'noj Rossii. 2014. № 1 (7). S. 4 – 11.

12. Knjazeva L.G., Vigdorovich V.I. Ispol'zovanie masljanyh plenok dlja zashhity uglero-distoj stali ot atmosfernoj korrozii // Vestnik VGU, Serija: Himija. Biologija. Farmacija. 2011. № 2. S. 21 – 27.

13. Knjazeva L.G., Prohorenkov V.D., Ostrikov V.V., Chernyshova I.Ju. Razrabotka konservacionnyh materialov na osnove otrabotannyh masel. // Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie. 2002. № 10. S. 38 - 40.

14. Knjazeva, L.G. Antikorrozionnaja harakteristika plenok neftjanyh i sinteticheskih masel i ih fiziko-himicheskie harakteristiki / L.G. Knjazeva, V.I. Vigdorovich, L.E. Cygankova i dr. // Korrozija: materialy, zashhita. 2014. № 9. S. 31 – 37.

15. Knjazeva, L.G. Antikorrozionnaja jeffektivnost' poverhnostnyh i zashhitnyh plenok tovarnyh i otrabotannyh sinteticheskih masel na primere produkta Mobil-1. / L.G. Knjaze-va, V.I. Vigdorovich, L.E. Cygankova, N.V. Shel', E.G. Kuznecova, V.D. Prohorenkov // Prak-tika protivokorrozionnoj zashhity. 2014. № 2 (72). S. 58 – 65.

16. Prohorenkov V.D., Ostrikov V.V., Knjazeva L.G. Ispol'zovanie otrabotannyh motor-nyh masel kak osnovy dlja konservacionnyh materialov //Praktika protivokorrozionnoj zashhity. 2000. № 2. S. 40-45.

17. Prohorenkov V.D., Vigdorovich V.I., Knjazeva L.G. Dostupnye protivokorrozionnye materialy dlja zashhity sel'skohozjajstvennoj tehniki ot atmosfernoj korrozii // Praktika protivokorrozionnoj zashhity. 2003. № 3. S. 51-54.

18. Prohorenkov V.D., Petrashev A.I., Knjazeva L.G. Zashhita ot korrozii sel'skohozjajst-vennoj tehniki otrabotannymi maslami //Tehnika v sel'skom hozjajstve. 2006. №5. S. 18-21.

19. Knjazeva L.G., Kuznecova E.G., Vigdorovich V.I., Prohorenkov V.D. Zashhitnye svojst-va vodno-voskovyh sostavov «Geron» // Vestnik Tambovskogo universiteta. Serija: Estest-vennye i tehnicheskie nauki. 2013. T. 18. № 5. S. 2299 – 2303.

20. Prohorenkov V.D., Petrashev A.I., Knjazeva L.G., Kuznecova E.G. Antikorrozionnyj vodno-voskovoj sostav «Geron» // Sel'skij mehanizator. 2009. № 10. S. 28-29.

21. Petrashev A.I., Knjazeva L.G., Prohorenkov V.D., Klepikov V.V.Tehnologija konser-vacii agrarnoj tehniki vodno-voskovym sostavom «Geron»// Nauka v central'noj Rossii. 2013. №1. S. 53-56.

22. Knjazeva L.G., Kuznecova E.G., Prohorenkov V.D., Vigdorovich V.I., Eremin V.N. Jeks-press-ocenka zashhitnyh svojstv vodno-voskovyh sostavov «Geron»// Nauka v central'noj Rossii. 2013. № 4. S. 4 - 11

УДК 621

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ЭКСТРАКТНО-ВЫПАРНАЯ УСТАНОВКА РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Гуськов Артём Анатольевич,
старший преподаватель,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов,
e-mail: tyoma-1@mail.ru
Родионов Юрий Викторович,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов,
e-mail: rodionow.u.w@rambler.ru
Капустин Василий Петрович,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов,
Никитин Дмитрий Вячеславович,
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов,
e-mail: dmitryndv@gmail.com
Анохин Сергей Александрович,
старший преподаватель,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов,
e-mail: fwut@mail.ru
Коновалов Владимир Викторович,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», Пенза,
e-mail: konovalov-penza@rambler.ru

Реферат. *Известно, что выпаривание, экстрагирование и дистилляция относятся к числу наиболее распространённых процессов в пищевой, химической, фармацевтической промышленности. Проведённый анализ установок, разрабатываемых для переработки растительного сырья (продукции) показал, что в настоящее время разрабатываются установки в основном для определённого процесса, а иногда только и одного вида растительного сырья. Разработана универсальная вакуумная многофункциональная*

установка, включающая процессы выпаривания, экстрагирования и дистилляции. Описано устройство и принцип действия установки, работающей на различных режимах. Установлено, что универсальная установка, имеющая небольшие габариты, эффективна для предприятий агропромышленного комплекса (АПК), в том числе для малых предприятий и крестьянско-фермерских хозяйств. Для создания низкого вакуума 10-2 кПа разработана конструкция двухступенчатого жидкостнокольцевого вакуумного насоса (ЖВН), позволяющая повысить КПД и снизить затраты энергии на процесс вакуумирования до 15%, а также производить переработку растительной продукции при температурах кипения жидкости 30-45 °С. Двухступенчатый процесс вакуумирования осуществляется за счёт переналадки работы машины, заключающейся в изменении отношения частот вращения первой и второй ступеней, в зависимости от установочной степени повышения давления, определяющей устойчивую работу на предельном вакууме. С помощью механизма регулирования изменяется передаточное отношение двухдискового лобового вариатора в пределах 1,15 – 1,35. Представлены аналитические формулы для определения быстроты действия насоса. Предложены основные направления дальнейшего совершенствования установок для процессов экстрагирования, выпаривания и дистилляции.

Ключевые слова: *экстрагирование, выпаривание, дистилляция, универсальная установка, жидкостнокольцевой вакуумный насос.*

UNIVERSAL EXTRACT-EVAPORATING UNIT OF VEGETATIVE RAW MATERIALS

Guskov Artem,
Senior Teacher
Tambov State Technical University, Tambov,
Rodionov Yuri,
Full Doctor of Technical Sciences, professor,
Tambov State Technical University, Tambov,
Kapustin Vasily,
Full Doctor of Technical Sciences, professor,
Tambov State Technical University, Tambov,
Nikitin Dmitry,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Tambov State Technical University, Tambov,
Anokhin Sergey,
Senior Teacher,
Tambov State Technical University, Tambov,
Konovalov Vladimir,
Full Doctor of Technical Sciences, professor,
Penza State Technological University, Penza

Abstract. *It is known that evaporation, extraction and distillation are the most common processes in food, chemical and pharmaceutical industries. The analysis of plants developed for the processing of plant raw materials (products) showed that the plants are developed mainly for a certain process, and sometimes only one type of plant raw materials at present. A versatile multifunctional plant which includes the processes of evaporation, extraction and distillation has been developed. The design and principles of operation of the plant working on different modes are*

described. It is established that a universal plant is effective for enterprises of agroindustrial complex including small businesses and peasant farms due to its small dimensions. To create low vacuum 10-2 kPa we designed the two stage liquid ring vacuum pump (LVP) which allows us to raise the efficiency coefficient and to reduce power consumption for vacuumizing up to 15%. The apparatus also allows processing vegetable products under the boiling temperatures of liquid 30-45 °C. Two stage vacuumizing is achieved by readjusting involving changing rotation rates of the first and second stages depending on the preset pressure increase level which secures stable work at the maximum vacuum. By regulation mechanism the transmissive ratio of two-disk frontal variator varies in the range of 1,15– 1,35. Analytical formulae for determination of the speed of action of the pump are presented. The main directions of further improvement of plants for extraction, evaporation and distillation are suggested.

Keywords: *extraction, evaporation, distillation, universal installation, liquid-ring vacuum pump.*

Введение. Значительным резервом развития сферы АПК в области производства многофункциональной продукции является организация переработки растительной продукции в сельском хозяйстве на кооперативных началах и обеспечение регулярной доставки в распределительные центры как готовых к употреблению продуктов питания, так и ингредиентов для других высокотехнологичных отраслей промышленности (фармацевтика, парфюмерия, предприятия производящие продукты питания).

В настоящее время переработка растительной продукции невозможна из-за отсутствия собственных передовых технологий и средств [1]. Вместе с тем нельзя не отметить стремление к созданию таких технологий и оборудования. В частности, комплексную переработку не измельчённых растений фенхеля обыкновенного, использование экстрагирования отходов после паровой дистилляции позволили получить новые ценные продукты для пищевой, парфюмерно-косметической и фармацевтической промышленности [2]. Механическое воздействие на свекловичную стружку и применение теплофизических методов с использованием различных теплоносителей при предварительной тепловой обработке стружки, позволяет увеличить время активного экстрагирования, повысить степень извлечения из неё сахарозы и снизить содержание сахара в жоме [3]. Использование двухстадийной технологии производства концентрированных фруктовых пюре позволило получить продукт с повышенным содержанием термолабильных веществ, витаминов, моно- и дисахаридов и др. На первой стадии измельченное и нагретое в автоклаве до температуры 373…398 К при давлении до 0,2 МПа пюре распыляется с помощью струйной форсунки в вакуум-камере, в которой с помощью вакуум-насоса поддерживается разрежение 4,0…9,8 кПа. В результате резкого перепада температуры и давления происходит мелкодиспергированное распыление продукта, сопровождающееся мгновенным испарением влаги, содержащейся в пюре в перегретом состоянии. На второй стадии процесса выпаривания капельки пюре достигали вертикальной термостатируемой стенки вакуум-камеры и оседали на ней, образуя пленку продукта, постепенно (по мере увеличения ее толщины) двигающуюся вниз по вертикальной стенке под действием сил тяжести [4].

Однако ещё более остро стоит вопрос разработки собственного энергоэффективного универсального оборудования малых предприятий АПК с целью комплексной безотходной переработки традиционного и нетрадиционного растительного сырья. Вместе с тем следует отметить, что разработана малогабаритная установка для концентрирования и сушки пищевых продуктов в вакууме для фермерских хозяйств, обеспечивающая кипение выпариваемой жидкости при температурах до 50°С на основе воздействия импульса разрежения [5]. В свою

очередь предпочтительными можно считать те аппараты, которые имеют незначительные габариты, минимальную металлоемкость, простоту конструкции, удобство в эксплуатации и ремонте, что гарантирует их успешное использование в промышленности [6].

Материалы и методы. Результатами данной работы являются разработка и обоснование параметров и режимов работы универсальной экстрактно-выпарной установки растительного сырья. Дано технико-экономическое обоснование использования в универсальной установке двухступенчатого жидкостнокольцевого вакуумного насоса с последовательным включением ступеней (регулировкой частоты вращения второй ступени относительно первой).

В исследованиях использованы базовые положения теории тепло- и массообмена, методы теоретической механики и теории машин и механизмов.

Результаты и обсуждения. Нами была разработана конструкция универсальной вакуумной экстрактно-выпарной установки, которая осуществляет работу на следующих режимах:1) экстрагирование с независимой выгрузкой:

- экстрагирование с последующей выгрузкой;
- экстрагирование с последующим выпариванием;
- экстрагирование с последующим выпариванием и дистилляцией;

2) выпаривание:

- простое выпаривание с последующей выгрузкой;
- выпаривание с дистилляцией.

Следовательно, установка может работать периодически или квазинепрерывно (после импульсного вакуумирования и выдержки в экстрагенте). Универсальная установка (рисунок 1) состоит из экстрактора *1* объёмом 5 л с вертикальной загрузкой сырья, для быстрой погрузки и извлечения сырья в экстрактор, а также избежания попадания частичек в другие ёмкости, в нём установлена ограничительная сетка *20*. Экстрактор соединен через вентиль *19* с испарителем *2*, в котором установлен конусообразный испаритель *3*. Испаритель *2* рабочим объёмом 10 л соединён паропроводом *4* через вентиль *5* с дистиллятором *6*. Дистиллятор, предназначенный для конденсации паров жидкости, поступающих из испарительной ёмкости, подсоединен трубкой к ёмкости сбора дистиллята *9* объёмом 5 л. В дистилляторе использовано водяное охлаждение. Ёмкость сбора дистиллята соединена через вентиль *10* и паропровод с двухступенчатым жидкостнокольцевым вакуумным насосом (ЖВН) *12*. Экстрактор, испаритель и ёмкость для сбора дистиллята имеют дополнительные ёмкости для слива экстракта *18*, концентрата *17* и дистиллята *14* после окончания процессов выпаривании или ректификации.

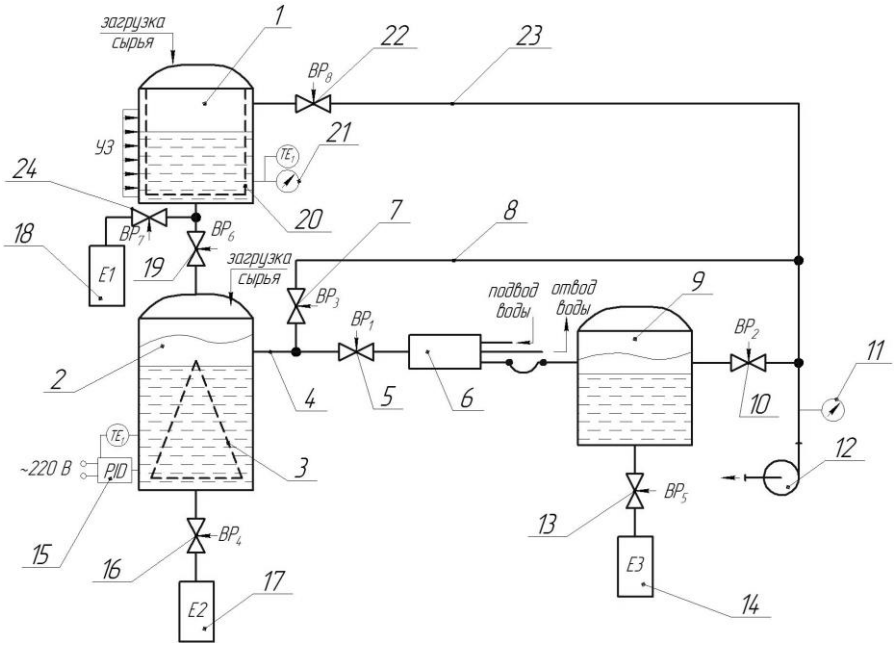


Рисунок 1 – Технологическая схема экспериментальной универсальной установки:
1 – экстрактор; 2 – испаритель; 3 – нагреватель конусообразный; 4, 8, 23 – паропровод; 5, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 24 – вентиль; 6 – дистиллятор; 9 – ёмкость отбора дистиллята; 11, 21 – вакуумметр; 12 – ЖВН; 14 - ёмкость сбора дистиллята; 15 – пид-регулятор с термопарой; 17 – ёмкость сбора концентрата; 18 – ёмкость сбора экстракта; 20 – ограничительная сетка

Дистиллятор *6* прямоточного типа представляет собой неразборную конструкцию со штуцером для соединения с испарительной ёмкостью. Внутри корпуса *1*, выполненного из нержавеющей стали, расположен теплообменник. Подвод и отвод охлаждающей воды осуществляется к дистиллятору по трубке из ПВХ. Пар, конденсируемый в дистилляторе, переходя в жидкую фазу, по силиконовой трубке попадает в ёмкость отбора дистиллята *9*.

Производительность дистиллятора (дистиллят крепостью по спирту ~40%) составляет 1,4 л/ч, расход охлаждающей воды – 30 л/ч, мощность ТЭНа – 1 кВт.

При выполнении процесса экстрагирования установка работает следующим образом: загрузка измельченного сырья и экстрагента (возможно в подогретом виде) осуществляется вертикально через крышку экстрактора. Экстрагирование производится под вакуумом через паропровод 23. Для более быстрого и активного разрушения внутриклеточных тканей растительного или животного сырья в экстракторе предусмотрено использование ультразвука. Это приводит к интенсификации процесса экстрагирования и даёт возможность увеличить содержание биологически активных веществ (БАВ) в растворе.

Интенсификация экстрагирования с помощью ультразвука позволяет: - увеличить скорость обтекания по поверхности экстрактора; ускорить пропитку твердого тела жидкостью; увеличить коэффициент внутренней диффузии.

При выделении из сырья экстракта возможно его дальнейшее упаривание с последующей дистилляцией. Для этого паропровод *23* перекрывается вентилем *22*, открывается вентиль *19*, происходит подогревание сырья в испарителе *2* до температуры испарения выпариваемой жидкости под вакуумом. Жидкость из экстрактора непрерывно в малом количестве подается в испаритель *2* на конусообразный нагреватель *3* со спиралевидными желобками,

позволяющими жидкости сразу не стекать вниз ёмкости, а двигаясь по контуру, полностью испариться.

Пар по паропроводу *4* (вентиль *7* закрыт) поступает в дистиллятор *6*, охлаждаясь, конденсируется и в виде капелек жидкости поступает в ёмкость отбора дистиллята *9*. В установке может быть использовано несколько дистилляторов для разделения паров жидкости на чистые фракции (компоненты).

При выполнении процесса простого выпаривания из первоначального раствора жидкости, установка задействована по контуру: испаритель *2* соединен паропроводом *4* с вентилем *7* (вентили *5, 10, 19* и *22* закрыты), пары от испаряемой жидкости через паропровод *8* откачиваются ЖВН *12*.

Расчёт параметров разработанного оборудования производится по существующим методикам с учётом физико-биологических особенностей растительных материалов, в большом количестве перерабатываемых в Тамбовской области. Для массового внедрения оборудования необходимо разрабатывать универсальные установки различной производительности.

Основным оборудованием, позволяющим соблюдать режимы переработки и существенно влияющим на общее энергопотребление, является вакуумный насос. Здесь неоспоримое преимущество имеют ЖВН [7]. Однако универсальность в создании режимов выделяет на первый план использование двухступенчатых ЖВН с последовательным включением ступеней [8].

Двухступенчатый ЖВН (рисунок 2) состоит из двух разделённых корпусов первой *1* и второй *2* ступеней, соединенных патрубком *3*, в которых установлены с эксцентриситетом колёса *4* и *5*. Вал *6* первой ступени проходит через полый вал *7* второй ступени и связан с ним передачей в виде двухдискового лобового вариатора, состоящего из дисков *8, 9* и промежуточного ролика *10*. Для смены направления вращения полого вала предназначена цепная передача *11*. Патрубок *3* снабжен тройником *12*, в котором расположена электромагнитная заслонка *13*. Передача дополнительно имеет электромагнитную муфту *14* и размещённый на входе в первую ступень пневмоэлектрический датчик *15*. Механизм регулирования *16*, предназначенный для изменения передаточного отношения двухдискового лобового вариатора, состоит из корпуса подшипников промежуточного ролика и с размещённом на нём пазов и винтов. Лобовой вариатор, цепная передача, электромагнитная муфта и механизм регулирования расположены в корпусе передачи.

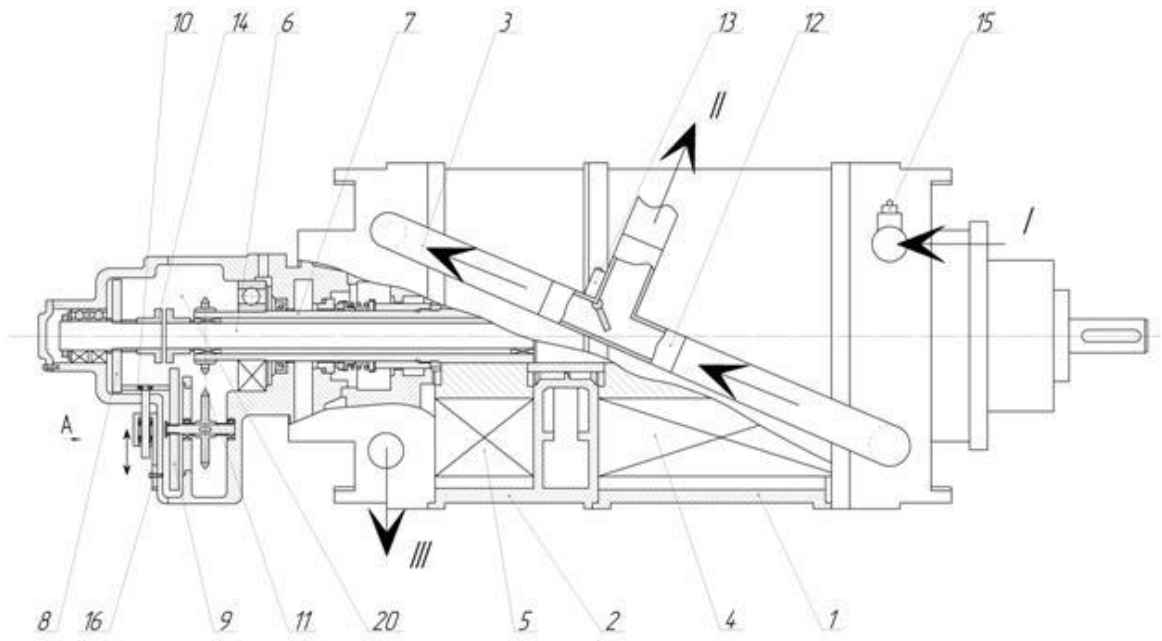


Рисунок 2 – Двухступенчатый жидкостнокольцевой вакуумный насос с последовательным включением ступеней

Рассматриваемая конструкция насоса позволяет регулировать частоту вращения второй ступени относительно первой. Регулировка осуществляется за счёт перемещения корпуса подшипников промежуточного ролика относительно корпуса передачи, изменяя передаточное отношение вариатора в пределах 1,15–1,35.

При работе насоса на первой ступени (начальный момент вакуумирования) электромагнитная муфта разомкнута, и заслонка находится в положении, обеспечивающим выход газовой фазы в атмосферу, что позволяет снизить энергозатраты, расходуемые на работу второй ступени и преодолеть силы сопротивления движению газовой фазы через весь патрубок.

По достижении заданного значения вакуума, с точки зрения энергозатрат, при работе первой ступени сигнал пневмоэлектрического датчика включает в работу вторую ступень. Что приводит к достижению предельного вакуума для двухступенчатого жидкостнокольцевого вакуумного насоса.

Рассматриваемый ЖВН экономичен на начальных режимах, и на всех последующих за счёт изменения частоты вращения второй ступени. Имеется возможность работы только на одной ступени, когда не требуется глубокого вакуума [9]. ЖВН создаёт низкий вакуум в пределах 10-2 кПа, что позволяет производить переработку растительной продукции при температурах кипения 30-45 °С.

При работе на начальных режимах, то есть при давлении всасывания меньшем давления включения $p_1 < p_{вкл}$, действительная быстрота действия (производительность) определяется по формуле [10]:

$$S_д = S_1 = S_{т1} \cdot \lambda_{п1}, \text{ м}^3/\text{с}$$

где S_1 – быстрота действия насоса первой ступени, м^3/с;$S_{т1}$ – теоретическая быстрота действия насоса первой ступени, м^3/с; $\lambda_{п1}$ – коэффициент подачи при работе насоса на первой ступени.

При работе ЖВН после включения второй ступени, то есть при $p_1 > p_{вкл}$ действительная быстрота действия определяется по формуле:

$$S_{д} = S_{1} \cdot \lambda_{п2}, \text{ м}^3/\text{с}$$

где $\lambda_{п2}$ – коэффициент подачи при работе насоса на второй ступени.

Для предложенной универсальной установки быстрота действия насоса определяется по объёму экстрактора и значению импульса, а также объёму выпаривателя без включения процесса дистилляции

$$S = \frac{V_{а\,э}}{t} \lg \frac{p_1}{p},$$

где $V_{а\,э}$ – объём экстрактора, м^3; t – интервал времени откачки газа, с; p_1 и p - значения давления, разделенные интервалом времени t, Па.

Дальнейшее совершенствование установок для процессов экстрагирования, выпаривания и дистилляции должно быть направлено на: совершенствование методик расчёта и проектирования установок с использованием вакуума; создание двухступенчатого ЖВН с регулируемым нагнетательным окном второй ступени для расширения диапазона по значению остаточного давления; применение новых устройств и методов (способов) нагрева жидкости для снижения времени выпаривания; интенсификация процесса экстрагирования за счёт ультразвукового воздействия на среды.

Выводы.

1. Разработана универсальная вакуумная экстрактно-выпарная установка, позволяющая совместить процессы выпаривания, экстрагирования и дистилляции в одной конструкции, что приводит к снижению затрат времени на обработку растительного сырья, а также её общую стоимость. Удобство использования и относительно небольшие габариты установки позволят применять её на малых предприятиях АПК.

2. Для процессов выпаривания, экстрагирования и дистилляции обосновано применение ЖВН. Конструкция ЖВН позволяет экономить до 15 % электроэнергии на всех режимах вакуумирования.

Список литературы

1. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России на период до 2020 года / В. И. Фисинин и др. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 80 с.

2. Горбунова, Е. В. Технологические особенности комплексной переработки целых растений фенхеля обыкновенного / Е. В. Горбунова // Техника и технологии пищевых производств. № 3. 2013. С. 9-15.

3. Кульнева, Н. Г. Инновационная технология подготовки свекловичной стружки к экстрагированию сахарозы / Н.Г. Кульнева и др. // Материалы Международной научно-технической конференции «Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение». Воронежский государственный университет инженерных технологий. 2014. С 191-195.

4. Остриков, А. Н. Исследование кинетики процесса вакуум-выпаривания поликомпонентных фруктовых пюре / А. Н. Остриков, Д. А. Синюков // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. 2011. № 1 (26). С. 131-135.

5. Емельянов, А. А. Установка для концентрирования и сушки жидких пищевых продуктов в вакууме / А.А. Емельянов, В.В. Долженков, К.А. Емельянов // Известия вузов. Пищевая технология, № 4, 2009. С. 84-87.

6. Шишацкий, Ю. И. Перспективные типы экстракционных аппаратов для системы «твердое тело – жидкость» (аспекты теории и анализ конструкций) / Ю. И. Шишацкий, Е. И.

Мельникова, С. Ю. Плюха, Е. В. Кузьмин, С. С. Иванов, М. А. Самойлова // Университет им. В.И. Вернадского. №2(40). 2012. С. 339-351.

7. Иванова, Е. П. Вакуумная техника и технологии в производстве продуктов питания функционального назначения / Е.П. Иванова, Ю.В. Родионов, И.В. Иванова // Инновационные технологии в производстве функциональных продуктов питания: материалы Всерос. науч.-практ. конф., 16-18 декабря 2014 г. – Мичуринск, 2014. – С. 76-82.

8. Пат. 2551449 Российская Федерация, МПК F04C7/00, F04C19/00. Двухступенчатая жидкостно-кольцевая машина / Гуськов А.А., Никитин Д.В., Платицин П.С., Родионов Ю.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Тамб. ГТУ». – № 2014127083/06; заявл. 02.07.2014; опубл. 27.05.2015, Бюл. № 15. – 6 с.: 2 ил.

9. Воробьев, В.Б. Энергоэффективность двухступенчатой сушки растительного сырья / В.Б. Воробьев, А.М. Климов, Ю.В. Родионов, В.А. Преображенский, Д.В. Скворцов // Вопр. соврем. науки и практики. Ун-т им. В.И. Вернадского. – 2011. № 3. С. 361-365.

10. Родионов, Ю. В. Особенности расчета двухступенчатого жидкостнокольцевого вакуум-насоса модульного типа с последовательным включением ступеней / Ю.В. Родионов, Д.В. Никитин, В.А. Преображенский, А.С. Зорин, А.А. Баранов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2012. – Т. 18, № 3. – С. 696-702.

References

1. Strategija mashinno-tehnologicheskoj modernizacii sel'skogo hozjajstva Rossii na period do 2020 goda / V. I. Fisinin i dr. – M.: FGNU «Rosinformagroteh», 2009. – 80 s.

2. Gorbunova, E. V. Tehnologicheskie osobennosti kompleksnoj pererabotki celyh rastenij fenhelja obyknovennogo / E. V. Gorbunova // Tehnika i tehnologii pishhevyh proizvodstv. № 3. 2013. S. 9-15.

3. Kul'neva, N. G. Innovacionnaja tehnologija podgotovki sveklovichnoj struzhki k jekstragirovaniju saharozy / N.G. Kul'neva i dr. // Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoj konferencii «Prodovol'stvennaja bezopasnost': nauchnoe, kadrovoe i informacionnoe obespechenie». Voronezhskij gosudarstvennyj universitet inzhenernyh tehnologij. 2014. S 191-195.

4. Ostrikov, A. N. Issledovanie kinetiki processa vakuum-vyparivanija polikomponentnyh fruktovyh pjure / A. N. Ostrikov, D. A. Sinjukov // Vest-nik Severo-Kavkazskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. 2011. № 1 (26). S. 131-135.

5. Emel'janov, A. A. Ustanovka dlja koncentrirovanija i sushki zhidkih pishhevyh produktov v vakuume / A.A. Emel'janov, V.V. Dolzhenkov, K.A. Emel'janov // Izvestija vuzov. Pishhevaja tehnologija, № 4, 2009. S. 84-87.

6. Shishackij, Ju. I. Perspektivnye tipy jekstrakcionnyh apparatov dlja sistemy «tverdoe telo – zhidkost'» (aspekty teorii i analiz konstrukcij) / Ju. I. Shishackij, E. I. Mel'nikova, S. Ju. Pljuha, E. V. Kuz'min, S. S. Ivanov, M. A. Samojlova // Universitet im. V.I. Vernadskogo. №2(40). 2012. S. 339-351.

7. Ivanova, E. P. Vakuumnaja tehnika i tehnologii v proizvodstve produktov pitanija funkcional'nogo naznachenija / E.P. Ivanova, Ju.V. Rodionov, I.V. Ivanova // Innovacionnye tehnologii v proizvodstve funkcional'nyh produktov pitanija: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf., 16-18 dekabrja 2014 g. – Michurinsk, 2014. – S. 76-82.

8. Pat. 2551449 Rossijskaja Federacija, MPK F04C7/00, F04C19/00. Dvuh-stupenchataja zhidkostno-kol'cevaja mashina / Gus'kov A.A., Nikitin D.V., Platicin P.S., Rodionov Ju.V.; zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO «Tamb. GTU». – № 2014127083/06; zajavl. 02.07.2014; opubl. 27.05.2015, Bjul. № 15. – 6 s.: 2 il.

9. Vorob'ev, V.B. Jenergojeffektivnost' dvuhstupenchatoj sushki rastitel'nogo syr'ja / V.B. Vorob'ev, A.M. Klimov, Ju.V. Rodionov, V.A. Preobrazhenskij, D.V. Skvorcov // Vopr. sovrem. nauki i praktiki. Un-t im. V.I. Ver-nadskogo. – 2011. № 3. S. 361-365.

10. Rodionov, Ju. V. Osobennosti rascheta dvuhstupenchatogo zhidkostno-kol'cevogo vakuum-nasosa modul'nogo tipa s posledovatel'nym vkljucheniem stupenej / Ju.V. Rodionov, D.V. Nikitin, V.A. Preobrazhenskij, A.S. Zorin, A.A. Baranov // Vestn. Tamb. gos. tehn. un-ta. – 2012. – T. 18, № 3. – S. 696-702.

УДК: 631.171: 633.1

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Камбулов Сергей Иванович
доктор технических наук,
ФГБНУ «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства», Зерноград,
e-mail: kambulov.s@mail.ru
Рыков Виктор Борисович
доктор технических наук,
ФГБНУ «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства», Зерноград,
Камбулов Иван Аликанович
кандидат технических наук,
ФГБНУ «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства», Зерноград,
Ридный Сергей Дмитриевич
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», Ставрополь,
Колесник Валентина Владимировна
научный сотрудник,
ФГБНУ «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства», Зерноград,
Дёмина Елена Борисовна
научный сотрудник,
ФГБНУ «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства», Зерноград

Реферат. *Вопросы снижения себестоимости производимой продукции в условиях АПК являются злободневными и весьма актуальными. В связи с этим рассмотрена возможность и представлены результаты исследований возделывания озимой пшеницы с использованием различных видов ресурсосберегающих технологий, в том числе технологий No-till. Экспериментальные исследования проводили при недостаточном и неустойчивом увлажнении юга России в условиях стационара, расположенного на опытном поле ФГБНУ СКНИИМЭСХ. Возделывание озимой пшеницы исследовалось в системе четырехпольного*

севооборота с различными вариантами основной обработки почвы (поверхностная, мелкая, отвальная), включая варианты без обработки. В процессе исследований определялись следующие показатели: глубина снежного покрова, содержание продуктивной влаги в метровом слое, плотность почвы, продуктивность озимой пшеницы, экономические показатели. Установлено, что использование технологии No-till при возделывании озимой пшеницы способствует повышению глубины снежного покрова в 2 раза, увеличению содержания продуктивной влаги в метровом слое почвы на 17% (90 мм). Полное исключение воздействия почвообрабтывающих машин на поверхность почвы не приводит к уплотнению последней. Установлено, что озимая пшеница при возделывании по нулевой технологии имеет преимущества по урожайности 13,5%, количеству продуктивных стеблей 14,7% в сравнении с традиционными вариантами технологий. При этом отмечено снижение затрат труда на 11-21%, эксплуатационных затрат на 66-87%, расхода топлива на 97-142%. Себестоимость производства озимой пшеницы по технологии No-till на 31-38% ниже и составляет 212,8 руб./ц. Таким образом, использование нулевой технологии на возделывании озимой пшеницы является перспективной и конкурентоспособной.

Ключевые слова: *технология, обработка почвы, озимая пшеница, структура урожайности, расход топлива, затраты труда, эксплуатационные затраты, себестоимость.*

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF CULTIVATION OF WINTER WHEAT USING ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES

Kambulov Sergei Ivanovich
Full Doctor of Technical Sciences,
Federal state research institution of the North-Caucasian scientific research Institute of mechanization and electrification of agriculture, Zernograd,
Rykov Viktor Borisovich
Full Doctor of Technical Sciences,
Federal state research institution of the North-Caucasian scientific research Institute of mechanization and electrification of agriculture, Zernograd,
Kambulov Ivan Alikanovich
Candidate of Technical Sciences,
Federal state research institution of the North-Caucasian scientific research Institute of mechanization and electrification of agriculture, Zernograd
Ridnyi Sergey Dmitrievich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Stavropol State Agrarian University, Stavropol,
Kolesnik Valentina Vladimirovna
Researcher,
Federal state research institution of the North-Caucasian scientific research Institute of mechanization and electrification of agriculture
Demina Elena Borisovna
Researcher,
Federal state research institution of the North-Caucasian scientific research Institute of mechanization and electrification of agriculture, Zernograd

Abstract. *Questions to reduce the cost of products in agribusiness conditions are topical and highly relevant. In this regard, we consider the possibility and the results of winter wheat cultivation*

studies using different types of resource-saving technologies, including No-till technology. Experimental studies conducted in low and unstable moistening the south of Russia in the hospital, located in the experimental field FGBNU SKNIIMESKH. Cultivation of winter wheat was studied in the system of crop rotation chetyrehpolnogo with different variants of the basic soil cultivation (surface, shallow, moldboard), including options without treatment. During the study we determined the following parameters: the depth of the snow cover, the content of productive moisture in a meter layer of soil density, winter wheat productivity and economic performance. It was found that the use of No-till technology in the cultivation of winter wheat enhances the depth of the snow cover in 2 times increase in the content of productive moisture in a meter layer of soil to 17% (90 mm). Complete exclusion pochvoobrabtyvayuschih exposure machine on the soil surface does not lead to soil compaction. Complete exclusion pochvoobrabtyvayuschih exposure machine on the soil surface does not seal the latter. It is established that the cultivation of winter wheat at zero technology has advantages in terms of yield of 13,5%, the number of productive stems of 14,7% in comparison with traditional technology options. This was a reduction of labor costs for 11-21% of operating costs for 66-87% of fuel consumption at 97-142%. Cost of winter wheat production on No-till technology on 31-38% lower at 212,8 rubles/hundredweight. Thus, the use of zero technology of winter wheat cultivation is a challenging and competitive.

Keywords: *technology, tillage, winter wheat, structure productivity of land, fuel consumption, labor costs, operating cost, cost price.*

Введение. Стремление сельхозтоваропроизводителей в России получить наибольшую продуктивность при минимальной себестоимости приводит к использованию при возделывании полевых культур технологии No-till. Осваивать эту технологию начали на довольно больших площадях, однако из-за отсутствия должного научного обоснования многие сельхозпредприятия в ней разочаровались [1]. Между тем наиболее грамотные и настойчивые получили положительные [2], а в некоторых случаях и ошеломляющие результаты [3]. В связи с этим весьма актуальными является установление агротехнических, энергетических и экономических параметров при возделывании озимой пшеницы по различным технологиям, в том числе технологии No-till. Эта актуальность усиливается в условиях существующей в настоящее время тенденции внедрения энергосберегающих технологий, основой которой является снижение воздействия почвообрабатывающих орудий на почву. Необходимо отметить, что использование No-till вызывает интерес зарубом, где проводятся соответствующие исследования и достигнуты определенные результаты [4, 5].

Материалы и методы. Исследования выполнены в 2013-2015 годах в ФГБНУ СКНИИМЭСХ (г. Зерноград, Ростовская область, Россия) в условиях стационарного опыта площадью 4,3 га. Почвенный покров представлен черноземом обыкновенным с содержанием гумуса 3,2%. Среднегодовые значения по количеству осадков – 560-600 мм, температура воздуха 9,6°С, влажность воздуха – 56% [6].

На стационарном опыте представлены две технологии возделывания полевых культур: нулевая и традиционная при четырехпольном севообороте (озимая пшеница, горох, соя, яровой ячмень). Обработка почвы в системе традиционной технологии осуществлялась по трем вариантам: поверхностная – дисковой бороной (6-8 см), мелкая – комбинированным агрегатом (12-14 см), отвальная – плугом (18-20 см). Таким образом, рабочие органы используемых почвообрабатывающих машин обеспечивают разную степень крошения почвы [7, 8, 9].

Результаты и обсуждение. На рисунках 1 и 2 показаны результаты исследований по определению глубины снежного покрова и содержанию продуктивной влаги в метровом слое по фазам вегетации озимой пшеницы. Их анализ показывает, что технология No-till имеет преимущества по накоплению снега в 2 раза и, как следствие, увеличению на 17% (90 мм) содержания продуктивной влаги.

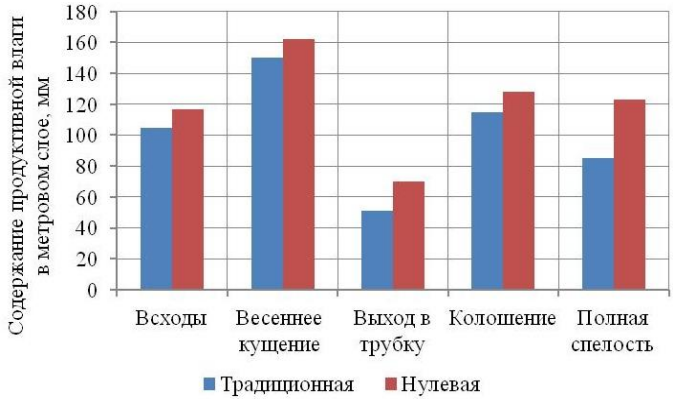


Рисунок 1 – Глубина снежного покрова

Рисунок 2 – Содержание продуктивной влаги в метровом слое

Полученные результаты оценки плотности почвы (рисунок 3) на вариантах, обработанных по традиционной и нулевой технологии, позволили установить, что величина плотности на всех технологиях одинакова и не превышает рекомендованного диапазона 1,1-1,3 г/см^3. Это свидетельствует о том, что плотность почвы не является ограничением применения технологии No-till.

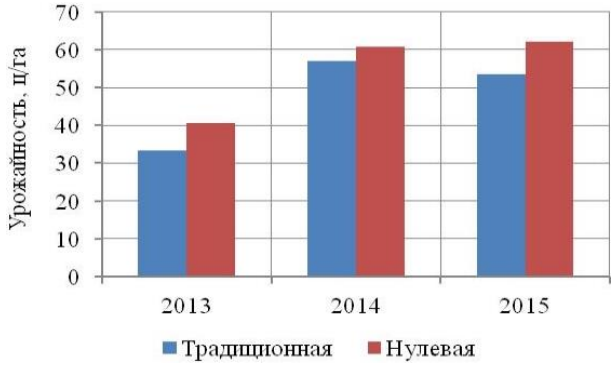


Рисунок 3 – Плотность почвы

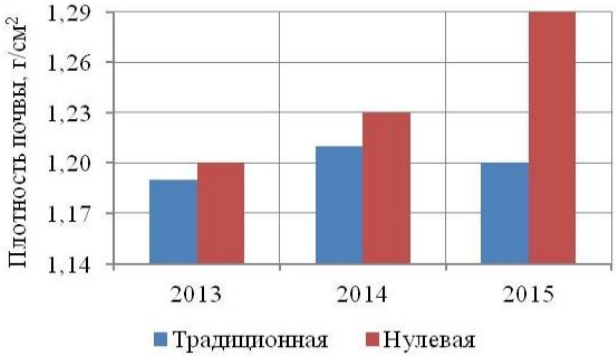


Рисунок 4 – Продуктивность озимой пшеницы

Анализ структуры урожая озимой пшеницы за период исследований (рисунок 4, 5, 6) говорит о преимуществе нулевой технологии по продуктивности на 8,6 ц/га (13,5%), количеству растений с одного квадратного метра на 5 шт./м^2 (7%), количеству продуктивных колосьев на 76 шт./м^2 (14,7%).

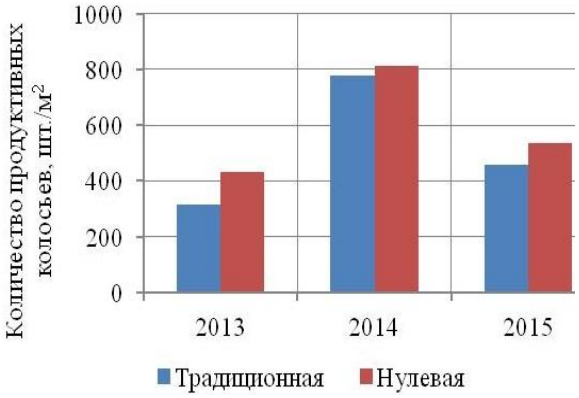


Рисунок 5 – Количество растений

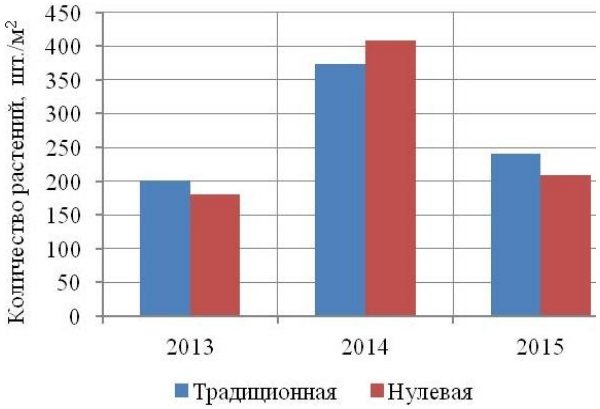


Рисунок 6 – Количество продуктивных колосьев

Если говорить об энергетических и экономических показателях изучаемых технологий возделывания озимой пшеницы, то в расчете на 1000 га применение No-till позволяет получить затраты труда 7213,6 чел./ч, эксплуатационные затраты – 5934,9 тыс. руб., расход топлива – 36,1 т, что ниже, соответственно, на 11-21, 66-87 и 97-142% по сравнению с традиционными вариантами технологий.

Анализ структуры затрат по видам работ показывает, что эти показатели на посеве, уходу за посевами и уборке практически одинаковы для всех рассматриваемых технологий. Основное отличие в затратах топлива, труда и материальных ресурсах определяется комплексом работ по основной обработке почвы.

Удельные экономические показатели изучаемых технологий приведены на рисунке 7. Они также как и интегральные указывают на значительное преимущество технологии возделывания озимой пшеницы без обработки почвы.

Очень важным является существенное снижение расхода топлива при использовании No-till. Этот показатель в разрезе технологии составил 36 кг/га.

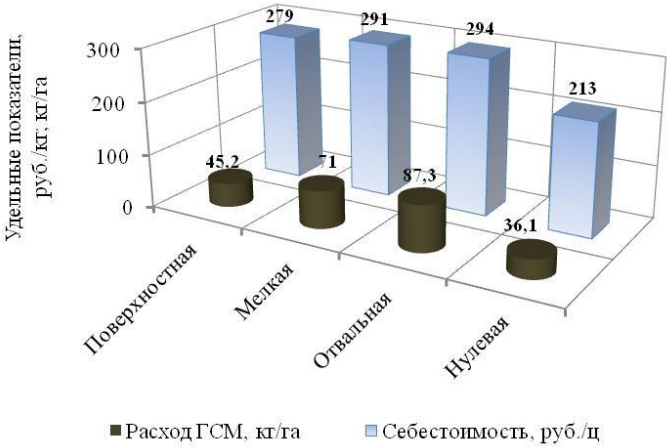


Рисунок 7 – Удельные экономические показатели изучаемых технологий

Себестоимость производства озимой пшеницы по технологии No-till на 31-38% ниже, в сравнении с другими технологиями и составляет 212,8 руб./ц.

Заключение. В связи с тем, что энергосберегающие технологии производства озимой пшеницы обеспечивают значительную экономию труда на 11-21%, материальных ресурсов на 66-87%, расхода топлива на 97-142% можно предположить, что даже при одинаковой или

несколько меньшей продуктивности озимой пшеницы экономические показатели этого производства будут высокими, что ставит технологии No-till в ряд перспективных и конкурентоспособных.

Список литературы

1. Дридигер, В.К. Методические подходы к изучению систем земледелия без обработки почвы / В.К. Дридигер // Земледелие. 2014. №7. С. 24-27.

2. Сафиулин, М. Десять лет прямого посева России // Ресурсосберегающее земледелие, 2011. №3(11). С.7-9.

3. Пименов, А. Добровольный No-till // Аграрный консультант, 2012. №2 (5). С. 8-11.

4. On-farm research in Western Siberia: Potential of adapted management practices for sustainable intensification of crop production systems / Insa Kühling, Dieter Trautz // Geophysical Research Abstracts Vol. 17, EGU2015-5949, 2015 (http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2015/EGU2015-5949.pdf)

5. Интеллигентное растениеводство. – AMAZONEN-Werke, H. Dreyer GmbH & Co. KG. – 2011. – 158 с.

6. Статистическая динамика природно-климатических факторов и урожайность зерновых колосовых культур / Рыков В.Б., Камбулов С.И., Камбулов И.А.// Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2013. №6. С. 22-24.

7. Янковский, Н.Г. Совершенствование основных элементов технологии возделывания озимой пшеницы / Н.Г. Янковский, А.В. Алабушев, Г.А. Жидков, С.И. Камбулов, А.А. Сухарев. – Ростов-на-Дону – 2011. – 174 с.

8. Рыков, В.Б. Особенности возделывания озимой пшеницы в условиях недостаточного увлажнения Ростовской области / В.Б. Рыков, С.И. Камбулов, И.А. Камбулов, В.И. Вялков, В.И. Таранин, Н.В. Шевченко, Н.Г. Янковский. – Зерноград, ВНИПТИМЭСХ. 2010. 171 с.

9. Рыков, В.Б. Организационно-технологический проект производства сильных и твердых (ценных) пшениц в условиях недостаточного увлажнения с использованием комплексов машин с адаптивными рабочими органами / В.Б. Рыков, С.И. Камбулов, И.А. Камбулов, В.И. Вялков, Н.В. Шевченко, В.И. Таранин. – Зерноград, ВНИПТИМЭСХ. 2010. 147 с.

Reference

1. Dridiger, V.K. Methodological approaches to the study of farming systems without soil treatment / V.K. Dridiger // Agriculture. 2014. №7. S. 24-27.

2. Safiulin, M. Ten years of direct seeding Russia // resource-saving-present agriculture, 2011. №3 (11). S.7-9.

3. Pimenov, A. Voluntary No-till // Agricultural consultant, 2012. - №2 (5). - S. 8-11.

4. On-farm research in Western Siberia: Potential of adapted management practices for sustainable intensification of crop production systems / Insa Kühling, Dieter Trautz // Geophysical Research Abstracts Vol. 17, EGU2015-5949, 2015 (http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2015/EGU2015-5949.pdf)

5. Intelligent crop. – AMAZONEN-Werke, H. Dreyer GmbH & Co. KG. 2011. 158 p.

6. Statistical dynamics of climatic factors and uro-zhaynost cereal crops / Rykov V.B., Kambulov S.I. Kambulov I.A. // Mechanization and electrification of agriculture. 2013. №6. S. 22-24.

7. Jankowski, N.G. Improving basic elements of technology of cultivation of winter wheat / N.G. Yankovsky, A.V. Alabushev, G.A. Zhidkov, S.I. Kambulov, A.A. Sukharev. - Rostov-on-Don 2011. 174 p.

8. Rykov, V.B. Features of cultivation of winter wheat in the conditions of insufficient moisture Rostov Region / V.B. Rykov, S.I. Kambulov, I.A. Kambulov, V.I. Vyalkov, V.I. Taranin, N.V. Shevchenko, N.G. Jankowski. - Zernograd, VNIPTIMESKH. 2010. 171 p.

9. Rykov, V.B. Organizational and technological project of production of strong and solid (securities) of wheat in the conditions of insufficient moisture using complex machines with adaptive working bodies / V.B. Rykov, S.I. Kambulov, I.A. Kambulov, V.I. Vyalkov, N.V. Shevchenko, V.I. Taranin. - Zernograd, VNIPTIMESKH. 2010. 147 p.

УДК 612.31

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И ФРАКТАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЛЬСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Кобелев Александр Викторович,
кандидат технических наук,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
Тамбов, e-mail: kobelev77@rambler.ru
Кочергин Сергей Валерьевич,
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
Тамбов, e-mail: skochergin77@gmail.com
Федосова Екатерина Олеговна,
магистрант
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
Тамбов, e-mail: katerin-fedosov@yandex.ru

Реферат. *Известно, что особенностью сельских распределительных электрических сетей (РЭС) является рассредоточенность нагрузки на большой территории. Режим работы нагрузки имеет нелинейный характер, а электрическая сеть представляет собой детерминированную систему. Динамика подобных систем не поддается описанию в терминах классических колебательных систем. Для решения вопроса моделирования проведен анализ использования нейронных моделей для моделирования сельских (РЭС) и выявлены недостатки их применения. Установлено, что альтернативой нейронным моделям являются эвристически продуктивные модели, создаваемые при использовании фрактальных методов исследования. Такие модели способны обнаруживать и имитировать не только линейные, но и не линейные эффекты, возникающие в результате краткого и (или) долгосрочного взаимодействия ряда фракталов. Ранее доказано, что область устойчивости (существования режима) электроэнергетических систем в пространстве нерегулируемых параметров имеет ярко выраженный фрактальный характер. Для подтверждения этого рассматриваются уравнения установившегося режима электроэнергетической системы в полярных координатах узловых напряжений. Решение уравнений осуществляется с помощью матриц Якоби и программного пакета MATHCAD. Приводится графическая интерпретация результатов расчета, согласно которой ясно виден фрактальный самоподобный характер*

области устойчивости в пространстве параметров. Показано, что области устойчивости электроэнергетических систем имеют в полярных координатах фрактальную структуру и при их изучении и анализе можно использовать методы и алгоритмы теории фракталов. Сравнительный анализ методов, основанных на применении нейронных сетей и фрактальной геометрии, позволяет сделать вывод о целесообразности совместного использования нейронных сетей и фрактальной геометрии для моделирования сельских (РЭС).

Ключевые слова: *моделирование электрических сетей; нейронные сети; сельские распределительные электрические сети; фрактальное моделирование.*

USING NEURAL NETWORKS AND FRACTAL MODELING FOR RESEARCH OF RURAL ELECTRICITY DISTRIBUTION NETWORKS

Kobelev Alexander,
candidate of technical Sciences,
Tambov State Technical University, Tambov;
Kochergin Sergey,
Candidate of technical Sciences, associate professor,
Tambov State Technical University, Tambov;
Fedosova Ekaterina,
magistracy,
Tambov State Technical University, Tambov

Abstract. *It is known that the feature of rural power distribution networks (PDN) is a dispersion of the load over a large area. Load operating regime has a non-linear type and power network is a determined system. Dynamics of such systems cannot be described in terms of classical vibrating systems. The analysis of neural models for simulating rural PDN is done and the disadvantages of the former are considered. It was found that the alternative to neural models are heuristically productive models created when used fractal methods. Such models can find and simulate not only linear but also non-linear effects caused by a short- or a long-term interaction of several fractals. It was proved earlier that stability area of power supply systems in the space of uncontrolled parameters has a strongly marked fractal character. Equations of steady-state mode of the power supply system in polar coordinates of node voltage are considered in this regard. The equations are solved on the base of the Jacobian matrix with the help of MATHCAD software. The graphic interpretation of the calculation results is provided. It proves the fractal self-similar character of stability area in the space of parameters. It is shown that the stability areas of power supply systems have a fractal structure in polar coordinates and methods and algorithms of fractal theory can be used for their analysis. The comparative analysis of methods based on neural models and fractal geometry allows to make a conclusion about the practicality of using both neural networks and fractal geometry for simulating rural PDN.*

Key words: *modeling of electrical networks, neural networks, Rural electricity distribution networks, fractal modeling*

Современное сельскохозяйственное производство невозможно без качественного электроснабжения [1,2] Сельские распределительные электрические сети представляют собой разветвленную структуру с рассредоточенной нагрузкой. Режим работы нагрузки имеет в нелинейный характер. Известно, что динамика подобных систем не поддается описанию в

терминах классических колебательных систем. Для адекватного описания таких систем необходимо использование специальных методов [3 - 6].

Одним из таких методов являются искусственные нейронные сети. Искусственные нейронные сети, они же коннекционистские или связевые системы представляют собой устройства, использующие огромное число элементарных условных рефлексов, называемых по имени канадского физиолога синапсами Хебба. Такой синапс, как основу возможных механизмов памяти и поведения, Д. Хебб описал теоретически в 1949 году. Уже сейчас искусственные нейронные сети применяются для решения очень многих задач обработки изображений, управления роботами и непрерывными производствами, для понимания и синтеза речи, для диагностики заболеваний людей и технических неполадок в машинах и приборах, для предсказания курсов валют и результатов скачек [7]. Модель нейронной сети может быть разделена на три типа [8]:

1) сети прямого распространения (backpropagation): одна из наиболее распространенных архитектур, в основном используется в таких областях, как прогнозирование и распознавание образов;

2) сети с обратной связью: такие, как дискретная модель Хопфилда, в основном используется для оптимизации вычислений и ассоциативной памяти;

3) самоорганизующиеся сети: включают модели адаптивной резонансной теории (ART) и модели Кохонена, в основном используется для кластерного анализа.

Нейронные сети вошли в практику везде, где нужно решать задачи прогнозирования, классификации или управления. Их успех определяется несколькими причинами:

- богатые возможности. Нейронные сети - исключительно мощный метод моделирования, позволяющий воспроизводить чрезвычайно сложные зависимости, справляться с «проклятием размерности», которое не позволяет моделировать линейные зависимости в случае большого числа переменных.

- простота в использовании. Нейронные сети учатся на примерах. Пользователь нейронной сети подбирает представительные данные, а затем запускает алгоритм обучения, который автоматически воспринимает структуру данных. При этом от пользователя, конечно, требуется какой-то набор эвристических знаний о том, как следует отбирать и подготавливать данные, выбирать нужную архитектуру сети и интерпретировать результаты, однако уровень знаний, необходимый для успешного применения нейронных сетей, гораздо скромнее, чем, например, при использовании традиционных методов статистики. [9, 10]

Прогнозирование на нейронных сетях обладает рядом недостатков. Как правило, необходимо около 100 наблюдений для создания приемлемой модели, не всегда такое количество исторических данных доступно. Однако возможно построение удовлетворительной модели на нейронных сетях даже в условиях нехватки данных, модель может уточняться по мере того, как свежие данные становится доступными. Другим недостатком нейронных моделей – значительные затраты по времени и другим ресурсам для построения удовлетворительной модели, известно, что обучение сети может занимать довольно много времени.

Однако, несмотря на перечисленные недостатки, модель обладает рядом достоинств. Существует удобный способ модифицировать модель по мере того как появляются новые наблюдения. [9, 10]

Распределение электрической энергии в разветвленных электрических системах связано с топологической размерностью сетей, которая имеет фрактальный характер. Понятие

размерности топологии сети, основанное на концепции фракталов, является мощным математическим инструментом для количественного сравнения, анализа и синтеза различных топологий сетей. Например, задача построения электрических подстанций различного уровня напряжений, обеспечивающих надежность распределения электрической энергии, может быть решена как задача синтеза соответствующей топологии сети нужной фрактальной размерности.

Фрактальная геометрия позволяет создавать эвристически продуктивные модели, способные обнаруживать и имитировать не только линейные, но и не линейные эффекты, возникающие в результате краткого и (или) долгосрочного взаимодействия ряда фракталов: нарушение соразмерности причин и следствий, «спонтанная» активность или, напротив, «чрезмерная» инертность изучаемой системы, способность к самоструктурированию или к взрывообразному разрушению во время фазового перехода. Фрактальная модель – это машина гипотез. [11]. Фрактал – это бесконечно самоподобная геометрическая фигура, каждый фрагмент которой повторяется при уменьшении масштаба. В этом смысле электросетевая структура напоминает фрактальную конструкцию.

Область устойчивости (существования режима) электроэнергетических систем (ЭЭС) в пространстве нерегулируемых параметров X имеет ярко выраженный фрактальный характер. Данное свойство можно показать на примере схем ЭЭС простой структуры (рис. 1.).

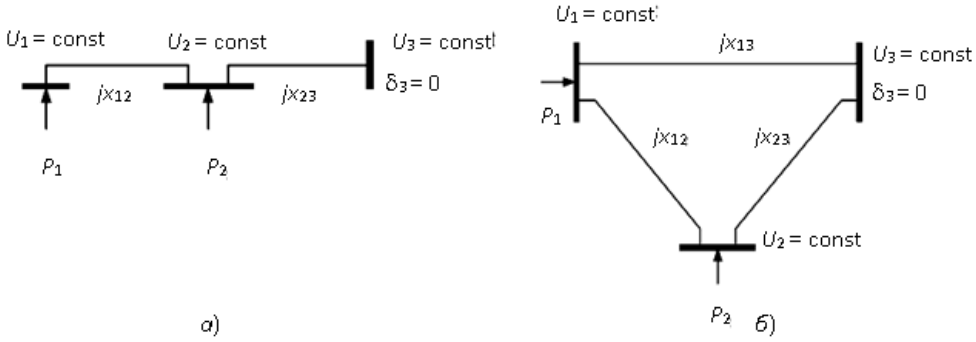


Рисунок 1 - Схемы ЭЭС

Уравнения установившегося режима в полярных координатах узловых напряжений могут быть записаны в следующем виде:

$$f_i(X) = P_i - U_i^2 \sum_{\substack{k=0 \\ i \neq k}}^{n} y_{ik} \sin \alpha_{ik} - U_i \sum_{\substack{k=0 \\ i \neq k}}^{n} U_k y_{ik} \sin(\delta_i - \delta_k - \alpha_{ik}); \quad i = \overline{1 \ldots n},$$

где $X = [\delta_1 \delta_2 \ldots \delta_n]^T$; $\alpha_{ik} = \alpha_{ki} = \operatorname{arctg} \dfrac{g_{ik}}{b_{ik}}$; $y_{ik} = \sqrt{g_{ik}^2 + b_{ik}^2}$; $g_{ik} = \dfrac{R_{ik}}{R_{ik}^2 + X_{ik}^2}$; $b_{ik} = \dfrac{X_{ik}}{R_{ik}^2 + X_{ik}^2}$.

Полагая для простоты, что $x_{23} = x_{12} = 1$ и $U_1 = U_2 = U_3 = 1$, для схемы, приведенной на рис. 1. *а*, можно записать

$$\left.\begin{aligned} f_1(\delta_1, \delta_2) &= P_1 - U_1 U_2 y_{12} \sin(\delta_1 - \delta_2) = P_1 - \sin(\delta_1 - \delta_2); \\ f_2(\delta_1, \delta_2) &= P_2 - U_1 U_2 y_{12} \sin(\delta_2 - \delta_1) - U_2 U_3 y_{23} \sin \delta_2 = P_1 - \sin(\delta_2 - \delta_1) - \sin \delta_2 \end{aligned}\right\}.$$

Матрица Якоби последней системы может быть представлена так [10]:

$$\frac{\partial F}{\partial X} = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial f_1}{\partial \delta_1} & \dfrac{\partial f_1}{\partial \delta_2} \\ \dfrac{\partial f_2}{\partial \delta_1} & \dfrac{\partial f_2}{\partial \delta_2} \end{bmatrix},$$

где $\frac{\partial f_1}{\partial \delta_1} = -\cos(\delta_1 - \delta_2)$; $\frac{\partial f_1}{\partial \delta_2} = \cos(\delta_1 - \delta_2)$; $\frac{\partial f_2}{\partial \delta_1} = \cos(\delta_1 - \delta_2)$; $\frac{\partial f_2}{\partial \delta_2} = \cos(\delta_1 - \delta_2) - \cos\delta_2$.

Тогда, после несложных преобразований для якобиана, можно записать следующее выражение:

$$\det\frac{\partial F}{\partial X} = \cos(\delta_1 - \delta_2)\cos\delta_2. \quad (1)$$

Функция (1) протабулирована с помощью программного пакета MATHCAD [10]. Результаты расчетов представлены на рисунке 2.

Из рисунков ясно виден фрактальный самоподобный характер области устойчивости (существования режима) в пространстве параметров $X = [\delta_1\ \delta_2]^T$.

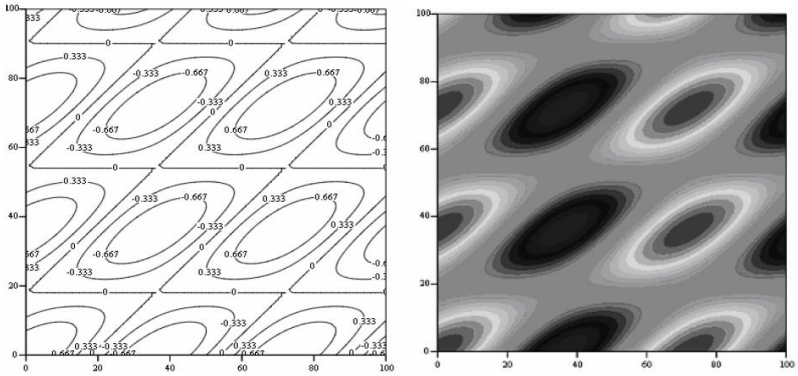


Рисунок 2 - Области устойчивости для схемы ЭЭС, приведенной на рис. 1, *а*

Для схемы ЭЭС, представленной на рис. 1, *б*, при условии, что $x_{23} = x_{12} = = x_{13} = 1$ и $U_1 = U_2 = U_3 = 1$, могут быть записаны следующие уравнения [9]:

$$\left.\begin{aligned} f_1(\delta_1,\delta_2) &= P_1 - \sin(\delta_1 - \delta_2) - \sin\delta_1; \\ f_2(\delta_1,\delta_2) &= P_2 + \sin(\delta_1 - \delta_2) - \sin\delta_2 \end{aligned}\right\}.$$

Матрица Якоби этой системы может быть представлена так

$$\frac{\partial F}{\partial X} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial \delta_1} & \frac{\partial f_1}{\partial \delta_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial \delta_1} & \frac{\partial f_2}{\partial \delta_2} \end{bmatrix},$$

где $\frac{\partial f_1}{\partial \delta_1} = -\cos(\delta_1 - \delta_2) - \cos\delta_1$; $\frac{\partial f_1}{\partial \delta_2} = \cos(\delta_1 - \delta_2)$; $\frac{\partial f_2}{\partial \delta_1} = \cos(\delta_1 - \delta_2)$;

$\frac{\partial f_2}{\partial \delta_2} = -\cos(\delta_1 - \delta_2) - \cos\delta_2$.

Якобиан может быть записан в виде [10]:

$$\det\frac{\partial F}{\partial X} = \cos(\delta_1 - \delta_2)(\cos\delta_1 + \cos\delta_2) + \cos\delta_1\cos\delta_2$$

Результаты расчетов, выполненные с помощью пакета MATHCAD, представлены на рисунке 3. Из рисунков также ясно виден фрактальный самоподобный характер области устойчивости (существования режима) в пространстве параметров $X = [\delta_1\ \delta_2]^T$.

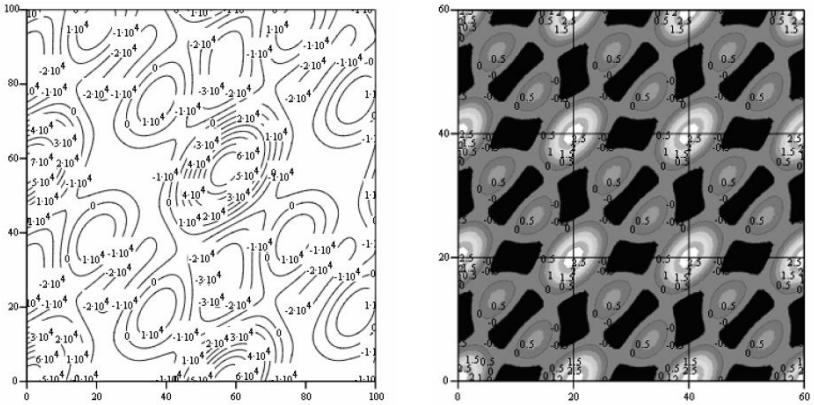


Рисунок 3 - Области устойчивости для схемы ЭЭС, приведенной на рисунке 1, *б*

Фрактальный характер областей устойчивости может быть объяснен тем, что при использовании полярных координат узловых напряжений якобиан уравнение устойчивости существования режима (УУР) ЭЭС является периодической функцией независимых переменных X (рисунок 4).

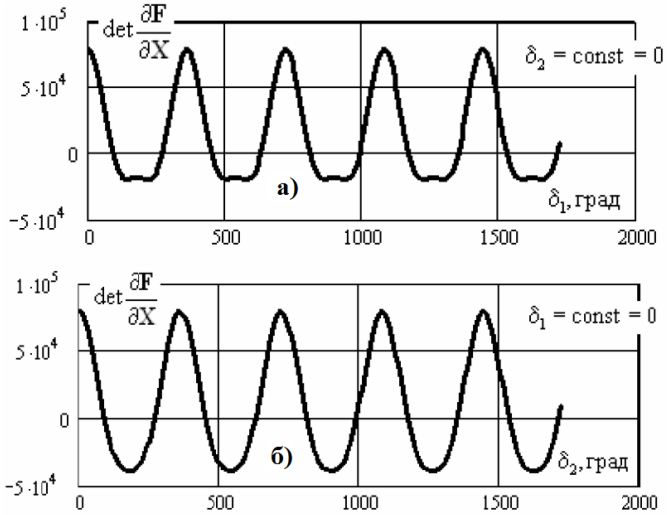


Рисунок 4 - Периодический характер функции $\det \frac{\partial F}{\partial X} = f(\delta_1 \delta_2)$

Заключение. Таким образом, области устойчивости ЭЭС имеют в полярных координатах фрактальную структуру и при их изучении и анализе можно использовать методы и алгоритмы теории фракталов.

Использование методов фрактального моделирования в электроэнергетике имеет большую перспективу, о чем свидетельствует рост публикаций в мировой печати.

Искусственные нейронные сети, возможно, являются лучшим аппроксиматором. Однако в общем случае квадратичного функционала ошибок и конечной обучающей выборки задача аппроксимации не является корректной. Поэтому выбор варианта, претендующего на роль реального из множества альтернативных равновозможных решений, всегда является делом весьма интимным даже при наличии хорошего регуляризатора. [12]. В ряде случаев, в зависимости от топологии сети, целесообразно совместное использование нейронных сетей и фрактального моделирования.

Список литературы

1. Шувалов, А.М. Совершенствование структурной схемы системы энергоснабжения сельскохозяйственных производств [Текст] / А.М. Шувалов, К.А. Набатов, Д.Ю. Хохлов, А.Н. Машков // Сборник научных трудов по материалам XXXIX Международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава. – ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА. – 2016. – С. 46-50.

2. Набатов, К.А. Совершенствование защиты электрических цепей в системе энергообеспечения сельхозпредприятий [Текст] / К.А. Набатов, Д.Ю. Хохлов, А.Н. Машков, А.В. Баранов // Наука в центральной России. – 2016. – № 2 (20). – С. 43-50.

3. Кочергин С.В., Кобелев А.В., Хребтов Н.А. Актуальные вопросы моделирования развития электроэнергетических систем // Бюллетень центра фрактального моделирования // Научно-теоретический и прикладной журнал Тамбов. 2011. № 2.

4. Сапцин В.М. О концепции дискретного времени в моделях экономических систем URL: http://discrete.finecrosser.ru (дата обращения: 21.12.2016).

5. Горбань А.Н., Дунин-Барковский В.Л., Кирдин А.Н. и др. Нейроинформатика. Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН. 1998. 296 с.

6. Xianjun Ni Research of Data Mining Based on Neural Networks // World Academy of Science, Engineering and Technology. 2008. № 39. P. 381-384.

7. Тарасенко Р.А., Сидоркин К.В., Костюхин М.Н. Прогнозирование на основе аппарата нейронных сетей URL: www.anriintern.com: (дата обращения: 21.12.2016).

8. URL: http://masters.donntu.edu.ua/ (дата обращения: 21.12.2016).

9. Жуков Д.С., Конищев В.В., Лямин С.К. Фрактальное моделирование историко-демографических процессов: монография. М.: Internum ; Тамбо : Издательский дом ТГУ им. Г.Р. Державина. 2011. 195 с.

10. Закарюкин В.П., Крюков А.В., Крюков Е.А. Моделирование предельных режимов электроэнергетических систем с учетом продольной и поперечной несимметрии. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2006. 139 с.

11. Макаренко Н.Г. Стохастическая динамика, марковские модели и прогноз // IX Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика–2007»: Лекции по нейроинформатике. Ч. 1. М.: МИФИ. 2007. 178 с.

References

1. Shuvalov, A.M. Sovershenstvovanie strukturnoj shemy sistemy jenergosnabzhenija sel'skohozjajstvennyh proizvodstv [Tekst] / A.M. Shuvalov, K.A. Nabatov, D.Ju. Hohlov, A.N. Mashkov // Sbornik nauchnyh trudov po materialam XXXIH Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii professorsko-prepodavatel'skogo sostava. – FGBOU VO Jaro-slavskaja GSHA. 2016. S. 46-50.

2. Nabatov, K.A. Sovershenstvovanie zashhity jelektricheskih cepej v sisteme jenergo-obespechenija sel'hozpredprijatij [Tekst] / K.A. Nabatov, D.Ju. Hohlov, A.N. Mashkov, A.V. Baranov // Nauka v central'noj Rossii. 2016. № 2 (20).– S. 43-50.

3. Kochergin S.V., Kobelev A.V., Hrebtov N.A. Aktual'nye voprosy modelirovanija raz-vitija jelektrojenergeticheskih sistem // Bjulleten' centra fraktal'nogo modelirovanija // Nauchno-teoreticheskij i prikladnoj zhurnal Tambov. 2011. № 2.

4. Sapcin V.M. O koncepcii diskretnogo vremeni v modeljah jekonomicheskih sistem URL: http://discrete.finecrosser.ru (data obrashhenija: 21.12.2016).

5. Gorban' A.N., Dunin-Barkovskij V.L., Kirdin A.N. i dr. Nejroinformatika. Novo-sibirsk : Nauka. Sibirskoe predprijatie RAN. 1998. 296 s.

6. Xianjun Ni Research of Data Mining Based on Neural Networks // World Academy of Science, Engineering and Technology. 2008. № 39. P. 381-384.

7. Tarasenko R.A., Sidorkin K.V., Kostjuhin M.N. Prognozirovanie na osnove apparata nejronnyh setej URL: www.anriintern.com: (data obrashhenija: 21.12.2016).

8. URL: http://masters.donntu.edu.ua/ (data obrashhenija: 21.12.2016).

9. Zhukov D.S., Konishhev V.V., Ljamin S.K. Fraktal'noe modelirovanie istoriko-demograficheskih processov : monografija. M. : Internum ; Tambo : Izdatel'skij dom TGU im. G.R. Derzhavina. 2011. 195 s.

10. Zakarjukin V.P., Krjukov A.V., Krjukov E.A. Modelirovanie predel'nyh rezhimov jelektrojenergeticheskih sistem s uchetom prodol'noj i poperechnoj nesimmetrii. Irkutsk : ISJeM SO RAN. 2006. 139 s.

11. Makarenko N.G. Stohasticheskaja dinamika, markovskie modeli i prognoz // IX Vserossijskaja nauchno-tehnicheskaja konferencija «Nejroinformatika–2007» : Lekcii po nejroinformatike. Ch. 1. M. : MIFI. 2007. 178 s.9. Makarenko N.G. Stohasticheskaja dinamika, markovskie modeli i prognoz // IX Vserossijskaja nauchno-tehnicheskaja konferencija «Nejroinformatika–2007» : Lekcii po nejroinformatike. Ch. 1. M. : MIFI. 2007. 178 s.

УДК 662.636

БИОТОПЛИВО ИЗ НЕТРАДИЦИОННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ

Нагорнов Станислав Александрович,
доктор технических наук, профессор,
ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов, e-mail: snagornov@yandex.ru,
Корнев Алексей Юрьевич,
кандидат технических наук,
ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов, e-mail: vniitinlab7 @ yandex.ru,
Мещерякова Юлия Владимировна,
кандидат технических наук,
ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов, e-mail: yulya-belova@yandex.ru,
Бусин Игорь Вячеславович,
кандидат технических наук,
ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов, e-mail: igorek19883108@mail.ru
Конькова Нина Григорьевна,
научный сотрудник
ФГБНУ Всероссийский институт растениеводства имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, e-mail: n.konkova@vir.nv.ru,
Мещеряков Александр Геннадьевич,
аспирант,

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов, e-mail: alex_mec@bk.ru

Реферат. *Известно, что применение и внедрение биотоплива породило проблему продовольственной безопасности, так как для его получения в основном используется сельскохозяйственные пищевые культуры. Установлено, что при использовании пищевых сельскохозяйственных культур необходимо дополнительно увеличивать посевные площади, проводить полив и обработку сельскохозяйственной продукции, что приводит к удорожанию конечного продукта. Изучали возможность получения биотоплива из малораспространённых непищевых масленичных растений, которые могут служить источником триацилглицеридов. Проводили спектроскопический и хроматографический анализ для установления компонентного состава масел молочая и индау. Анализ ИК-спектров масел молочая и индау показал наличие в них различных триацилглицеридов. Установлено, что составы масел двух исследуемых непищевых культур довольно близки между собой, а функциональные группы, присутствующие в молекулах триглицеридов масел, абсолютно тождественны. Согласно данным хроматографического анализа, жирнокислотный состав масел индау и молочая представлен олеиновой, линолевой и эруковой кислотами, несколько меньше в составе триацилглицеринов стеариновой, бегеновой и маргариноолеиновой кислот. На основе полученных масел синтезировали биотопливо, используя реакцию переэтерификации. Хроматографический анализ полученного биотоплива показал практически полное соответствие количественному и качественному составу исходных масел. На основе полученных результатов доказано, что источником для получения биотоплива могут служить непищевые растения такие, как индау и молочай.*

Ключевые слова*: индау, молочай, биотопливо, растительные масла, триацилглицерины, хроматограмма, ИК-спектры*

BIOFUEL FROM NON-TRADITIONAL VEGETABLE OILS

Nagornov Stanislav,
Full Doctor of Technical Sciences, professor,
FSBSI All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Oil Products in Agriculture, Tambov,
Kornev Alexey,
candidate of technical Sciences,
FSBSI All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Oil Products in Agriculture, Tambov,
Meshcheryakova Julia,
candidate of technical Sciences, FSBSI All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Oil Products in Agriculture, Tambov,
Busin Igor,
candidate of technical Sciences, senior researcher All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov,
Konkova Nina,
researcher,
All-Russian Institute of plant industry named after N. I. Vavilov, Saint-Petersburg,

Mescheryakov Alexander,
postgraduate student, All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov

Abstract. *It is known that the use and introduction of biofuels has raised the problem of food security, since agricultural food crops are mainly used for its production. It has been established that under the using food crops it is necessary to increase the crop area, watering and processing agricultural products, which leads to an increase in the cost of the final product. The possibility of obtaining biofuel from low-prevalence non-food non-oil plants, which can serve as a source of tri triacylglycerides., was studied. Spectroscopic and chromatographic analysis to establish the component composition of the spurge and indow oil was carried out. Analysis of the IR spectra of the oils of spurge and indow showed the presence in them of various triacylglycerides. It has been established that the compositions of the oils of the two non-food crops under investigation are fairly close to each other, and the functional groups present in the triglyceride molecules of the oils are absolutely identical. According to the chromatographic analysis, the fatty acid composition of the oils of indow and spurge is represented by oleic, linoleic and erucic acids, somewhat less in the composition of triacylglycerides of stearic, behenic and margarine oleic acids. Biofuel based on the tested oils was synthesized using a transesterification reaction. Chromatographic analysis of the obtained biofuel showed almost complete compliance with the quantitative and qualitative composition of the original oils. On the basis of the results obtained, it is proved that non-food plants such as the Indian and spurge can serve as a source for the production of biofuel.*

Keywords: *indow, spurge, biofuel, vegetable oils, triacylglycerides, chromatogram, IR spectra*

Введение. Биодизельное топливо получают из различных масленичных растений. Источниками для получения биодизельного топлива как правило является подсолнечник, рыжик, рапс, кукуруза, соя [1-2]. Все это сельскохозяйственные продовольственные культуры. Использование такого пищевого сырья для производства биотоплива породило проблему продовольственной безопасности. Однако для его получения могут быть использованы малораспространённые непищевые масленичные культуры такие как идау, молочай, хлорелла [3-10].

Индау (лат. *Eruca*) – однолетнее растение из семейства капустных. Культуру используют в качестве масленичного и овощного растения. Индау цветет с мая по июль, а плодоносит в июле-августе. Высота растения около 80 см, на котором формируется до 250 семян. Индау возделывают в различных климатических условиях, культура устойчива к засухе и болезням, характерна незначительная поражаемость вредителями. Продолжительность вегетационного периода 75-90 дней. Условия центральной России более благоприятны для выращивания культуры индау на масло [4]. Семена индау богаты растительным маслом, именно из-за этого разводят данную культуру в наше время. Они находятся в продолговатых загнутых стручках. Масло, получаемое из семян путем отжима, отличается золотисто-желтым цветом.

Молочай (лат. *Euphórbia*) самый большой род растений семейства Молочайные. Это очень неприхотливое растение размножается семенами, черенками и делением куста. Цветет он с мая по октябрь, после чего в цветоносах образовываются плоские шаровидные плоды трёхорешники, примерно 2 мм в диаметре. Молочай - сорняк произрастает в садах и на огородах, засеивается самостоятельно, имеет плотные и достаточно крепкие корни, хорошую

выносливость. Может свободно произрастать на сухих почвах, а также на возделанных огородах и садах. Даже после тщательной уборки, выживаемость сорняка остается высокой.

Методика исследований. Растительное масло получали из семян индау и молочая методом отжима на маслодавилке. Полученное масло очищали и из него синтезировали биодизельное топливо в присутствии 2% (от массы масла) гомогенного катализатора (гидроксида калия) на магнитной мешалке при температуре 60 °С в течении 30 минут. Определение состава, полученного исходного масла и биодизельного топлива осуществляли спектроскопическим и хроматографическим методом. Установление функциональных групп проводили с использованием ИК-Фурье спектрометра «*Infralum* FT-801», а установление жирнокислотного состава с помощью газового хроматографа «Кристалл 2000М»»

Результаты и обсуждение. Масло индау – золотисто-желтого цвета с травянистым запахом и плотностью 897 кг/м^3 при 20°С. Масло молочая темно коричневого цвета с травянистым запахом и плотностью 902 кг/м^3 при 20°С. На рисунке 1 показан внешний вид полученных масел.

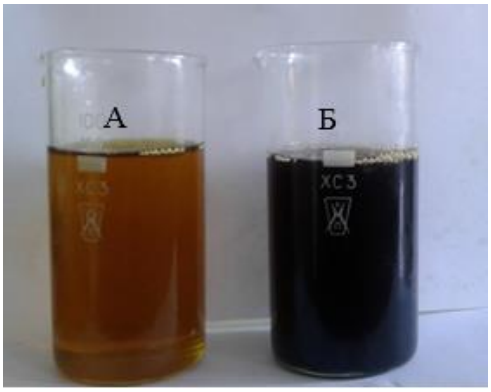


Рисунок 1 – Внешний вид масел а) индау и б) молочая

Проведен спектроскопический и хроматографический анализ масел (рисунки 2 - 5). В результате анализа спектров масел молочая и индау (рисунки 2 и 3) установлено, что их структуры идентичны, так как составы довольно близки между собой, а функциональные группы, присутствующие в молекулах триглицеридов масел, абсолютно тождественны.

Несколько различаются на этих спектрах частотные характеристики сигналов, соответствующих углеродному скелету жирно-кислотных фрагментов молекулы, что легко объяснимо имеющимися различиями в количественном составе масел.

Для синтеза биотоплива необходимы триацилглицериды. Триглицериды представляют собой сложные эфиры трехатомного спирта глицерина и высших алифатических кислот. Для сложных эфиров прежде всего характерны полосы валентных колебаний карбонильной группы (связи С=О).

К ним следует отнести сильную полосу при 1747 и 1744 см$^{-1}$. Для эфиров высших карбоновых кислот характерны также валентные колебания связи -С–О в области 1200 -1170 см$^{-1}$. Этим колебаниям в спектре масел, соответствуют полосы при 1164 см$^{-1}$ или 1169 см$^{-1}$.Существование группы – OCH_3, симметричные валентные колебания которой обычно располагаются в области 2850-2815 см$^{-1}$, подтверждает полоса при 2855 и 2856 см$^{-1}$.

На рисунках 4-5 представлены хроматограммы полученного масла.

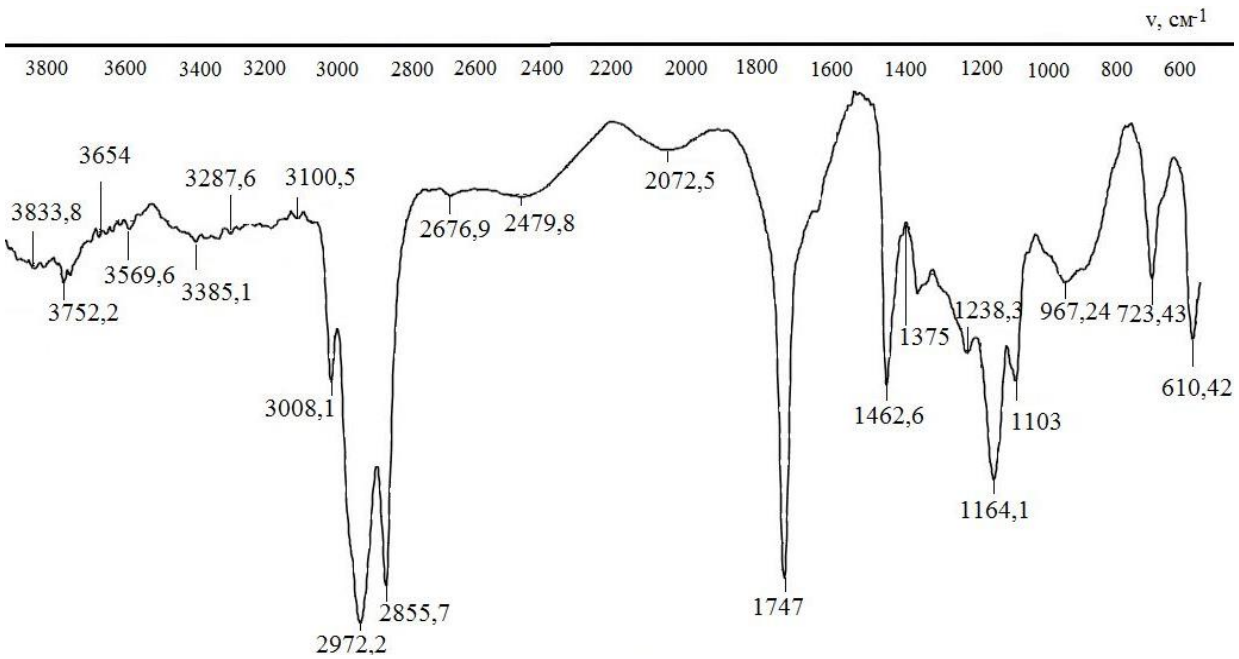


Рисунок 2 – ИК спектр масла индау

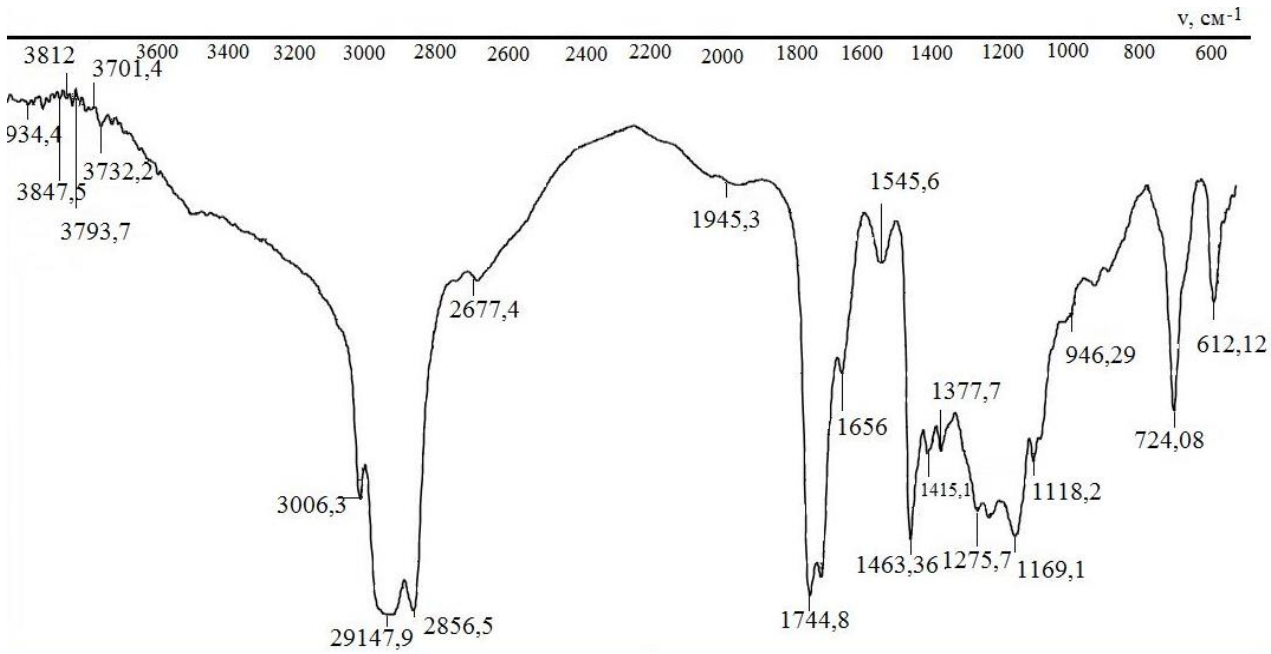


Рисунок 3 – ИК спектр масла молочая

По данным хроматографического анализа (рисунки 4-5) можно сделать вывод, что жирнокислотный состав масел индау и молочая представлен, олеиновой, линолевой и эруковой кислотами, несколько меньше в составе триацилглицеринов стеариновой, бегеновой и маргариноолеиновой кислот (таблица 1).

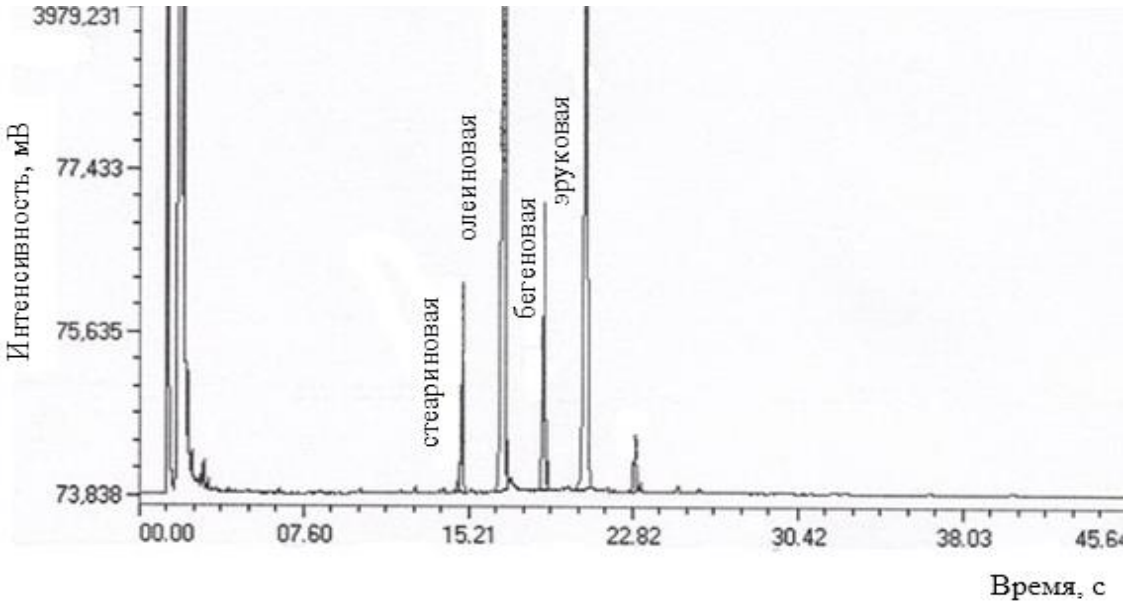


Рисунок 4 – Хроматограмма масла индау

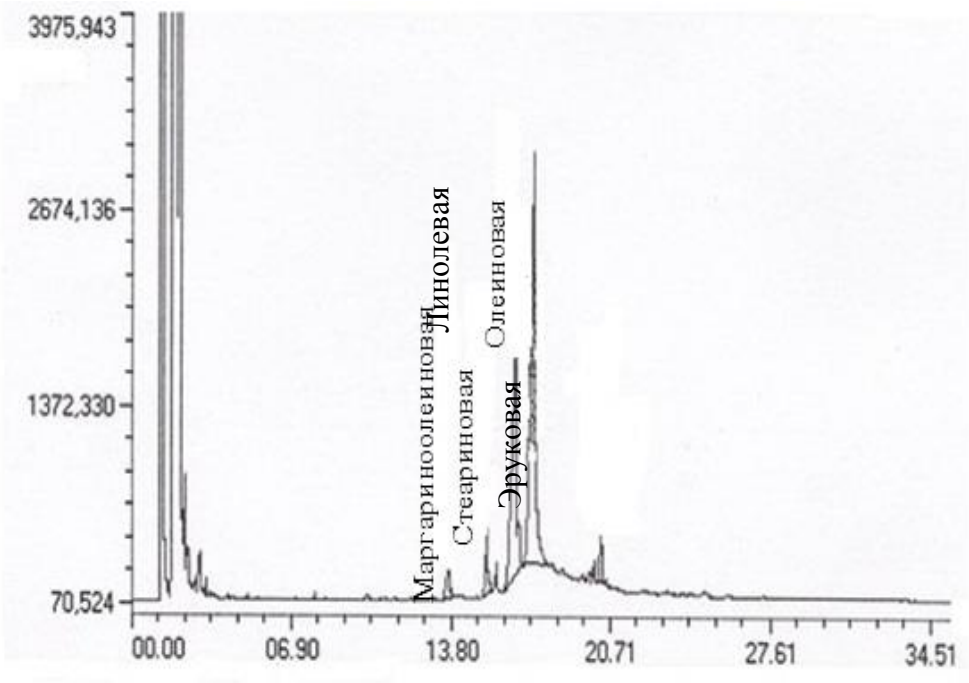


Рисунок 5 – Хроматограмма масла молочая

Таблица 1 – Жирнокислотный состав масел

Масло	Название кислоты	Содержание кислот, %
Индау	Стеариновая	6,24
	Олеиновая	41,26
	Бегеновая	8,81
	Эруковая	42,03
Молочай	Маргариноолеиновая	3,08
	Стеариновая	3,82
	Олеиновая	34,21

	Линолевая	56,78
	Эруковая	2,11

На основе полученных масел синтезировали биотопливо. ИК-спектр биотоплива представлен на рисунке 6.

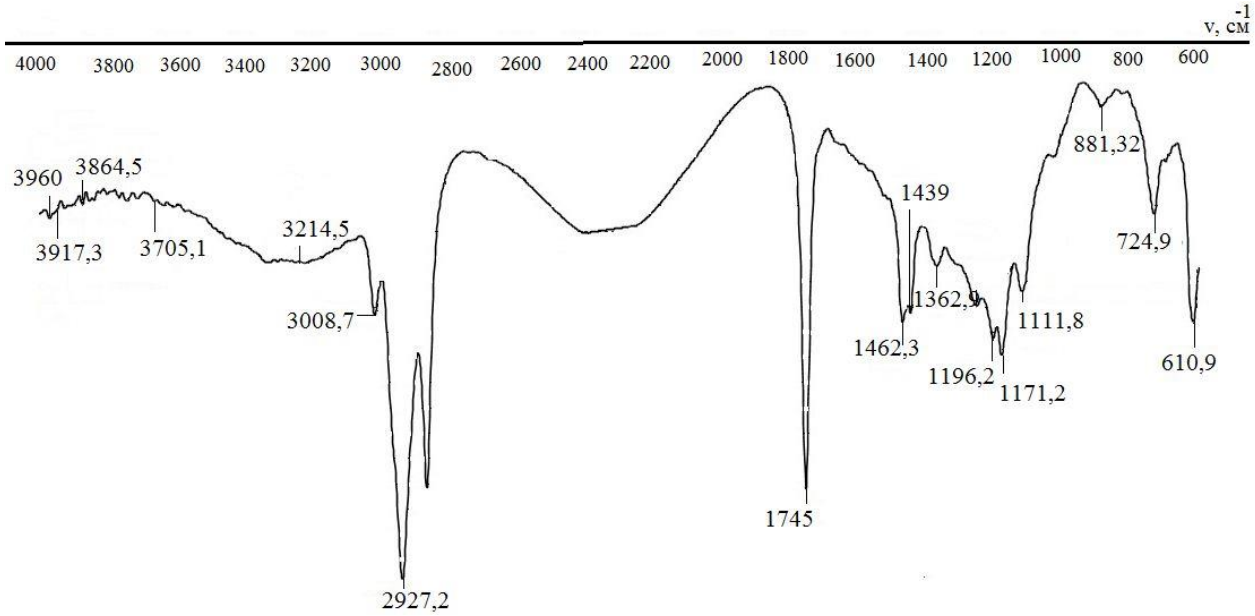


Рисунок 6 – ИК спектр биотоплива

Функциональные группы триацилглицеридов растительных масел и молекул биотоплива идентичны (это сложные эфиры), поэтому спектры масел и компонентов биотоплива очень похожи. Характерные для сложных эфиров валентные колебания карбонильной группы (связи C=O) представлены сильной полосой при 1745 см$^{-1}$, полоса при частоте 1171 см$^{-1}$ в спектре биотоплива соответствует валентным колебаниям эфирной группы (–C–O–).

Поскольку широкая полоса в интервале от 3400 до 3200 см$^{-1}$, которую обычно дают колебания ассоциированных групп –OH [11], в спектре отсутствует, можем сделать вывод об отсутствии в биодобавке молекул глицерина. В спектре биодобавки присутствуют полосы при следующих частотах: 724, 1459 и 3008 см$^{-1}$. Это может служить подтверждением преимущественной цис- конфигурации неконцевых двойных связей (CHR = CHR’). Для колебаний двойных связей в транс-форме в ИК-спектре характерны полосы в интервале частот 980-960 см$^{-1}$. В спектре биодобавки, синтезированного из триацилглицеридов липидной фракции микроводорослей, они отсутствуют. Следовательно, в процессе алкоголиза в молекулах триацилглицеридов и компонентов биодобавки не происходит реакция цис-транс-изомеризации.

Хроматографический анализ полученного биотоплива показал практически полное соответствие количественному и качественному составу исходных масел.

Заключение. В качестве источника для получения биотоплива могут служить такие непищевые растения как индау и молочай. По результатам спектроскопического и хроматографического исследования можно утверждать, что основную часть масел индау и молочая, составляют триацилглицерины, которые и необходимы для синтеза биодизельного топлива, осуществляемый по реакции переэтерификации.

Список литературы

1. Митусова Т.Н. Перспективы использования биодизельного топлива / Т.Н. Митусова, М.В. Калинина // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2005. № 5. С. 20–23.

2. Биотопливо нового поколения / Ю.В. Мещерякова, А.Г. Мещеряков, И.В. Ерохин, С.А. Нагорнов // «Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент»: VIII Международная научно-инновационная молодежная конференция 28-29 октября Тамбов, 2015. С 336-339.

3. Нагорнов С.А. Основные этапы получения биодизельного топлива из микроводорослей / С.А. Нагорнов, А.Ю. Корнев, Ю.В. Мещерякова // «Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства»: XVIII Международная научно-практическая конференция 23 сентября Тамбов. 2015. С.243-246

4. Низова Г.К. Характеристика по качеству коллекции индау // Г.К. Низова, Н.Г. Конькова // Аграрная Россия. 2010. № 2.

5. Чернова Н.И. Биотопливо из водорослей: технологии, продуктивность, перспективы / Н.И. Чернова, С.В. Киселёва. // Энергия: экономика, техника, экология. 2014. № 8. С. 24-32.

6. Мещерякова Ю.В. Получение сырья для биодизельного топлива на основе масла микроводоросли хлорелла / Ю.В. Мещерякова, С.А. Нагорнов // Инновации в сельском хозяйстве. 2013. №3. С. 39-41.

7. Мещерякова Ю.В. Экстракция и анализ липидов из растительного сырья для получения биодизельного топлива / Ю.В. Мещерякова, С.А. Нагорнов, С.В. Романцова // Наука в центральной России. 2015. №6. С. 33-40.

8. Извлечение и анализ липидов из биомассы микроводорослей хлорелла / С.А. Нагорнов, Ю.В. Мещерякова, В.М. Дмитриев, А.П. Ликсутина, И.В. Ерохин // Наука в центральной России. 2015. № 3. С. 11-17.

9. Липиды микроводорослей как сырьё для синтеза биодизельного топлива / Нагорнов С.А., Романцова С.В., Корнев А.Ю., Мещерякова Ю.В. // XX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. Тезисы докладов в 5 томах. Уральское отделение Российской академии наук. 2016. С. 465.

10. Экстракция сырья для синтеза биотоплива из биомассы микроводорослей / Нагорнов С.А., Романцова С.В., Корнев А.Ю., Мещерякова Ю.В. // XX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. Тезисы докладов в 5 томах. Уральское отделение Российской академии наук. 2016. С. 466

11. Казицына Л.А. Применение ИК-, УФ- и ЯМР- спектроскопии в органической химии: учебник / Л.А. Казицына, Н.Б. Куплетская. – М: Высшая школа, 1971. 246 с.

References

1. Mitusova T.N. Perspektivy ispol'zovanija biodizel'nogo top-liva / T.N. Mitusova, M.V. Kalinina // Mir nefteproduktov. Vestnik neftjanyh kompanij. 2005. № 5. S. 20–23.

2. Biotoplivo novogo pokolenija / Ju.V. Meshherjakova, A.G. Meshherja-kov, I.V. Erohin, S.A. Nagornov // «Sovremennye tverdofaznye tehnologii: teorija, praktika i innovacionnyj menedzhment»: VIII Mezhdunarodnaja nauch-no-innovacionnaja molodezhnaja konferencija 28-29 oktjabrja Tambov, 2015. S 336-339.

3. Nagornov S.A. Osnovnye jetapy poluchenija biodizel'nogo topli-va iz mikrovodoroslej / S.A. Nagornov, A.Ju. Kornev, Ju.V. Meshherjakova // «Povyshenie jeffektivnosti ispol'zovanija resursov pri proizvodstve sel'-skohozjajstvennoj produkcii - novye tehnologii i tehnika novogo pokole-nija

dlja rastenievodstva i zhivotnovodstva»: XVIII Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija 23 sentjabrja Tambov, 2015. S.243-246

4. Nizova G.K. Harakteristika po kachestvu kollekcii indau // G.K. Nizova, N.G. Kon'kova // Agrarnaja Rossija. 2010. № 2.

5. Chernova N.I. Biotoplivo iz vodoroslej: tehnologii, produk-tivnost', perspektivy / N.I. Chernova, S.V. Kiseljova. // Jenergija: jekonomika, tehnika, jekologija. 2014. № 8. S. 24-32.

6. Meshherjakova Ju.V. Poluchenie syr'ja dlja biodizel'nogo topliva na osnove masla mikrovodorosli hlorella / Ju.V. Meshherjakova, S.A. Nagor-nov // Innovacii v sel'skom hozjajstve. 2013. №3. S. 39-41.

7. Meshherjakova Ju.V. Jekstrakcija i analiz lipidov iz rastitel'no-go syr'ja dlja poluchenija biodizel'nogo topliva / Ju.V. Meshherjakova, S.A. Nagornov, S.V. Romancova // Nauka v central'noj Rossii. 2015. №6. S. 33-40.

8. Izvlechenie i analiz lipidov iz biomassy mikrovodoroslej hlorella / S.A. Nagornov, Ju.V. Meshherjakova, V.M. Dmitriev, A.P. Liksu-tina, I.V. Erohin // Nauka v central'noj Rossii. 2015. № 3. S. 11-17.

9. Lipidy mikrovodoroslej kak syr'jo dlja sinteza biodizel'nogo topliva / Nagornov S.A., Romancova S.V., Kornev A.Ju., Meshherjakova Ju.V. // HH Mendeleevskij s#ezd po obshhej i prikladnoj himii. Tezisy dokladov v 5 tomah. Ural'skoe otdelenie Rossijskoj akademii nauk. 2016. S. 465.

10. Jekstrakcija syr'ja dlja sinteza biotopliva iz biomassy mikrovo-doroslej / Nagornov S.A., Romancova S.V., Kornev A.Ju., Meshherjakova Ju.V. // HH Mendeleevskij s#ezd po obshhej i prikladnoj himii. Tezisy dokladov v 5 tomah. Ural'skoe otdelenie Rossijskoj akademii nauk. 2016. S. 466

11. Kazicyna L.A. Primenenie IK-, UF- i JaMR- spektroskopii v organicheskoj himii: uchebnik / L.A. Kazicyna, N.B. Kupletskaja. – M: Vys-shaja shkola, 1971. 246 s.

УДК 662.754, 665.11

ИССЛЕДОВАНИЕ СМАЗЫВАЮЩИХ И НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВОЙСТВ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ С ДОБАВЛЕНИЕМ ПАВ НА ОСНОВЕ ТРИАЦИЛГЛИЦЕРИНОВ РЫЖИКОВОГО МАСЛА

Романцова Светлана Валерьевна
кандидат химических наук, доцент,
ФГБОУ ВО Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина,
Тамбов, e-mail: svromantsova@yandex.ru,
Алибаев Батырбек Тулегенович
преподаватель,
Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана,
Уральск, Казахстан.
e-mail: batyrbek1983@mail.ru
Корнев Алексей Юрьевич
кандидат технических наук,
ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов, e-mail: vniitinlab7@yandex.ru

Бусин Игорь Вячеславович
кандидат технических наук,
ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов,
E-mail: vniitinlab7@yandex.ru

Реферат. *Известно, что в качестве присадок для современных дизельных топлив могут быть использованы соединения различной химической природы. Большой потенциал имеют исследования по разработке новых комплексных добавок для нефтепродуктов, в том числе с использованием возобновляемого растительного сырья. Из технического непищевого растительного масла синтезированы этаноламиды и триэтаноламиды высших жирных кислот, а также полимеризованное и оксидированное растительное масло. Синтез компонентов осуществляли при температуре 120 - 130 ºС для этаноламидов и 160 - 180 ºС для триэтаноламидов, на основном катализаторе. Синтез оксидированного и полимеризованного масла осуществляли в течении 4 часов при периодическом пропускании воздуха и 10 часов в случае полимеризации без доступа воздуха. Полученные соединения смешивались с дизельным и биодизельным топливами в количестве 1 % от массы чистого топлива. После этого фиксировалось изменение смазывающих и низкотемпературных свойств. Экспериментально исследованы смазывающая способность товарного нефтяного дизельного топлива с добавлением синтезированных соединений и без них. Показано, что этаноламиды высших алифатических кислот и продукты взаимодействия растительного масла и триэтаноламина могут быть использованы как противоизносные присадки с улучшенными низкотемпературными свойствами. Улучшение смазывающих свойств дизельного топлива, содержащего 1 % этих компонентов может достигать 11-25 % при 20 ºС и 20-31 % при 60 ºС. Ещё более эффективными добавками являются полимеризованное и оксидированное рыжиковое масло. В случае их применения улучшение смазывающих свойств дизельного топлива может достигать 49 %. Наибольшая депрессия температуры замерзания исследуемого дизельного топлива (5 ºС) зафиксирована для продукта взаимодействия рыжикового масла с триэтаноламином, что является полезным дополнительным эффектом.*

Ключевые слова: *дизельное топливо, смазывающие свойства, низкотемпературные свойства, присадки, этаноламиды высших алифатических кислот, оксидированное растительное масло, полимеризованное растительное масло.*

THE STUDY OF THE LUBRICATING AND LOW TEMPERATURE PROPERTIES OF DIESEL FUELS WITH THE ADDITION OF SURFACTANTS BASED ON TRIACYLGLYCEROLS OF CAMELINA OIL

Romantsova Svetlana,
Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor,
Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov,
Alibaev Batyrbek,
lecturer,
Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian-Technical University, Uralsk, Kazakhstan ,
Kornev Alexey,
candidate of technical Sciences,

FSBSI All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Oil Products in Agriculture, Tambov,
Busin Igor,
candidate of technical Sciences,
FSBSI All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Oil Products in Agriculture, Tambov,

Abstract. *It is known that compounds of different chemical nature can be used as additives for modern diesel fuels. The researches to develop new complex additives for petroleum products, including the use of renewable raw materials, have great potential. Ethanolamides and trietanolamides of higher fatty acids and polymerized and oxidized vegetable oils were synthesized from a technical non-edible vegetable oil. Synthesis of the components was carried out at a temperature of 120-130 °C for ethanolamides and 160-180 °C for trietanolamides on basic catalyst. Synthesis of oxidized and polymerized oils was performed during 4 hours with periodical passing of air and 10 hours in case of polymerization without access of air. The compounds obtained were mixed with the diesel and biodiesel in the amount of 1% by the weight of pure fuel. After that the change of lubricating and low temperature properties was recorded. The lubricity of commercial petroleum diesel with the addition of synthesized compounds and without them was experimentally investigated. It has been shown that ethanolamides of higher fatty acids and reaction products of vegetable oils and triethanolamine can be used as anti-wear additives with improved low temperature properties. Improving the lubricity of diesel fuel containing 1% of these components may reach 11-25% at 20 °C and 20-31% at 60 °C. Even more effective additives are polymerized and oxidized camelina oil. In case of their use improvement of lubricating properties of diesel fuel can reach 49%. Highest freezing point depression of investigates diesel fuels (5 °C) was fixed to the reaction product of camelina oil with triethanolamine, which is a useful additional effect.*

Keywords*: diesel fuel, lubricating properties, low temperature properties, additives, higher aliphatic acid ethanolamides, oxidized vegetable oil, polymerized vegetable oil.*

Введение. Несмотря на определенные успехи в отечественной нефтеперерабатывающей промышленности проблема некачественного топлива в сельском хозяйстве остается достаточно актуальной [1-3]. В современных реалиях, несмотря на падение стоимости нефти, топливо, отвечающее нормативным документам и эксплуатационным требованиям современных двигателей, может быть получено только при использовании процессов глубокой переработки и добавлении присадок. Отечественные компании производят присадки внутри страны, но объем импорта постоянно увеличивается. Противотурбулентные, моющие, депрессорные и депрессорно-диспергирующие присадки на сегодняшний день являются практически полностью импортными [4, 5].

В качестве присадок могут быть использованы соединения различной химической природы. Например, противоизносными свойствами обладают парафиновые углеводороды, некоторые эфиры, карбоновые кислоты и их производные, азотсодержащие соединения, а также смеси карбоновых кислот или их эфиров с азотсодержащими соединениями. За рубежом широко используют композиции, в состав которых входят различные поверхностно-активные вещества (ПАВ) – амины, амиды, имиды и кислородсодержащие соединения (гликоли, полигликоли, амипоспирты, их эфиры и комплексы с органическими кислотами) [6-9]. В качестве соединений, улучшающих низкотемпературные свойства топлив, чаще всего

используются полимерные вещества, среди которых преобладают сополимеры этилена и различных мономеров [10-16].

В этой связи большой потенциал могут иметь исследования по разработке новых комплексных добавок для нефтепродуктов, в том числе с использованием возобновляемого растительного сырья [17-19].

Метод исследования. Синтез компонентов полифункциональных присадок для дизельного топлива осуществляли с использованием методов тонкого органического синтеза. В трехгорлую колбу наливали 250 мл рыжикового масла или его метилового эфира, 55 мл моноэтаноламина, доводили температуру до 100 ºС и добавляли 0,5 г измельченного NaOH. После этого температуру поднимали до 120 - 130 ºС и выдерживали реационную смесь в таких условиях в течении трех часов при периодическом перемешивании. По прошествии указанного времени содержимое колбы выливали в подготовленную тару и оставляли на 10 - 12 часов. Взаимодействие с триэтаноламином проводили при температуре 160 - 180 ºС.

Для синтеза оксидированного и полимеризованного растительного масла в трехгорлой колбе, но без использования холодильника, проводили нагрев порции рыжикового масла в течении 4 часов при получении оксидированного масла и 10 часов в случае полимеризации без доступа воздуха. Полученные соединения смешивались с дизельным и биодизельным топливами в количестве 1 % от массы чистого топлива, после чего фиксировалось изменение смазывающих и низкотемпературных свойств.

Результаты и обсуждение. Амиды высших карбоновых кислот являются поверхностно-активными соединениями и могут влиять на противоизносные свойства дизельного топлива. Для экспериментов использовали смеси товарного дизельного топлива с моноэтаноламидами и триэтаноламидами рыжикового масла: МЭАРМ – моноэтаноламины, синтезированные на основе рыжикового масла; МЭАМЭРМ – моноэтаноламины, синтезированные на основе биодизельного топлива (смеси метиловых эфиров растительных масел, МЭРМ); ТЭАРМ – смесь триэтаноламинов и сложных эфиров, синтезированные из рыжикового масла; ТЭАМЭРМ – смесь триэтаноламинов и сложных эфиров, синтезированные из МЭРМ.

Изменение низкотемпературных свойств (температуры помутнения и температуры застывания) дизельного и биодизельного топлива после добавления 1% синтезированных веществ отражено в таблицах 1,2. Некоторое улучшение низкотемпературных свойств наблюдается при использовании смеси триэтаноламинов и сложных эфиров высших жирных кислот, что может быть связано с большей молекулярной массой и более разветвлённой структурой сложных эфиров по сравнению с этаноламинами, ведь известно, что наиболее выраженными депрессорными свойствами обладают полимеры так называемого «гребенчатого строения» с длинными радикалами.

Таблица 1 – Изменение низкотемпературных свойств дизельного топлива после добавления 1 % синтезированных веществ

Показатель	Без добавки	МЭАРМ	ТЭАРМ	МЭАМЭРМ	ТЭАМЭРМ
Температура помутнения, ºС	-7	-7	-10	-7	-8
Температура застывания, ºС	-20	-19	-25	-16	-24

Таблица 2 – Изменение низкотемпературных свойств биодизельного топлива после добавления 1 % синтезированных веществ

Показатель	Без добавки	МЭАРМ	ТЭАРМ	МЭАМЭРМ	ТЭАМЭРМ
Температура помутнения, ºС	-4	-5	-4	-4	-3
Температура застывания, ºС	-8	-9	-12	-9	-11

При добавлении синтезированных веществ к топливу изменяются его смазывающие свойства (рисунки 1,2). Как видно из полученных данных (рисунки 1,2), все синтезированные соединения улучшают противоизносные свойства дизельного топлива на 11 – 25 % при 20 ºС и на 20 - 31 % при 60 ºС.

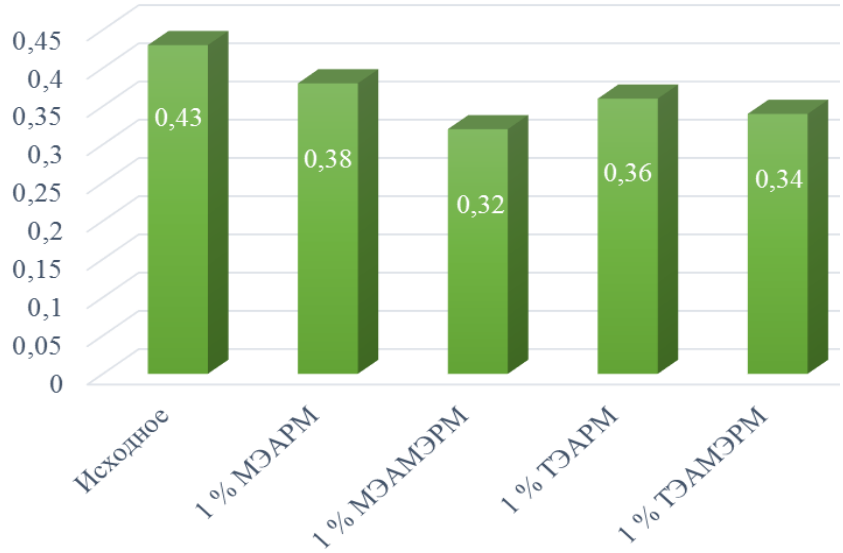


Рисунок 1 – Изменение смазывающей способности дизельного топлива при 20ºС после добавления 1 % синтезированных веществ

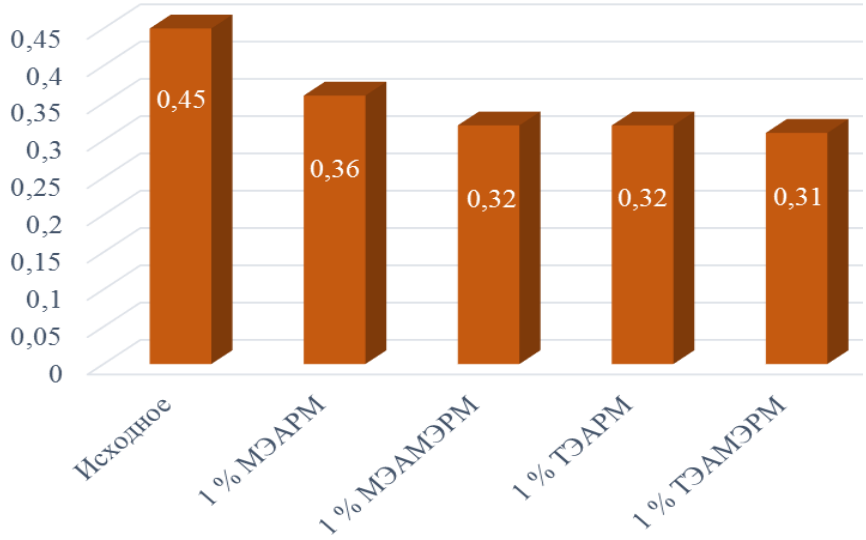


Рисунок 2 – Изменение смазывающей способности дизельного топлива при 60ºС после добавления 1 % синтезированных веществ

Таким образом, синтезированные амиды нельзя отнести к высокоэффективным депрессорным присадкам, но триэтаноламиды, синтезированные на основе рыжикового масла, имеют потенциал как противоизносные компоненты для многофункционального пакета

присадок с низкотемпературным эффектом. Исследованы и другие производные рыжикового масла – оксидированное (ОМ) и полимеризованное (ПМ) масло. Полученные соединения так же добавлялись к дизельному и биодизельному топливам, после чего фиксировалось изменение низкотемпературных (таблицы 3,4) и смазывающих (рисунки 3,4) свойств.

Таблица 3 – Изменение низкотемпературных свойств дизельного топлива при внесении 1 % полимеризованного или оксидированного рыжикового масла

Показатель	Без добавки	С добавлением ПМ	С добавлением ОМ
Температура помутнения, ºС	-7	-11	-11
Температура застывания, ºС	-20	-21	-24

Таблица 4 – Изменение низкотемпературных свойств биотоплива при внесении 1 % полимеризованного или оксидированного рыжикового масла

Показатель	Без добавки	С добавлением ПМ	С добавлением ОМ
Температура помутнения, ºС	-4	-4	-4
Температура застывания, ºС	-8	-6	-11

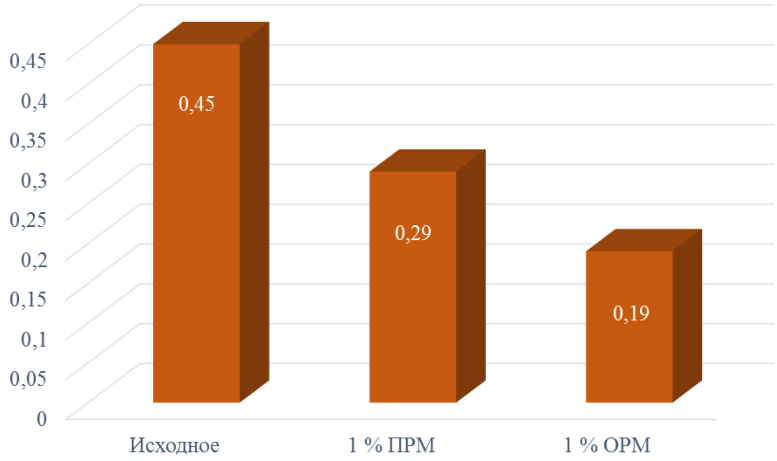


Рисунок 3 – Изменение смазывающих свойств дизельного топлива после добавления 1 % полимеризованного и оксидированного рыжикового масла (60 ºС)

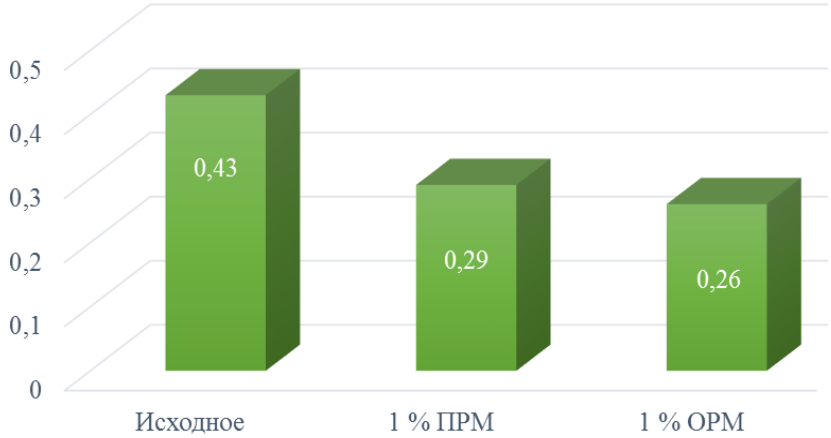


Рисунок 4 – Изменение смазывающих свойств дизельного топлива после добавления 1 % полимеризованного и оксидированного рыжикового масла (20 ºС)

Оксидированное рыжиковое масло проявляет лучшие низкотемпературные и смазывающие свойства по сравнению с маслом, полимеризованным без доступа воздуха. Полимеризация растительных масел протекает преимущественно с образованием димеров и тримеров, а не длинномолекулярных цепочек, что, по-видимому, обуславливает слабое изменение низкотемпературных свойств при добавлении этих соединений.

Заключение. Масла технических непищевых культур (например, масло рыжика) могут служить сырьем для получения противоизносных компонентов полифункциональных присадок с улучшенными низкотемпературными свойствами.Наиболее выраженным эффектом улучшения смазывающей способности обладают продукты взаимодействия рыжикового масла с триэтаноламином, а также оксидированное рыжиковое масло, которые улучшают смазывающие свойства на 15 - 25 % и на 39 - 49 % соответственно в зависимости от условий.

Депрессия температуры замерзания дизельного топлива (5 ºС) является полезным дополнительным эффектом.

Список литературы

1. Корнев А.Ю., Бектилевов А.Ю., Алибаев Б.Т. Причины снижения качества светлых нефтепродуктов, используемых в сельском хозяйстве. // Наука в центральной России. 2016. № 4 (22). С. 15-26.

2. Корнев А.Ю., Нагорнов С.А., Алибаев Б.Т. Связь качества моторного топлива с современным состоянием нефтескладов. // Наука в центральной России. 2016. № 4 (22). С. 26-35.

3. Андрианов В. Рынки дизельного топлива. Все лучшее – на экспорт, себе – бодягу? // Нефтегазовая вертикаль. 2015. №9. С. 60-65.

4. Данилов А.М. Применение присадок в топливах. 3-е изд., доп. СПб.: Химиздат. 2010. 368 с.

5. Данилов А.М. Присадки к топливам как решение химмотологических проблем // Химия и технология топлив и масел. 2014. № 5. С. 31-35.

6. Liquid fuel additive. Пат. 1210135 Китай, МПК7 С 10 L 1/22. / Horio Tadamasa, Lu Youbin. № 97114244; заявл. 29.08.97; опубл. 10.03.99.

7. Fuel additive for enhancing combustion efficiency and decreasing emissions. Пат. WO 2006101918 МПК7 С 10 L 10/10, С 10 L 10/1. / Holcomb Robert; Holcomb Andrew. № WO 2006US09384 20060316; опубл. 28.09.06.

8. Improved fuel additive formulation and method of using same. Пат. 1509325 Китай, МПК7 С 10 L 1/22. / Arthur R. Foote, Micael Kakin, Magnum Environmental Technologies, Inc. № 01816546; заявл. 27.07.01; опубл. 30.06.04.

9. Митусова Т.Н., Полина Е.В., Калинина М.В. Современные дизельные топлива и присадки к ним. М.: Техника. 2002. 64 с.

10. Башкатова С.Т., Винокуров В.А., Островский Н.А., Ергина Е.В., Хуторянский Ф.М. Влияние депрессорных присадок на степень дисперсности топливных дисперсных систем. Сб. тезисов докладов конференции «Актуальные проблемы нефтехимии». М. 2000. С. 35.

11. Агаев С.Г., Глазунов А.М. Сложноэфирные депрессорные присадки для дизельных топлив // Нефтепереработка и нефтехимия. 2001. № 10. С. 32 - 36.

12. Рудяк К.Б., Ткачев И.В., Гараиев А.М., Митусова Т.Н., Полина Е.В. Организация производства дизельных топлив с депрессорными присадками на заводах Тюменской нефтяной компании // Нефтепереработка и нефтехимия. 2003. № 4. С. 13 - 18.

13. Митусова Т.Н., Полина Е.В., Болдырев М.И. и др. Зимние и арктические дизельные топлива с депрессорными присадками // Газовая промышленность. 2000. № 7. С. 67 - 69.

14. Башкатова С.Т., Смирнова Л.А., Винокуров В.А., Шапкина Л.Н., Безгина А.М. Влияние депрессоров на оптические и низкотемпературные характеристики дизельных топлив // Химия и технология топлив и масел. 2003. № 1 – 2. С. 55 - 56.

15. Смирнова Л.А., Башкатова С.Т., Винокуров В.А. и др. Влияние депрессоров на оптические и низкотемпературные характеристики дизельных топлив // Химия и технология топлив и масел. 2003. № 1 – 2. С. 55 - 56.

16. Баулин О.А., Рахимова З.Ф., Рахимов М.Н. Возможные варианты получения дизельных топлив с улучшенными экологическими показателями // Нефтегазовое дело. 2007. №3. С. 6.

17. Нагорнов С.А., Корнев А.Ю., Мещерякова Ю.В., Ерохин И.В., Мещеряков А.Г. Синтез биодобавки к дизельному топливу // Наука в центральной России. 2016. № 1. С. 15-22.

18. Романцова С.В., Ликсутина А.П., Корнев А.Ю. Добавка к дизельному топливу из масла семян рыжика с повышенным кислотным числом // В сборнике: научно-технический прогресс в АПК: проблемы и перспективы международная научно-практическая конференция, в рамках XVIII Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал – 2016». 2016. С. 285-289.

19. Митусова Т.Н., Калинина М.В., Данилов А.М. Биодизельные топлива // Нефтехимия и нефтепереработка. 2004. № 2. С. 16.

References

1. Kornev A.YU., Bektilevov A.YU., Alibayev B.T. Prichiny snizheniya kachestva svetlykh nefteproduktov, ispol'zuyemykh v sel'skom khozyaystve. // Nauka v tsentral'noy Rossii. 2016. № 4 (22). S. 15-26.

2. Kornev A.YU., Nagornov S.A., Alibayev B.T. Svyaz' kachestva motornogo topliva s sovremennym sostoyaniyem nefteskladov. // Nauka v tsentral'noy Rossii. 2016. № 4 (22). S. 26-35.

3. Andrianov V. Rynki dizel'nogo topliva. Vse luchsheye – na eksport, sebe – bodyagu? // Neftegazovaya vertikal'. 2015. №9. S. 60-65.

4. Danilov A.M. Primeneniye prisadok v toplivakh. 3-ye izd., dop. SPb.: Khimizdat. 2010. 368 s.

5. Danilov A.M. Prisadki k toplivam kak resheniye khimmotologicheskikh problem // Khimiya i tekhnologiya topliv i masel. 2014. № 5. S. 31-35.

6. Liquid fuel additive. Pat. 1210135 Kitay, MPK7 S 10 L 1/22. / Horio Tadamasa, Lu Youbin. № 97114244; zayavl. 29.08.97; opubl. 10.03.99.

7. Fuel additive for enhancing combustion efficiency and decreasing emissions. Pat. WO 2006101918 MPK7 S 10 L 10/10, S 10 L 10/1. / Holcomb Robert; Holcomb Andrew. № WO 2006US09384 20060316; opubl. 28.09.06.

8. Improved fuel additive formulation and method of using same. Pat. 1509325 Kitay, MPK7 S 10 L 1/22. / Arthur R. Foote, Micael Kakin, Magnum Environmental Technologies, Inc. № 01816546; zayavl. 27.07.01; opubl. 30.06.04.

9. Mitusova T.N., Polina Ye.V., Kalinina M.V. Sovremennyye dizel'nyye topliva i prisadki k nim. M.: Tekhnika. 2002. 64 s.

10. Bashkatova S.T., Vinokurov V.A., Ostrovskiy H.A., Yergina Ye.V., Khutoryanskiy F.M. Vliyaniye depressornykh prisadok na stepen' dispersnosti toplivnykh dispersnykh sistem. Sb. tezisov dokladov konferentsii «Aktual'nyye problemy neftekhimii». M. 2000. S. 35.

11. Agayev S.G., Glazunov A.M. Slozhnoefirnyye depressornyye prisadki dlya dizel'nykh topliv // Neftepererabotka i neftekhimiya. 2001. № 10. S. 32 - 36.

12. Rudyak K.B., Tkachev I.V., Garaiyev A.M., Mitusova T.N., Polina Ye.V. Organizatsiya proizvodstva dizel'nykh topliv s depressornymi prisadkami na zavodakh Tyumenskoy neftyanoy kompanii // Neftepererabotka i neftekhimiya. 2003. № 4. S. 13 - 18.

13. Mitusova T.N., Polina Ye.V., Boldyrev M.I. i dr. Zimniye i arkticheskiye dizel'nyye topliva s depressornymi prisadkami // Gazovaya promyshlennost'. 2000. № 7. S. 67 - 69.

14. Bashkatova S.T., Smirnova L.A., Vinokurov V.A., Shapkina L.N., Bezgina A.M. Vliyaniye depressorov na opticheskiye i nizkotemperaturnyye kharakteristiki dizel'nykh topliv // Khimiya i tekhnologiya topliv i masel. 2003. № 1 – 2. S. 55 - 56.

15. Smirnova L.A., Bashkatova S.T., Vinokurov V.A. i dr. Vliyaniye de-pressorov na opticheskiye i nizkotemperaturnyye kharakteristiki dizel'nykh topliv // Khimiya i tekhnologiya topliv i masel. 2003. № 1 – 2. S. 55 - 56.

16. Baulin O.A., Rakhimova Z.F., Rakhimov M.N. Vozmozhnyye varianty polucheniya dizel'nykh topliv s uluchshennymi ekologicheskimi pokazatelyami // Neftegazovoye delo. 2007. №3. S. 6.

17. Nagornov S.A., Kornev A.YU., Meshcheryakova YU.V., Yerokhin I.V., Meshcheryakov A.G. Sintez biodobavki k dizel'nomu toplivu // Nauka v tsentral'noy Rossii. 2016. № 1. S. 15-22.

18. Romantsova S.V., Liksutina A.P., Kornev A.YU. Dobavka k dizel'nomu toplivu iz masla semyan ryzhika s povyshennym kislotnym chislom // V sbornike: nauchno-tekhnicheskiy progress v APK: problemy i perspektivy mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, v ramkakh XVIII Mezhdunarodnoy agropromyshlennoy vystavki «Agrouniversal – 2016». 2016. S. 285-289.

19. Mitusova T.N., Kalinina M.V., Danilov A.M. Biodizel'nyye topliva // Neftekhimiya i neftepererabotka. 2004. № 2. S. 16.

УДК 631.303

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СЕГРЕГАЦИИ ПРИМЕСИ ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ ПРОСА ИЗ ПШЕНИЦЫ

Тишанинов Николай Петрович,
доктор технических наук, профессор,
ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт
использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов
Анашкин Александр Витальевич,
кандидат технических наук,
ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт
использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов,
E-mail: av-anashkin@mail.ru

Реферат. *Представлены условия проведения исследований на рациональных режимах работы прибора для разделения зерносмесей по длине. Установлена взаимосвязь массы навески с углом охвата сегмента и толщиной слоя зерносмеси в сегменте. По параметрам сегмента установлена теоретическая производительность реального триерного цилиндра, работающего на эквивалентном скоростном режиме. Выявлена динамика выделения проса из пшеницы в зависимости от толщины слоя сегмента и концентрации примеси, на основе которой установлена кратность повышения интенсивности выделения примесного*

компонента по интервалам времени замеров. Установлено, что при равной исходной засоренности зерносмеси максимальная сегрегация примесного компонента характерна для больших толщин сегмента, а потенциалом интенсивности сегрегации является абсолютное значение примеси в навеске. Показано, что интенсивность сегрегации примесного компонента возрастает к 4-му интервалу времени замеров в 3,5…11,67 раза в зависимости от массы навески в приборе. За 25 секунд достигается 99%-ый уровень степени выделения примеси, а при продолжительности в 40 секунд – 100%-ый уровень. Установлено, что увеличение концентрации примесного компонента не оказывает существенного влияния на рост продолжительности его выделения из зерносмеси. Это объясняется нарастающим эффектом динамической сегрегации примесного компонента с ростом абсолютного значения примеси в зерносмеси. Показано, что установленные закономерности процесса выделения примеси кардинально отличаются от теоретических, полученных без учета эффекта сегрегации примеси в циркулирующих слоях зерносмеси.

***Ключевые слова**: прибор, ячеистая поверхность, зерносмесь, интенсивность выделения, динамическая сегрегация, степень выделения, качество процесса.*

SCIENTIFIC RESEARCH OF DYNAMIC SEGREGATION OF IMPURITIES DURING ALLOCATION OF WHEAT MILLET

Tishaninov Nikolay,
Full Doctor of Technical Sciences, professor,
FSBSI All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Oil Products in Agriculture, Tambov,
Anashkin Alexander,
Candidate of technical Sciences,
FSBSI All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Oil Products in Agriculture, Tambov

***Abstract.** Terms of research on rational modes of operation of the device for the separation of grain mixtures by length are presented. Relationship sample weight with an angle of coverage of the segment and the thickness of the layer of the grain mixture in a segment is installed. Theoretical real indented cylinder, running at an equivalent speed mode is installed according to the parameters segment. Dynamic allocation of millet wheat depending on the thickness of the segment layer and the impurity concentration is revealed on the basis of its emission intensity fold increase of the impurity component by measuring time intervals is installed. It was found that for an equal initial clogging maximum grain mixture segregation of impurity component is typical for large segments of thickness and intensity of potential segregation is the absolute value of the impurity in the rigging. It is shown that the intensity of the impurity component segregation increases the 4th measurement time interval of 3.5 ... 11.67 times depending on the weight of the sample in the instrument. 99% level impurity separation degree is achieved in 25 seconds, and for a duration of 40 seconds - 100% level. It is found that the increase in the impurity concentration of the component has no significant effect on the growth of the length of his discharge from the grain mixture. This is due to a cumulative effect of the dynamic component of the impurity segregation with increasing absolute value of the impurity in the grain mixture. It is shown that regularities of impurity separation process are fundamentally different from theoretical prepared without taking into account the effect of segregation of impurities in the circulating layers of the grain mixture.*

***Keywords:** appliance, cellular surface, grain mixture, the intensity of selection, dynamic segregation, degree of isolation, quality of the process.*

Введение. Известные теоретические закономерности выделения примесных компонентов из зерносмеси по времени [1…4] свидетельствуют о росте продолжительности процесса с увеличением исходной концентрации примеси. Выявленные закономерности получены из условия убывающего числа примесных частиц в контактирующем слое. Выполненный нами анализ [3] показывает, что при содержании 3% даже легко выделяемых частиц примеси в зерносмеси остаточная засоренность зерна при работе существующих кукольных цилиндров превышает допустимый уровень. Эти данные существенно расходятся с результатами эксперимента. В реальном технологическом процессе происходит интенсивная циркуляция слоев зерносмеси в сегменте, наблюдается послойное разрыхление сегмента, что создает условия для интенсификации осаждения примесных частиц в контактирующий слой. Корректировка теоретических закономерностей с учетом этого эффекта позволит уточнить метод расчета эквивалентной длины кукольного ячеистого цилиндра. Поэтому актуальность исследований динамической сегрегации примесного компонента в слое основной культуры сомнений не вызывает.

Материалы и методы. Исследования проводили на приборе для разделения зерносмесей при установленных рациональных значениях угла $\gamma_п = 40°$ и скорости вращения цилиндра n = 50 об/мин. Исходную засоренность ($З_и$) зерносмеси изменяли в диапазоне 1…3% с интервалом в 0,5% (5 уровней). Толщину слоя сегмента задавали массой навески ($m_н$) в ячеистом цилиндре в диапазоне 0,75…1,5 кг с интервалом 0,25 кг (четыре уровня).

Толщину слоя сегмента (h_c) определяли по ее взаимосвязи с массой навески ($m_н$), параметрами ячеистого цилиндра, угла охвата сегмента и коэффициента разуплотнения циркулирующих слоев зерносмеси – φ = 1,22, насыпной плотности пшеницы – ρ = 805 кг/м^3:

$$h_c = m_н \varphi / S_c \rho \ , \qquad (1)$$

где S_c - площадь сегмента зерносмеси, м^2.

Площадь сегмента зерносмеси определяем по формуле:

$$S_c = \pi D_ц l_ц \alpha / 360 \ , \qquad (2)$$

где $D_ц$ - диаметр ячеистого цилиндра, м; $l_ц$ - длина ячеистого цилиндра, м; α - угол охвата сегмента при различных $m_н$ и $n = 50$ об/мин, град.

Из формул (1) и (2) следует:

$$h_c = 360 \ m_н \varphi / \pi D_ц l_ц \alpha \rho \ , \qquad (3)$$

Подставляя в уравнение (3) численные значения параметров, получим:

$$h_c = 1000 \cdot 360 \cdot 1,22 \ m_н / 3,14 \cdot 0,3 \cdot 0,3 \cdot 805 \cdot \alpha = 1930 \ m_н / \alpha \ , \text{ мм.} \qquad (4)$$

Взаимосвязь h_c с $m_н$ и α при n = 50 об/мин показана в таблице 1.

Таблица 1 – Взаимосвязь h_c с $m_н$ и α при n = 50 об/мин

Масса навески ($m_н$), кг	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75
Угол охвата сегмента, град.	83	94	100	106	115
Толщина слоя сегмента, мм	17,4	20,5	24,1	27,3	29,4
* Производительность, т/ч	0,895	1,195	1,494	1,794	2096

* В четвертой строке даны приближенные расчеты производительности (W) реального ячеистого цилиндра триерного блока для выявленных (h_c), углов охвата (α) при эквивалентном скоростном режиме работы n = 35,7 об/мин и усредненной скорости осевого перемещения условного сегмента V_c = 0,05 м/с. Она определялась по формуле:

$$W = h_c \pi D_ц \alpha V_c \rho / 360 \ \varphi = 0,62 \ h_c \alpha \ , \quad (5)$$

где $D_ц = 0,6$ м; $\rho = 0,805$ т/м^3.

Расчетные данные по W необходимы для анализа динамики выделения примесных частиц из зерносмеси с различным уровнем исходной засоренности при необходимом ограничении загрузки кукольного цилиндра из условия обеспечения качества процесса очистки зерна.

Результаты и обсуждение. При минимальной исходной засоренности зерносмеси ($З_и$ = 1%) во всем диапазоне $m_н$ (h_c) степень выделения примесного компонента превышает 99%, а продолжительность выделения увеличивается пропорционально массе зерносмеси в ячеистом цилиндре, рисунок 1.

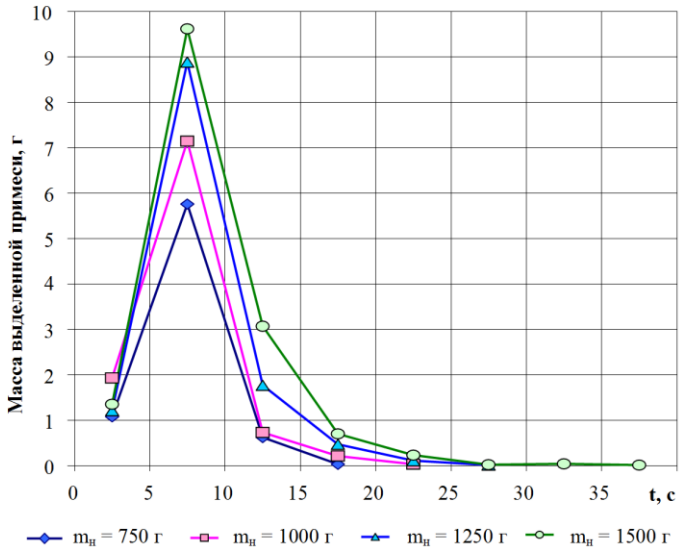


Рисунок 1 – Динамика выделения проса в зависимости от толщины слоя при засоренности 1 %

После стабилизации процесса в 1-ом интервале времени наступает наиболее интенсивный период выделения примесного компонента – 2-ой интервал времени опыта. Это характерно для всех видов примесных компонентов и других условий опытов. В этом интервале при росте $m_н$ от 0,75 кг до 1,5 кг (в два раза) соотношение выделенных масс примеси составляет 1,68; в 3-ем – 7,67; в 4-ом – 11,7 раза, рисунок 2. Избыточность ячей под контактирующим слоем относительно примесных частиц в нем указывает на причину эффекта – только на увеличение их количества в контактирующем слое за счет положительной динамической сегрегации примесного компонента в слое пшеницы, что объясняет рост кратности выделения примеси по времени.

За счет увеличения угла охвата (α) на 38,55 можно лишь частично объяснить рост кратности выделения примеси по времени при увеличении $m_н$ от 0,7 кг до 1,5 кг. Продолжительность выделения примеси не существенно зависит от $m_н$ при ограничении [C] ≥ 99%. Она составляет 20…25 с. При t = 40 с – C = 100%. Последующее увеличение концентрации примесного компонента (рисунки 3,4) на рост продолжительности его выделения из зерносмеси существенного влияния не оказывает.

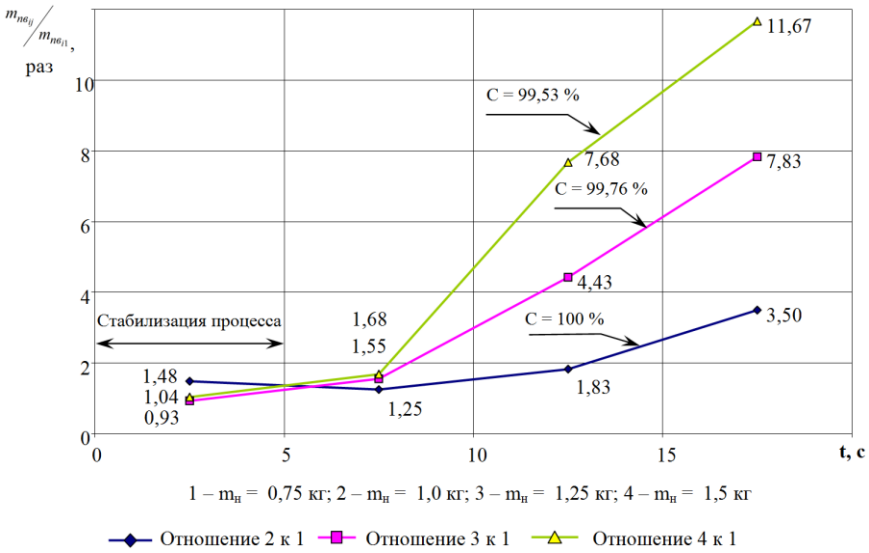


Рисунок 2 – Кратность соотношений масс выделенных частиц примеси в i-ом интервале времени при j-ой навеске ($m_{пв\ ij}$) к массе 1-ой (минимальной) навеске ($m_{пв\ i1}$) – эффект динамической сегрегации, Зи = 1 %

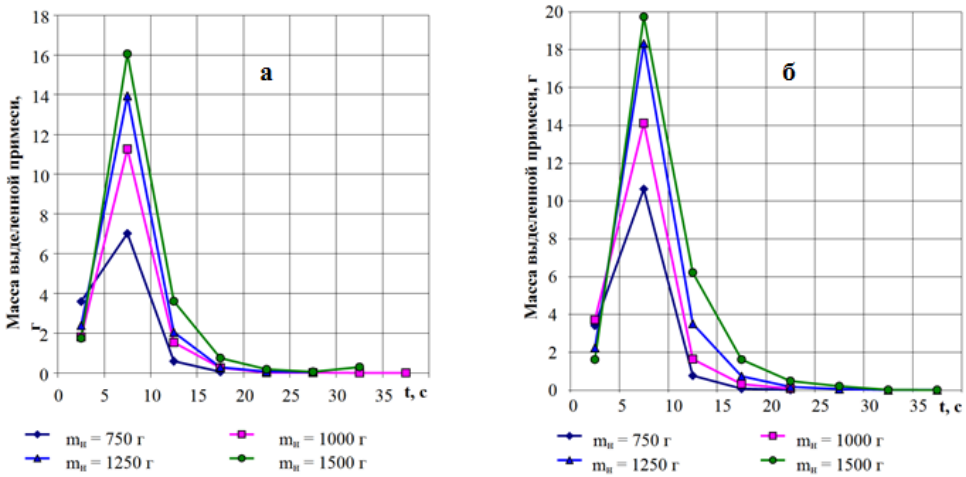


Рисунок 3 – Динамика выделения проса в зависимости от толщины слоя при засоренности 1,5 % (а), 2 % (б)

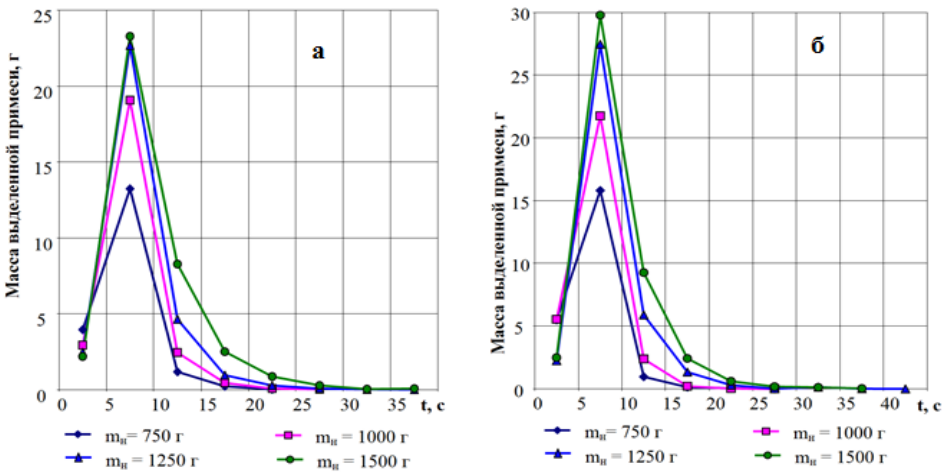


Рисунок 4 – Динамика выделения проса в зависимости от толщины слоя при засоренности 2,5 % (а), 3 % (б)

С увеличением навески $m_н$ возрастает база сегрегации - абсолютное значение $m_п$. При

увеличении исходной засоренности в 3 раза продолжительность выделения возрастает в 1,2 раза (до 6 интервалов – 30 с). Это объясняется нарастающим эффектом динамической сегрегации примесного компонента с ростом $m_п$ в зерносмеси. Для навески 1,5 кг (например) массы выделенных частиц во 2-ом интервале времени, который является первым после стабилизации процесса, пропорциональны исходной засоренности ($З_и$).Шесть интервалов времени выделения примеси при n = 50 об/мин равнозначно 22 циклам выделения, так как в первом разгонном интервале осуществляется ≈ 1,3 цикла. Пропуск зерносмеси через всю длину стандартного кукольного цилиндра позволяет осуществить 40…60 циклов выделения при различной величине подачи зерносмеси. Поэтому для выделения легко выделяемого примесного компонента (проса) из пшеницы даже при $З_и$ = 3% достаточно половины рабочей длины кукольного цилиндра. Увеличение исходной засоренности до 5% увеличивает выделение до 7 интервалов времени (26,4 цикла) и не является критической для стандартного ячеистого цилиндра. При этом обеспечивается степень выделения примесных частиц С > 99%.

Долевое исчисление выделенной примеси указывает на идентичность протекания процесса во всем диапазоне исходной засоренности зерносмеси, рисунок 7.

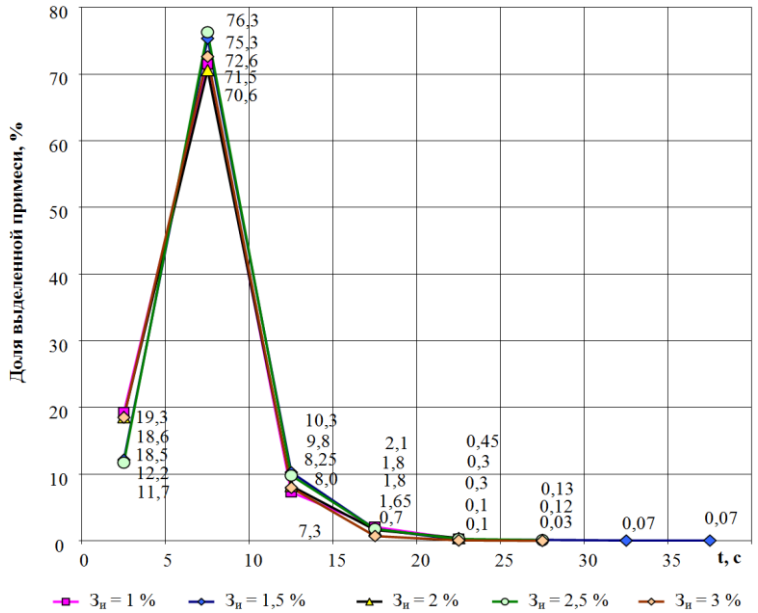


Рисунок 7 – Динамика выделения проса в зависимости от засоренности при массе зерносмеси 1000 г (в % от массы примеси)

Диапазоны долей выделенных частиц по интервалам времени представлены в таблице 2, $З_и$ = 1…3%, $m_н$ = 1,0 кг, сводные данные о динамике выделения проса из пшеницы в зависимости от $З_и$ и $m_н$ - в таблице 3.

Таблица 2 – Распределение выделенных частиц примеси по интервалам времени

Доли выделенных частиц примеси в зерносмеси, %	Номера интервалов времени						
	1	2	3	4	5	6	7
	11,7 - 19,3	70,6 -76,3	7,97 -10,3	0,73 -2,1	0,1 - 0,45	0,07	0,07

Из приведенных данных следует, что долевое выделение примесного компонента при заданной величине $m_н$ по циклам выделения практически не зависит от исходной засоренности ($З_и$). Оно является непрерывно убывающим по времени выделения, если принять во внимание, что в 1-ом интервале (разгонном) осуществляется 1…1,3 цикла, а в последующих – по 4,17 цикла.

Инвариантность долевого выделения (d) примеси от $З_и$ при $m_н$ = const позволяет

использовать усредненные результаты в анализе взаимосвязи $d = f(m_н)$ с учетом эффекта динамической сегрегации примесного компонента в слое зерновок основной культуры. Анализ усредненных результатов, представленных в таблице 3 показывает, что в 1-ом интервале времени долевое выделение примеси убывает с ростом $m_н$, во 2-ом выравнивается, а в последующих нарастает многократно (см. рисунок 2).

Таблица 3 – Динамика выделения проса в зависимости от толщины слоя зерносмеси

Масса навески, г	Засоренность, %	Степень выделения, %	Доля выделенных примесей в интервалах времени от общей массы (заданной) примеси в опыте								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
750	1	100	23,60	71,07	4,40	1,20					
	1,5	99,8	32,00	62,40	5,33	0,53					
	2	99,7	22,80	70,93	5,20	0,60	0,20				
	2,5	99,7	21,12	70,61	6,29	1,17	0,11				
	3	99,96	24,40	70,31	4,31	0,62	0,22	0,04			
1000	1	100	19,30	71,50	7,30	2,10	0,30				
	1,5	100	12,13	75,13	10,27	1,80	0,13	0,13	0,07	0,07	
	2	99,9	18,60	70,60	8,25	1,65	0,45				
	2,5	99,8	11,72	76,32	9,80	1,80	0,28	0,12			
	3	100	18,50	72,53	7,97	0,73	0,10	0,03			
1250	1	99,76	9,68	71,12	14,16	3,76	0,88	0,08			
	1,5	100	12,75	74,35	10,93	1,55	0,37	0,21			
	2	99,88	8,96	73,32	14,08	3,00	0,72	0,28	0,08	0,08	
	2,5	100	7,90	72,61	14,85	3,07	0,86	0,22	0,10	0,03	
	3	99,92	6,00	73,25	15,73	3,60	0,83	0,05	0,37	0,05	0,03
1500	1	100	9,00	64,13	20,47	4,67	1,53	0,13	0,27	0,07	
	1,5	99,96	7,82	71,33	16,04	3,33	0,84	0,27	1,33		
	2	99,8	5,43	65,80	20,73	5,43	1,63	0,73	0,10	0,07	
	2,5	100	5,81	62,11	22,08	6,67	2,32	0,75	0,11	0,19	
	3	100	5,53	66,20	20,60	5,40	1,36	0,42	0,29	0,09	
Усредненные значения											
750 г			24,78	69,06	5,11	0,83	0,18	0,04			
1000 г			16,05	73,22	8,72	1,62	0,25	0,10	0,07	0,07	
1250 г			9,06	72,93	13,95	3,00	0,73	0,17	0,18	0,06	0,03
1500 г			6,72	65,91	19,98	5,10	1,54	0,46	0,42	0,10	

Очевидно, что при этом эффект динамической сегрегации компонентов зерносмеси определяется ее потенциалом – абсолютным весовым содержанием примеси в сегменте. Выявленный нами эффект динамической сегрегации объясняет принципиальные отличия протекания процесса в кукольном цилиндре от теоретического, рисунок 8. В реальном процессе выделение легко отделяемых коротких примесей происходит кратно более интенсивно. Эти примеси не лимитируют рабочую длину ячеистой поверхности.

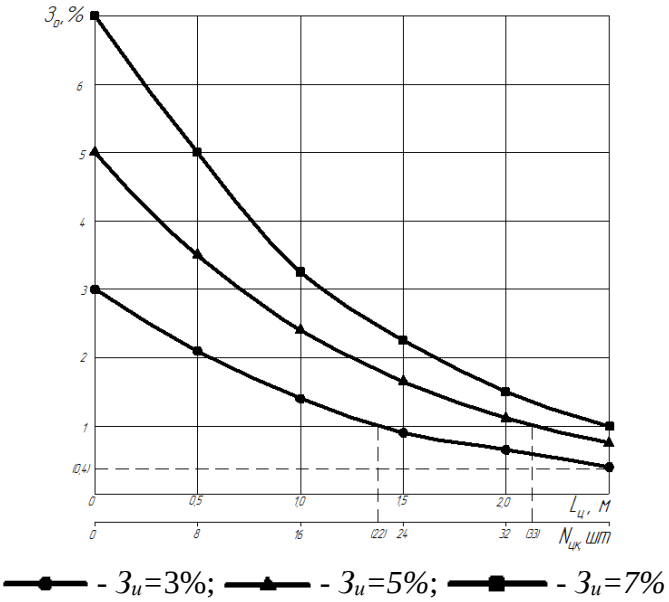


Рисунок 8 – Теоретическая зависимость остаточной засоренности от исходной засоренности, рабочей длины ячеистого цилиндра и числа циклов выделения – $З_о = f\left(З_И, L_Ц, N_{ЦК}\right)$ для r =0,3 м

Поэтому при поликомпонентой засоренности основной культуры обоснование расчетной рабочей длины ($L_р$) ячеистой поверхности следует проводить согласно соотношениям:

$$\begin{cases} З_о = (З_и - d_л)\cdot(1 - C_T) \le [З_о] \\ C_T = f(L_р);\ L_ф \ge L_р \end{cases} \quad (6)$$

где $d_л$ – доля легко отделяемой примеси, %; C_T – степень выделения трудноотделяемой примеси, в долях; $L_р$, $L_ф$ – расчетное и фактическое значения длины ячеистой поверхности, м.

Заключение. При теоретическом анализе динамики выделения примеси установлено, что за 40 циклов выделения проса остаточная засоренность составляет 0,4%. В реальном процессе за счет эффекта динамической сегрегации обеспечивается 99,53 %-ый уровень выделения примесного компонента, что соответствует остаточной засоренности зерносмеси ≈ 0,02% при $З_и$ = 3%. Сопоставление результатов указывает на 20-кратное сокращение остаточной засоренности при выделении проса из пшеницы за счет динамической сегрегации. Легко выделяемые примеси не лимитируют рабочую длину кукольного цилиндра

Список литературы

1. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины, теория, расчет, проектирование и испытание. –М.: Л.: Сельхозгиз, 1955. 856с.

2. Мироненко Д.Н. Исследование работы фрикционного триерного цилиндра // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2009. № 2. с.45 - 49.

3. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Теоретический анализ динамики выделения коротких примесей из зерносмесей ячеистой поверхностью / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. 2015. № 1 (13). С. 46-58.

4. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Повышение технологических возможностей кукольного цилиндра триерного блока / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. 2015. № 1 (13). С. 58-65.

References

1. Letoshnev M.N. Seljskokhozyayjstvennihe mashinih, teoriya, raschet, proek-tirovanie i ispihtanie. –M.: L.: Seljkhozgiz, 1955. 856s.

2. Mironenko D.N. Issledovanie rabotih frikcionnogo triernogo ci-lindra // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2009. № 2. s.45 - 49.

3. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Teoreticheskiyj analiz dinamiki vihde-leniya korotkikh primeseyj iz zernosmeseyj yacheistoyj poverkhnostjyu / N.P. Tisha-ninov, A.V. Anashkin // Nauka v centraljnoyj Rossii. 2015. № 1 (13). S. 46-58.

4. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Povihshenie tekhnologicheskikh vozmozh-nosteyj kukoljnogo cilindra triernogo bloka / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin // Nauka v centraljnoyj Rossii. 2015. № 1 (13). S. 58-65.

Отпечатано ООО «Максимал информационные технологии»
398017, г. Липецк, ул. Ушинского, 8
Email: naukacr@yandex.ru. Тел. +7 (920) 246-20-64:
Подписано в печать 10.04.2017 Заказ № 60513-01
Формат 60х84/8. Бумага офсетная. Печать электрографическая.
Гарнитура Times. Объем – 10,34 усл. печ. л. Тираж 100 экз.