«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
№4 (34), 2018 г.

Основанв 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, главный научный сотрудник, ФГБНУ ВНИИТиН

НАГОРНОВ Станислав Александрович — зам. главного редактора, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБНУ ВНИИТиН

ГОЛУБЕВ Иван Григорьевич — доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Московской области, заведующий отделом научно-информационного обеспечения инновационного развития АПК ФГБНУ «Росинформагротех»

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

ЕРОХИН Михаил Никитьевич — академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, лауреат премии Правительства РФ, профессор кафедры сопротивление материалов и детали машин РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

ЖАЛНИН Эдуард Викторович — доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники, заведующий отделом механизации уборки зерновых и послеуборочной обработки зерна и семян ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

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

КНЯЗЕВА Лариса Геннадьевна— доктор химических наук, доцент, главный научный сотрудник с возложением обязанностей Ученого секретаря ФГБНУ ВНИИТиН

КОВАЛЕВ Михаил Михайлович — доктор технических наук, заслуженный изобретатель РСФСР, академик РАН, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, научный руководитель ФГБНУ ВНИИМЛ

ЛАРЮШИН Николай Петрович — доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный работник сельского хозяйства, профессор кафедры «Механизация технологических процессов в АПК» ФГБОУ ВПО «Пензенский ГАУ»

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

МИЩЕНКО Сергей Владимирович — доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, лауреат премии Правительства РФ, член Национального комитета по теплофизическим свойствам веществ РАН, член Международной академии информатизации и Международной инженерной академии, профессор кафедры "Управление качеством и сертификация" ФГБОУ ВО ТГТУ

ПОПОВ Владимир Дмитриевич — академик РАН, доктор технических наук, профессор, президент Региональной областной организации «Санкт-Петербургская ассоциация инженеров сельского хозяйства – СПА-ИСХ», научный руководительФГБНУ «Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства»

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»

КАЗАКЕВИЧ Петр Петрович —член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, иностранный член РАН, заместитель Председателя Президиума, Национальная академия наук Беларуси, Республика Беларусь

BIANCO Vincenzo — Ph.D., Associate Professor, Department of mechanical, energy, management and transportation engineering. Associate Professor, University of Genoa, Italy.

Редакция

Журнал «НаукавЦентральнойРоссии Science in the central Russia»
Учредитель: ФГБНУ ВНИИТИН
Главный редактор: Зазуля А.Н.
№ 4 (34) 24.08.2018, 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 № ФС 77 - 66036 от 10.06.2016 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», 2018

«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ» «SCIENCE IN THE CENTRAL RUSSIA»
Научно-производственныйпериодическийжурнал Theresearch-and-productionperiodicmagazine
№4 (34), 2018 г.
Основанв 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»

Агропромышленные инновационные технологии в растениеводстве

ТИШАНИНОВ Николай Петрович — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве, ФГБНУ ВНИИТиН
КАПУСТИН Василий Петрович — доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», профессор кафедры Агроинженерия.
БАЛАШОВ Александр Владимирович — кандидат технических наук, зав. лабораторией использования машинно-тракторных агрегатов, ФГБНУ ВНИИТиН
ЕРОХИН Геннадий Николаевич — кандидат технических наук, зав. лабораторией эксплуатационных требований к сельскохозяйственной технике, ФГБНУ ВНИИТиН

Агропромышленные инновационные технологии в животноводстве

ЦОЙ Юрий Алексеевич — член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации, генеральный директор научно-производственного предприятия «Фемакс» (Москва).
ЭНГОВАТОВ Вячеслав Федорович — доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории технологии производства свинины, ФГБНУ ВНИИТиН
ДОРОВСКИХ Владимир Иванович — кандидат технических наук, зав. лабораторией управления качеством технологических процессов в животноводстве, 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

Эффективное использование нефтепродуктов, альтернативных энергоносителей

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
САЗОНОВ Сергей Николаевич — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории эксплуатационных требований к сельскохозяйственной технике, ФГБНУ ВНИИТиН

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», 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

АГРОПРОМЫШЛЕННЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ ... *4*
Балашов Александр Владимирович, Стрыгин Сергей Петрович, Синельников Александр Алексеевич, Хайруллина Сабина Гумаровна
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕЯЛКИ ДЛЯ ГНЕЗДОВОГО ПОСЕВА СЕМЯН СОИ.... 4
Balashov Alexander, Sinelnikov Alexander, Strygin Sergei, Khayrullina Sabina
THEORETICAL SUBSTANTIATION OF CONSTRUCTIVE-REGIMENT PARAMETERS OF SEEDER FOR NESTING OF SOYBEAN SEEDS.... 5
Тишанинов Николай Петрович, Анашкин Александр Витальевич
СТЕНД ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ДЛИННЫХ ПРИМЕСЕЙ ИЗ ЗЕРНОСМЕСЕЙ.... 12
Tishaninov Nikolai, Anashkin Alexander
STAND FOR EXTRACTION OF LONG-TERM APPLICATIONS FROM GRANULAR MIXTURES .. 13
Тишанинов Николай Петрович, Анашкин Александр Витальевич
ОЦЕНКА ВЗАИМОСВЯЗИ СТЕПЕНИ ЗАПОЛНЕНИЯ ЯЧЕЙ ТРИЕРНОГО ЦИЛИНДРА С РЕЖИМАМИ РАБОТЫ И НАСТРОЕЧНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ.... 24
Tishaninov Nikolai, Anashkin Alexander
ASSESSMENT OF THE INTERDEPENDENCE OF THE DEGREE OF FILLING OF YELLOW TRIPLE CYLINDER WITH OPERATING MODES AND ADJUSTABLE PARAMETERS 25
Ковалев Михаил Михайлович, Кондрашов Виктор Анатольевич, Сизов Иван Валентинович, Перов Геннадий Анатольевич
ОБОСНОВАНИЕ РАССТАНОВКИ ДИСКОВ В ИГОЛЬЧАТОЙ БОРОНЕ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ.... 33
Kovalyov Mikhail, Kondrashov Viktor, Sizov Ivan, Perov Gennady
THE SUBSTANTIATION OF THE DISSECTION OF DISCS IN THE NEEDLE HARROW FOR SURFACE PRE-TREATMENT OF THE SOIL 34
ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ, АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ *44*
Корнев Алексей Юрьевич, Романцова Светлана Валерьевна, Бусин Игорь Вячеславович, Ликсутина Анна Павловна
ВЛИЯНИЕ СИЛОВЫХ ПОЛЕЙ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ НА СОСТАВ И СВОЙСТВА НЕФТЕПРОДУКТОВ 44
Kornev Alexey, Romantsova Svetlana, Busin Igor, Lixutina Anna
INFLUENCE OF POWER FIELDS WITH VARIOUS NATURE ON COMPOSITION AND PROPERTIES OF PETROLEUM PRODUCTS 45
Корнев Алексей Юрьевич, Романцова Светлана Валерьевна, Нагорнов Станислав Александрович, Бусин Игорь Вячеславович
ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОФАКТОРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СВЕТЛЫЕ НЕФТЕПРОДУКТЫ 54
Kornev Alexey, Romantsova Svetlana, Nagornov Stanislav, Busin Igor
INVESTIGATION OF MULTIFACTOR IMPACT ON LIGHT PETROLEUM PRODUCTS 55
Князева Лариса Геннадьевна, Петрашев Александр Иванович, Клепиков Виктор Валерьевич, Дорохов Андрей Валерьевич, Зарапина Ирина Вячеславовна
МАЗУТНЫЕ СОСТАВЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ОТ АТМОСФЕРНОЙ КОРРОЗИИ.... 65
Knyazeva Larisa, Petrashev Alexandr, Klepikov Victor, Dorokhov Andrei, Zarapina Irina
FUEL OIL COMPOSITIONS FOR PROTECTION OF AGRICULTURAL TECHNIQUES FROM THE ATMOSPHERIC CORROSION.... 66
Петрашев Александр Иванович, Клепиков Виктор Валерьевич, Князева Лариса Геннадьевна, Зарапина Ирина Вячеславовна
ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОЦЕНКИ СМАЧИВАЮЩИХ СВОЙСТВ КОНСЕРВАЦИОННЫХ СОСТАВОВ.... 73
Petrashev Alexandr, Klepikov Victor, Knyazeva Larisa, Zarapina Irina
EXPRESS METHOD FOR ESTIMATION OF THE WETTING PROPERTIES OF CONSERVATIVE COMPOSITIONS.... 74

УДК 631.331.56: 631.33.022.66

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕЯЛКИ ДЛЯ ГНЕЗДОВОГО ПОСЕВА СЕМЯН СОИ

Балашов Александр Владимирович,
кандидат технических наук, доцент, e-mail: ntc.agro@yandex.ru
Стрыгин Сергей Петрович,
кандидат технических наук, e-mail: sew1982@gmail.com
Синельников Александр Алексеевич,
кандидат технических наук, e-mail: ntc.agro@yandex.ru

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов
Хайруллина Сабина Гумаровна,
аспирант, *ФГБОУ ВО Тамбовский государственный технический университет, Тамбов,*
E-mail: hsg1988@mail.ru

Реферат. *Для обеспечения заданной нормы высева семян сои гнездовым способом предложена методика расчета диаметра отверстий (ячеек) и расстояния между ними с учетом размеров семян для высевающего диска. Выявлена необходимость соблюдения условий, при которых центральный угол между осями отверстий (ячеек) в группе должен быть больше, чем отношение диаметра отверстия к радиусу окружности размещения отверстий (ячеек) на высевающем диске. Обосновано предельное передаточное отношение максимально возможной скорости посевного агрегата и критической скорости высевающего диска для гарантированного присасывания семян к отверстиям диска. Получена аналитическая зависимость для определения количества отверстий (ячеек) определенного диаметра, расположенных на окружности высевающего диска заданного радиуса. При заданном значении центрального угла между центрами отверстий (ячеек) в группе в 5^0 центральный угол между группами с определенным количеством отверстий (ячеек) и расположенных на окружности заданного диаметра (0,168 м), в зависимости их от количества составляет от 7,41 до 19^0 при двух отверстиях (ячеек) в группе; от 7,14 до $41,43^0$ - при трех; от 3,95 до 57^0 – при четырех отверстиях (ячеек) в группе. Получена аналитическая зависимость для определения расстояния между семенами в гнезде и между гнездами, в зависимости от значений центральных углов между отверстиями в группе и группами отверстий на окружности заданного диаметра, диаметра опорно-приводного колеса сеялки и передаточного отношения от приводного колеса к высевающему диску. Численным экспериментом определено, что расстояние между семенами в гнезде при передаточных отношениях 0,357 - 0,577 составляет 0,062 - 0,038 м, а расстояние между гнездами при этих же передаточных отношениях, варьирует в небольших пределах от 0,1 м. Спроектирован и изготовлен высевающий диск для лабораторных исследований гнездового способа посева семян сои.*

Ключевые слова: *семена сои, гнездовой посев, сеялка, высевающий диск, параметры.*

THEORETICAL SUBSTANTIATION OF CONSTRUCTIVE-REGIMENT PARAMETERS OF SEEDER FOR NESTING OF SOYBEAN SEEDS

Balashov Alexander,
Candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: ntc.agro@yandex.ru
Sinelnikov Alexander,
Candidate of technical sciences, e-mail: ntc.agro@yandex.ru
Strygin Sergei,
Candidate of technical sciences, e-mail: sew1982@gmail.com
Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Tambov
Khayrullina Sabina,
Graduate student, Tambov State Technical University, Tambov,
e-mail: hsg1988@mail.ru

Abstract. *The method of calculating the diameter of the holes (cells) and the distance between them, taking into account the seed sizes for the sowing disk, was proposed to ensure preset rate of seed sowing by nesting method. The need to comply with the conditions under which the central angle between the axes of the holes (cells) in the group should be greater than the ratio of the diameter of the hole to the radius of the circle of the location of the holes (cells) on the sowing disk is detected. The limiting gear ratio of the maximum possible speed of the seeding machine and the critical speed of the sowing disk for a guaranteed suction of seeds to the disk holes is justified. The analytical dependence for determining the number of holes (cells) of a certain diameter located on the circumference of the sowing disk of a given radius was obtained. At a given value of the central angle between the centers of the holes (cells) in the group of 50, the central angle between the groups with a certain number of holes (cells) and located on a circle of a given diameter (0.168 m), depending on their number is from 7.41 to 190 for two holes (cells) in the group; from 7.14 to 41.430 - at three; from 3.95 to 570 - with four holes (cells) in the group. An analytical relationship is obtained to determine the distance between seeds in the nest and between the nests, depending on the values of the central angles between the holes in the group and the groups of holes on the circumference of the specified diameter, the diameter of the seed drill wheel and the ratio of the drive wheel to the sowing disk. It was determined by numerical experiment that the distance between the seeds in the nest at the ratios of 0.357-0.577 is 0.062-0.038 m, and the distance between the nests with the same gear ratios varies within a small range from 0.1 m. The sowing disc for laboratory studies of the nesting method of soybean seed sowing is designed and manufactured.*

Keywords: *soybean seeds,* nesting*, seeder, sowing disk, characteristics.*

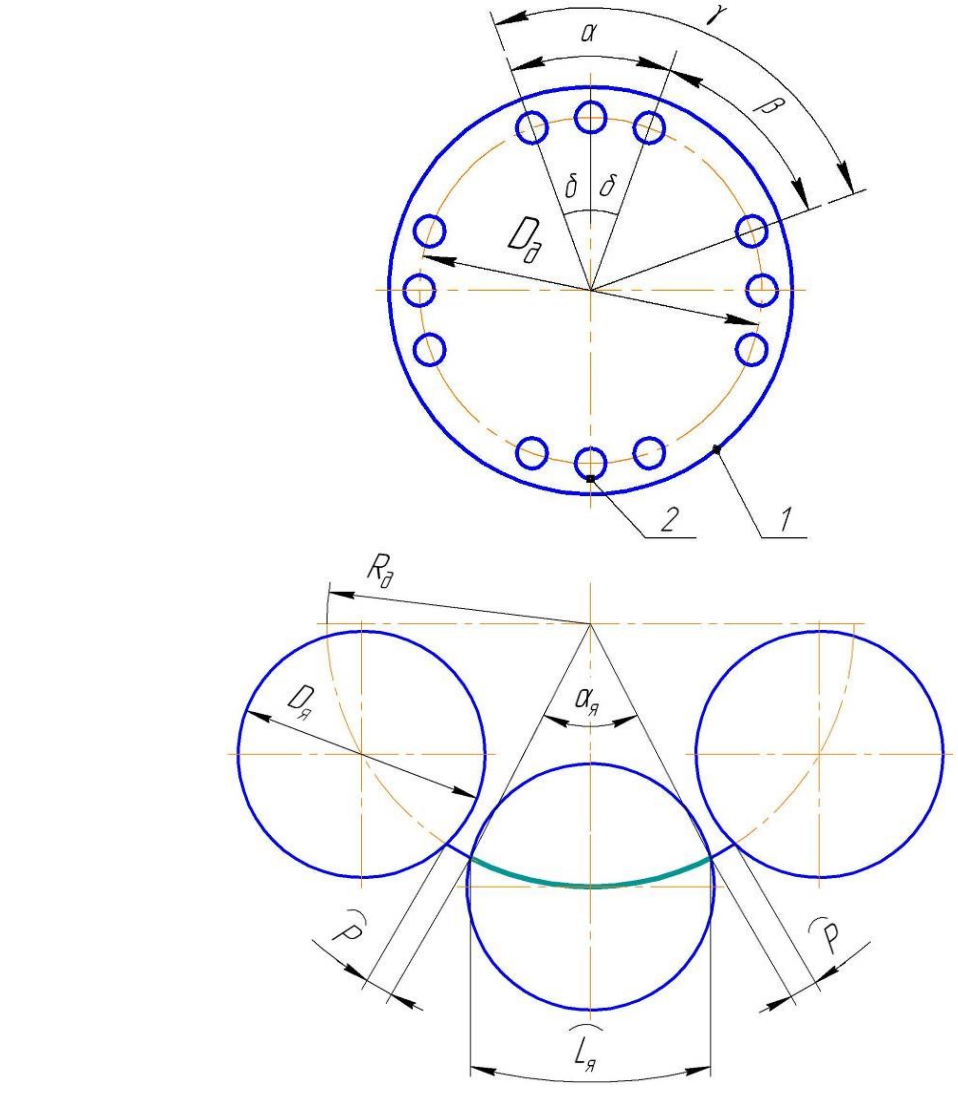
Введение. Одной из важной технологической операцией при возделывании сои является посев. Способ посева сои зависит от сорта, влагообеспеченности, засоренности поля, технической оснащенности хозяйства, наличия средств защиты. Высевают сою несколькими способами: широкорядным, ленточным, пунктирным, узкорядным (сплошной посев) [1]. Разновидностью широкорядного способа посева является гнездовой посев, при котором семена высеваются не сплошной строчкой, а гнездами на равных расстояниях друг от друга, по несколько семян в каждом [2]. При этом способе экономнее расходуются семена, быстрее появляются всходы, облегчается уход за растениями механизированным способом, соя лучше

ветвится, возрастает количество бобов, семян в бобе, что в результате повышается урожайность растения. [3]

Материалы и методы. Для посева семян гнездовым способом с заданной нормой высева необходимо иметь сеялку с высевающими аппаратами, оснащенными дисками с отверстиями (ячейками) диаметром, согласованным с размерами семян, и размещенными группами с заданным количеством и обоснованным интервалом на окружности определенного диаметра и обоснованной длиной дуги между группами отверстий.

Суммарное количество отверстий (ячеек) $N_я$ на высевающем диске определяется их количеством в группе k и количеством групп n. Центральный угол между центрами отверстий (ячеек) в группе обозначим α, а центральный угол между центрами крайних отверстий (ячеек) соседних групп - β, а суммарное значение этих углов через γ, рисунок 1а, т.е.

$$\gamma = \alpha + \beta , \quad (1)$$



а) б)

1 – высевающий диск, 2 – отверстие (ячейка)

Рисунок 1 – Схема высевающего диска с отверстиями (ячейками)

Угол группы отверстий (ячеек) α задается их количеством и определяется по формуле:

$$\alpha = \delta (k - 1) , \quad (2)$$

где δ – центральный угол между центрами отверстий (ячеек) в группе; k – количество отверстий (ячеек) в группе.

Количество групп отверстий (ячеек) n определяется отношением общего количества отверстий (ячеек) на диске $N_я$ к их количеству в группе k:

$$n = \frac{N_я}{k}. \quad (3)$$

Длину окружности высевающего диска, на которой расположены группы отверстий (ячеек) можно представить в виде:

$$n \cdot \gamma = 2\pi . \quad (4)$$

Тогда после подстановки выражений (1), (2), (3) в формулу (4) получим выражение для определения длины окружности высевающего диска:

$$\frac{N_я}{k}[\delta (k - 1) + \beta] = 2\pi . \quad (5)$$

Длину окружности высевающего диска, на которой расположены отверстия (ячейки) можно выразить суммарным количеством длин дуг проходящих через центры всех отверстий (ячеек) определенного диаметра и суммарной длиной дуг перемычек между отверстиями (ячейками) в группе и между группами, рисунок 1б:

$$L_д = D_д \cdot \pi = N_я \cdot L_я + \sum P , \quad (6)$$

где $L_д$ – длина окружности высевающего диска, м; $D_д = 2 R_д$ – диаметр высевающего диска, на котором расположены отверстия (ячейки), м; $L_я$ – длина дуги окружности высевающего диска, проходящей через центр отверстия (ячейки) $D_я$, м; P – длина дуги перемычки между отверстиями (ячейками).

Центральный угол дуги высевающего диска, ограниченный внешними контурами отверстия (ячейки) определяется диаметрами высевающего диска и отверстия (ячейки) по формуле:

$$\alpha_я = 4 \cdot \arcsin\left(\frac{D_я}{4 \cdot R_д}\right) , \quad (7)$$

где $\alpha_я$ – центральный угол дуги ограниченной внешним контуром отверстия (ячейки) высевающего диска, рад, $D_я$ – диаметр отверстия (ячейки), м.

Длина дуги окружности, ограниченная внешним контуром отверстия (ячейки) с учетом формулы (7) определяется по выражению:

$$L_я = \alpha_я \cdot R_д = 4 \cdot R_д \cdot \arcsin\left(\frac{D_я}{4 \cdot R_д}\right) . \quad (8)$$

После подстановки выражения (8) в формулу (6) получим длину окружности высевающего диска выраженную через его радиус и диаметр отверстий (ячеек):

$$L_д = 4 \cdot N_я \cdot R_д \cdot \arcsin\left(\frac{D_я}{4 \cdot R_д}\right) + \sum P . \quad (9)$$

Суммарная длина дуг всех перемычек определяется количеством отверстий (ячеек) в группе и количеством групп:

$$\sum P = n \cdot (k - 1)(L_\delta - L_я) + n \cdot (L_\beta - L_я) , \quad (10)$$

где L_δ – длина дуги перемычки между отверстиями (ячейками) в группе, проходящей через центр отверстия (ячейки), м; L_β – длина дуги перемычки между группами отверстий (ячеек), м.

Длина дуг перемычек определяется выражениями:

$$L_{\delta} = \delta \cdot R_{\partial}, \quad (11); \; L_{\beta} = \beta \cdot R_{\partial}, \quad (12)$$

После подстановки в формулу (10) выражений (8), (11), (12) и преобразования получим выражение для определения суммарной длины дуг всех перемычек на окружности высевающего диска:

$$\sum P = n \cdot R_{\partial}[k \cdot (\delta - 4 \cdot \arcsin(\frac{D_{я}}{4 \cdot R_{\partial}})) - \delta + \beta]. \quad (13)$$

Количество отверстий (ячеек) и их групп на окружности высевающего диска определяется нормой высева семян при гнездовом способе и передаточным отношением от опорно-приводного колеса сеялки к высевающему диску. Эти же показатели учитываются нами при обосновании режимов работы посевного агрегата. При этом необходимо соблюдать условия по высеву заданной нормы и максимально возможной частоты вращения высевающего диска обеспечивающей надежное присасывание семян ко всем отверстиям (западания семян в ячейки) определенной формы и размерных характеристик.

Норма высева семян сои на одном гектаре определяется исходя из особенностей сорта и зоны ее возделывания по известной формуле[1]:

$$q = \frac{N_{я} \cdot i}{\pi \cdot D_{к}}, \quad (14)$$

где q – норма высева семян, шт./м; i – передаточное отношение от опорно-приводного колеса к высевающему диску; $D_к$ – диаметр опорно-приводного колеса сеялки, м.

При этом передаточное отношение можно выразить через отношение частот вращения высевающего диска и опорно-приводного колеса, определяемых по известной формуле, после преобразования, которой получим следующее выражение:

$$i = \frac{\omega_{\partial}}{\omega_{к}} = \frac{V_{\partial} \cdot D_{к}}{V_{c} \cdot D_{\partial}}, \quad (15)$$

где V_∂ – линейная скорость высевающего диска, м/с; V_c – скорость посевного агрегата; D_∂ – диаметр высевающего диска, м; ω_∂ – частота вращения высевающего диска, $с^{-1}$; $\omega_к$ – частота вращения приводного колеса сеялки, $с^{-1}$.

Результаты и обсуждение. Для соблюдения агротехнических требований по показателям качества посева сеялками точного высева и с учетом результатов исследований по определению предельно допустимой линейной скорости диска высевающего аппарата не более 0,5 м/с, скорость посевного агрегата не должна превышать 2,5 м/с [4, 5, 6].

При использовании пневматических высевающих аппаратов с диаметром высевающего диска D_∂=0,168 м, на сеялках с опорно-приводным колесом диаметром $D_к$=0,5м, с названным соотношением скоростей определили по формуле (15), предельное передаточное отношение, которое не должно превышать значения i=0,59.

С учетом нормы высева семян и передаточного отношения от приводного колеса к высевающему диску равное i=0,59 определили необходимое общее количество отверстий (ячеек) на высевающем диске, которое варьирует от 20 до 80 шт.

Центральный угол между центрами отверстий (ячеек) в группе с учетом их диаметра и диаметра высевающего диска, размерных и фрикционных свойств семян сои [7] принят нами $D_я$=4,2 мм, δ=5° (0,0873 рад).

В результате численного эксперимента определены значения центрального угла между центрами крайних отверстий (ячеек) соседних групп в зависимости от диаметров высевающего диска и отверстий (ячеек), их количества и представлены в таблице 1.

Таблица 1. Значения центральных углов между центрами крайних отверстий (ячеек) соседних групп

k=2			k=3			k=4		
Количество ячеек высевающего диска	Количество групп ячеек	Угол между группами β°	Количество ячеек высевающего диска	Количество групп ячеек	Угол между группами β°	Количество ячеек высевающего диска	Количество групп ячеек	Угол между группами β°
30	15	19	21	7	41,43	20	5	57
32	16	17,5	24	8	35	24	6	45
34	17	16,18	27	9	30	28	7	36,43
36	18	15	30	10	26	32	8	30
38	19	13,95	33	11	22,73	36	9	25
40	20	13	36	12	20	40	10	21
42	21	12,14	39	13	17,69	44	11	17,73
44	22	11,36	42	14	15,71	48	12	15
46	23	10,65	45	15	14	52	13	12,7
48	24	10	48	16	12,5	56	14	10,7
50	25	9,4	51	17	11,18	60	15	9
52	26	8,85	54	18	10	64	16	7,5
54	27	8,33	57	19	8,95	68	17	6,18
56	28	7,86	60	20	8	72	18	5
58	29	7,41	63	21	7,14	76	19	3,95

Из данных таблицы 1 следует, что при заданном значении центрального угла между центрами отверстий (ячеек) в группе в δ=5º, угол между центрами крайних отверстий (ячеек) соседних групп варьирует от 7,41º до 19º при двух отверстиях (ячейках) в группе, от 7,14º до 41,43º- при трех и от 3,95º до 57º – при четырех.

Расстояния между семенами в гнезде и гнездами определены по выражениям:

$$l_{\delta} = \delta \frac{D_{к}}{2 \cdot i}, \quad (16);$$

$$l_{\beta} = \beta \frac{D_{к}}{2 \cdot i}, \quad (17)$$

где l_{δ} – расстояние между семенами в гнезде, м ;l_{β} – расстояние между гнездами, м.

В результате численного эксперимента с применением выражений (16,17) определили расстояния между семенами в гнезде и между гнездами, которые в графическом виде представлены на рисунках 2 и 3.

Из графика рисунка 2 следует, что расстояние между семенами в гнезде варьируется от 38 до 62 мм при передаточных отношениях 0,357 и 0,577.

Расстояния в рядке между гнездами с тремя семенами с центральными углами между центрами отверстий и центрами крайних отверстий соседних групп на высевающем диске соответственно 7,1º-30º варьируют в широких пределах. Наиболее приемлемыми с

агротехнической точки зрения является расстояние между гнездами не превышающее 100 мм при изменении передаточного отношения в пределах 0,395-0,5 и β=10°.

Рисунок 2 – Расстояние между семенами в гнезде

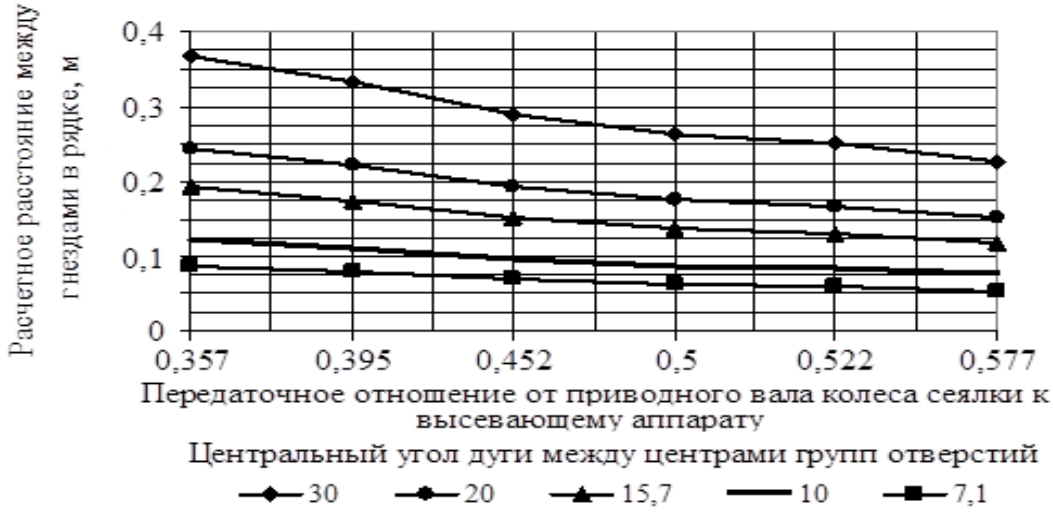


Рисунок 3 – Расстояние между гнездами семян в рядке

На рисунке 4 представлена расчетная норма высева семян в зависимости от конструктивно-режимных параметров сеялки.

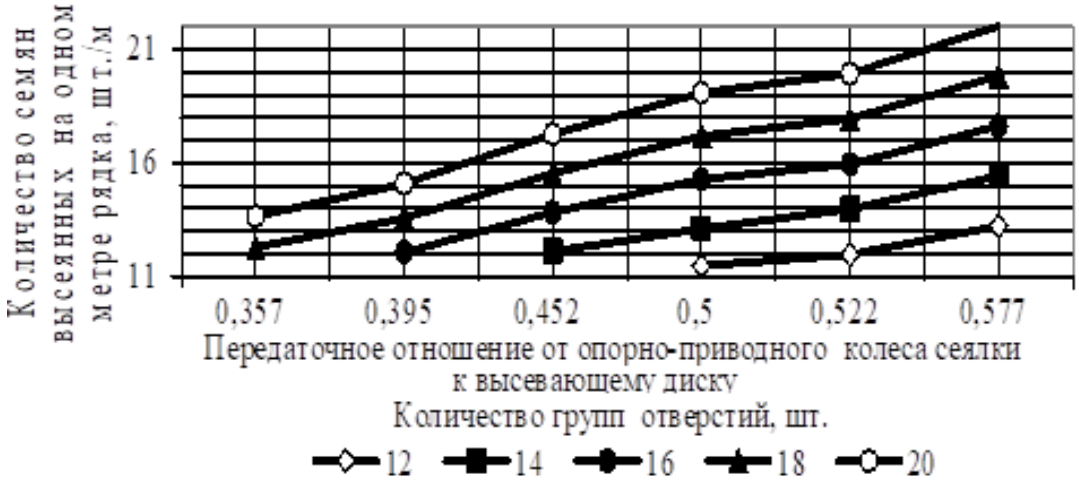


Рисунок 4 – Норма высева семян в зависимости от конструктивно-режимных параметров сеялки

Из анализа графиков рисунка 4 видно, что необходимая норма высева семян варьируется в пределах от 12,5 до 19,5 шт. на погонном метре рядка, при количестве отверстий (ячеек) высевающего диска $N_я$=54, при изменении передаточного отношения от 0,357до 0,577.

Согласно полученным данным, для дальнейших исследований нами изготовлен высевающий диск со следующими конструктивными параметрами: $N_я$=54, k=3, δ=5°, β=10°, который представлен на рисунке 5.

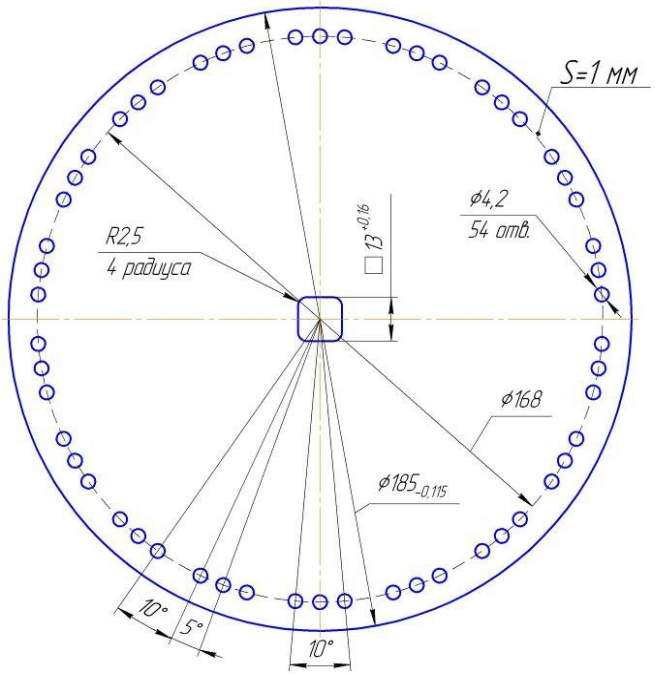


Рисунок 5 – Высевающий диск для гнездового посева семян сои

Заключение. Получены выражения для определения количества отверстий (ячеек) высевающего диска, в зависимости от его радиуса, диаметра отверстий (ячеек) и центрального угла между центрами отверстий (ячеек) в группе и центрального угла между центрами крайних отверстий (ячеек) соседних групп. Для обеспечения необходимой нормы высева семян сои с заданными расстояниями между семенами в гнезде и между гнездами, определены конструктивно-режимные параметры высевающего диска и сеялки для гнездового посева, которые были использованы при изготовлении и настройки модернизированной сеялки.

Список литературы

1. Перспективная ресурсосберегающая технология производства сои: Метод. рекомендации. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 56 с.
2. Рыбалкина, Н.Н. Влияние норм высева и способов посева на урожайность сои / Н.Н. Рыбалкина // Земледелие. – 2000. – № 1. – С. 23.
3. Пат. 2127032 Российская Федерация, МПК A01C7/04. Способ высева семян и устройство для его осуществления / В.Д. Липин, С.А. Шишлов; заявитель и патентообладатель Приморская государственная сельскохозяйственная академия. – № 97100615/13; заявл. 16.01.1997, опубл. 10.03.1999, Бюл. №5. – 7 с. : ил.
4. Горячкин, В.П. Собрание сочинений в 3-х томах / В.П. Горячкин – М.: Колос, т.2 – 459 с.
5. Бузенков, Г.М. Машины для посева сельскохозяйственных культур / Г.М. Бузенков, С.А. Ма – М.: Машиностроение, 1976. – 272 с.
6. Балашов, А.В. Использование широкозахватных агрегатов для высева сахарной свеклы / А.В. Балашов // Сахарная свекла. – 2004. – №1. – С. 12.
7. Балашов, А.В. Определение физико-механических свойств семян сои / А.В. Балашов, С.П. Стрыгин, А.А. Синельников, В.П. Капустин, С.Г. Хайруллина // Наука в центральной России. – 2017. – №2. – С. 5 – 12.

References

1. Perspektivnaya resursosberegayushchaya tekhnologiya proizvodstva soi: Metod. rekomendacii. – M.:FGNU «Rosinformagrotekh», 2008. – 56 s.
2. Rybalkina, N.N. Vliyanie norm vyseva i sposobov poseva na urozhajnost' soi / N.N. Rybalkina // Zemledelie. – 2000. – № 1. – S. 23.
3. Pat. 2127032 Rossijskaya Federaciya, MPK A01S7/04. Sposob vyseva semyan i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya / V.D. Lipin, S.A. SHishlov; zayavitel' i patentoobladatel' Pri-morskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya. – № 97100615/13; zayavl. 16.01.1997, opubl. 10.03.1999, Byul. №5. – 7 s. : il.
4. Goryachkin, V.P. Sobranie sochinenij v 3-h tomah / V.P. Goryachkin – M.: Kolos, t.2 – 459 s.
5. Buzenkov, G.M. Mashiny dlya poseva sel'skohozyajstvennyh kul'tur / G.M. Buzenkov, S.A. Ma – M.: Mashinostroenie, 1976. – 272 s.
6. Balashov, A.V. Ispol'zovanie shirokozahvatnyh agregatov dlya vyseva saharnoj svekly / A.V. Balashov // Saharnaya svekla. – 2004. - №1. – S. 12.
7. Balashov, A.V. . Opredelenie fiziko-mekhanicheskih svojstv semyan soi / A.V. Balashov, S.P. Strygin, A.A. Sinel'nikov, V.P. Kapustin, S.G. Hajrullina // Nauka v central'-noj Rossii. – 2017. - №2. – S. 5 – 12.

УДК.631.303

СТЕНД ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ДЛИННЫХ ПРИМЕСЕЙ ИЗ ЗЕРНОСМЕСЕЙ

Тишанинов Николай Петрович,
доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник лаборатории,
e-mail: av-anashkin@mail.ru

Анашкин Александр Витальевич,
кандидат технических наук, заведующий лабораторией,
e-mail: av-anashkin@mail.ru

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов

Реферат. *Обоснована необходимость снижения длины стендовой ячеистой поверхности с целью увеличения угла наклона днища выводного лотка к горизонту при выделении длинных примесей, обладающих повышенной асимметрией геометрических размеров и ограниченной динамикой движения по наклонным плоскостям при их выбросе ячеями в выводной лоток. Установлено, что для исходного положения выводного лотка с углом подъема верхней кромки передней стенки в 300 наклон к горизонту осевой линии днища составляет 43,50, а в нижнем положении кромки с углом подъема в 150 наклон критических траекторий движения выделенных длинных частиц зерносмеси к горизонту составляет 310. Снижение исходного положения выводного лотка на 50 обеспечивает угол наклона осевой линии его днища на уровне 41,90, но угол наклона критической траектории движения частиц к горизонту возрастает до 32,340. Дано обоснование, что дальнейшее снижение начального положения верхней кромки передней стенки выводного лотка нарушает объективную оценку динамики технологического процесса, так как верхняя кромка попадает в зону циркуляции слоев зернового сегмента. Расчетным путем определен диапазон загрузки ячеистого цилиндра стенда, необходимого для воспроизведения расходных характеристик стандартного цилиндра в диапазоне 23…100% от номинального значения. С использованием разработанного нами метода идентификации расходных характеристик триерного блока по результатам стендовых исследований установлена кратность суммирования частных закономерностей стендовых реализаций динамики технологического процесса. Подтверждена эффективность решений по устранению влияния пристенных эффектов на динамику процесса в стендовых исследованиях за счет торцевого зазора между задней стенкой выводного лотка и приводным диском, и использования цилиндрической обечайки на блокирующем кольце.*

Ключевые слова: *стенд, ячеистый цилиндр, зерносмесь, длинные примеси, углы наклона, критические траектории, эквивалентная загрузка, скоростные режимы, динамика процесса.*

STAND FOR EXTRACTION OF LONG-TERM APPLICATIONS FROM GRANULAR MIXTURES

Tishaninov Nikolai,
Full Doctor of Technical Sciences, Professor,
Chief Researcher of the Laboratory,
E-mail: av-anashkin@mail.ru
Anashkin Alexander,
Candidate of Technical Sciences, Head of Laboratory,
e-mail: av-anashkin@mail.ru

Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Tambov

Abstract*. The need to reduce the length of the bench cellular surface in order to increase the angle of inclination of the bottom of the output tray to the horizon with the allocation of long impurities that have an increased asymmetry of geometric dimensions and limited dynamics of the motion along inclined planes when they are ejected into the output tray is justified. It has been established that for the initial position of the output tray with the angle of rise of the upper edge of the front wall of 300, the slope to the horizon of the axial line of the bottom is 43,50, and in the lower position of the edge with an angle of 150 degrees, the slope of the critical trajectories of the separated long grain grain particles to the horizon is 310 . Reducing the initial position of the output tray by 50 provides an angle of inclination of the axial line of its bottom at 41,90, but the angle of inclination of the critical trajectory of particles to the horizon increases to 32,340. It is justified that further lowering of the initial position of the upper edge of the front wall of the output tray disrupts the objective assessment of the dynamics of the technological process, since the upper edge falls into the zone of circulation of the layers of the grain segment. The range of loading of the mesh cylinder of the stand, which is necessary for reproducing the consumption characteristics of a standard cylinder within the range of 23 ... 100% of the rated value, is determined by calculation. With the use of the method developed by us to identify the consumption characteristics of the trihedral unit, the multiplicity of the summation of the individual regularities of bench implementations of the dynamics of the technological process is established by the results of bench studies. The effectiveness of solutions to eliminate the effect of wall effects on the dynamics of the process in bench research due to the end clearance between the back wall of the output tray and the drive disk and the use of a cylindrical shell on the locking ring was confirmed.*

Keywords*: stand, mesh cylinder, grain mixture, long impurities, tilt angles, critical trajectories, equivalent loading, speed regimes, process dynamics.*

Введение. Динамика процесса выделения примесных частиц из зерносмесей по всей длине ячеистых цилиндров не может быть установлена без специального стендового оборудования. Разработанные нами стенды обеспечивают стабильность воспроизведения указанного процесса в необходимом диапазоне расходных характеристик и исследуемых свойств зерносмесей. При углах наклона днища выводного лотка в 31^0 обеспечивалась достаточная стабильность процесса выделения зерновок основной культуры (пшеницы) и коротких примесей. Они обладают достаточной динамикой движения по наклонным поверхностям после выброса этих частиц ячеями в выводной лоток. Однако, длинные примеси обладают повышенной асимметрией геометрических размеров и большим углом трения по стальным поверхностям, что создает риски гарантированного вывода длинных частиц по критическим траекториям движения, которые представляют собой линии пересечения днища выводного лотка и боковых стенок. Поэтому обоснование параметров стенда, адаптированного к более широкому диапазону свойств рабочей среды и критическим траекториям движения частиц представляет собой актуальную задачу.

Методы и средства. В работе использовались основные положения классической теории триеров, метод идентификации расходных характеристик ячеистых цилиндров триерных блоков по результатам стендовых исследований, расчетно-конструктивные методы.

Результаты и обсуждение. В фундаментальных науках две физические категории (пространство и время) чаще всего объединяются в одну, так как при толковании сущности ряда явлений они являются эквивалентами. Например, один человек, оценивая предстоящий

путь говорит – «далеко», а второй, соглашаясь, говорит – «долго». Это свойство двух замечательных физических категорий, условно разделяемых в понятийном смысле, возможно эффективно использовать в решении ряда прикладных задач.

При исследовании динамики выделения примесных частиц из зерносмесей возникают непреодолимые трудности методического характера. Например, очистка зерносмесей от легких примесей, которые «всплывают» в циркулирующем сегменте в верхние слои и не контактируют с ячеистой поверхностью, продолжается по времени весьма долго. Если использовать для исследований динамики процесса разделения зерносмесей ячеистые поверхности разной длины, то для обеспечения минимальной остаточной засоренности потребуется длина ячеистой поверхности в десятки метров. Реализация таких экспериментов потребует огромных материальных затрат, но самое главное препятствие с методической точки зрения заключается в том, что возможность контроля интервальных оценок расходных характеристик и производных от них показателей процесса при большой длине ячеистой поверхности исключается.

Без контроля процесса по длине ячеистой поверхности нельзя получить объективные результаты исследований, необходимые для совершенствования технологии и ее управления, так как условия протекания процесса непрерывно меняются: в овсюжном цилиндре убывают размеры зернового сегмента, сокращается число циркулирующих слоев, вариативно изменяются условия захвата зерновок основной культуры ячеями; в кукольном – убывает концентрация коротких примесных частиц.

В созданных нами стендах циклического действия [1-4] для исследований ячеистых поверхностей пространство заменено на время. Возможность такой замены вытекает из классической теории триеров, в которой рассматривается перемещение зернового сегмента единичной длины вдоль ячеистой поверхности со скоростью, которая зависит от его параметров и скоростного режима. При этом в овсюжном цилиндре высота перемещаемого сегмента изменяется от начальной величины, определяемой подачей, а в кукольном – она не изменяется в течении всего процесса из-за достаточно малого содержания примесных компонентов.

И в том и другом случае выделяемые зерновки основной культуры или примесные частицы непрерывно отводятся из ячеистого цилиндра ограниченной длины через наклонный отводной лоток. Экспериментатор через равные интервалы времени производит отбор выделенных частиц. Процесс можно продолжать сколь угодно долго, а затем по величине скорости осевого смещения сегмента зерносмеси для заданных его параметров в реальном технологическом процессе рассчитывать эквивалентную длину ячеистой поверхности, соответствующей любому значению результативного показателя (остаточной засоренности) [5-6].

Детальный анализ процесса, протекающего в исследовательском стенде с ограниченной длиной ячеистой поверхности указывает на имеющееся противоречие. Оно заключается в следующем: длина стендовой ячеистой поверхности должна быть достаточной для того, чтобы минимизировать погрешность измерений, обусловленную возможными пристенными эффектами и другими факторами.

Однако, с увеличением длины ячеистой поверхности стенда по объективным конструктивным причинам снижается угол наклона днища отводного лотка, что создает риски в обеспечении точности контроля интервалов времени процесса из-за нестабильности отвода

примесных частиц с критическими значениями углов трения. Эти свойства характерны для длинных примесных частиц.

Кроме того, исследования процессов разделения зерносмесей с использованием стендов циклического действия в некотором диапазоне углов подъема верхней кромки передней стенки лотка сопровождаются снижением фактических значений углов наклона траекторий движения выделенных частиц к горизонту. К этим зонам относятся линии сопряжения боковых стенок и днища выводного лотка.

Из изложенного выше следует, что при исследовании зерносмесей с включением в нее примесных частиц с экстремальными свойствами необходимо решить это противоречие, сокращая длину ячеистой поверхности и контролируя расчетным путем критические траектории движения выделенных частиц по выводному лотку. На решение этой компромиссной задачи направлен ниже следующий теоретический анализ.

При исследовании динамики выделения зерновок основной культуры из зерносмеси нами использовался стенд циклического действия с длиной ячеистого цилиндра $L_ц$ = 0,5 *м* и его диаметром $D_ц$ = 0,6 *м*. При этом диапазон углов подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка составлял $\gamma_n = 20...40^0$, угловая скорость – $n = 30...45 об/мин$, а угол наклона осевой линии днища выводного лотка – $\alpha_0 = 31^0$.

Величина $\alpha_0 = 31^0$ была достаточна для стабильного отвода из ячеистого цилиндра зерновок основной культуры, но при граничных величинах γ_n из указанного диапазона стабильность процесса нарушается из-за снижения реальных углов наклона критических траекторий движения зерновок.

Кроме того, нами установлено существенное влияние эффекта инерционного удержания частиц с ростом n, что требует смещения области поиска оптимальных значений n и γ_n в сторону понижения, когда риски выноса в лоток длинных примесей, обладающих большей связностью будут снижаться. Поэтому при выделении длинных примесей с углом трения покоя по стали до 35^0 и $\gamma_{n\min} = 15^0$ необходимы существенное увеличение угла наклона днища выводного лотка к горизонту и последующая проверка углов наклона критических траекторий движения выделенных частиц в лотке.

Расчетная схема представлена на рисунках 1 и 2. Величина диаметра ячеистого цилиндра 1 выбрана стандартной $D_ц = 600 мм$, а его длина значительно сокращена $L_ц = 350 мм$. Торцевой зазор ($З_Т$) между задней стенкой выводного лотка и приводным диском 2, предназначенный для нивелирования пристенного эффекта, составляет $10 мм$. В передней части стенда пристенный эффект от блокирующего кольца 7 предотвращается цилиндрической обечайкой длиной 20 *мм* (на рисунках условно не показана). Радиальный зазор между верхними кромками стенок, выводного лотка 3 и ячеистым цилиндром 1 выбран по аналогии со стандартным триерным блоком - $З_Т = 20 мм$ с возможностью регулирования. Радиальный зазор между крайними точками ($Е$ и $Г$) следа от торцевой плоскости на днище выводного лотка и кольцом составляет $10 мм$.

Для принятых параметров стенда величина наклона осевой линии днища 6 выводного лотка 3 к горизонту при $\gamma_n = 30^0$ составляет $43,5^0$. Критические (минимальные) углы наклона

траекторий движения примесных частиц по линии ГВ будут наблюдаться при уменьшении γ_n . Исследуем диапазон $\gamma_n = 30^0 \ldots 15^0$ с интервалом в 5^0 .

Длина отрезка прямой в 3-х мерном пространстве может быть задана (и определена) диагональю параллелепипеда, длина которого равна размеру его горизонтальной проекции в осевом направлении, а фронтальная проекция совпадает с диагональю торцевой плоскости параллелепипеда, рис. 3.

Из рисунка 3 следует, что длина линии сопряжения ($\overline{ГВ}$) днища и передней боковой стенки выводного лотка, не выходящей за торцевую плоскость, определяется по формуле:

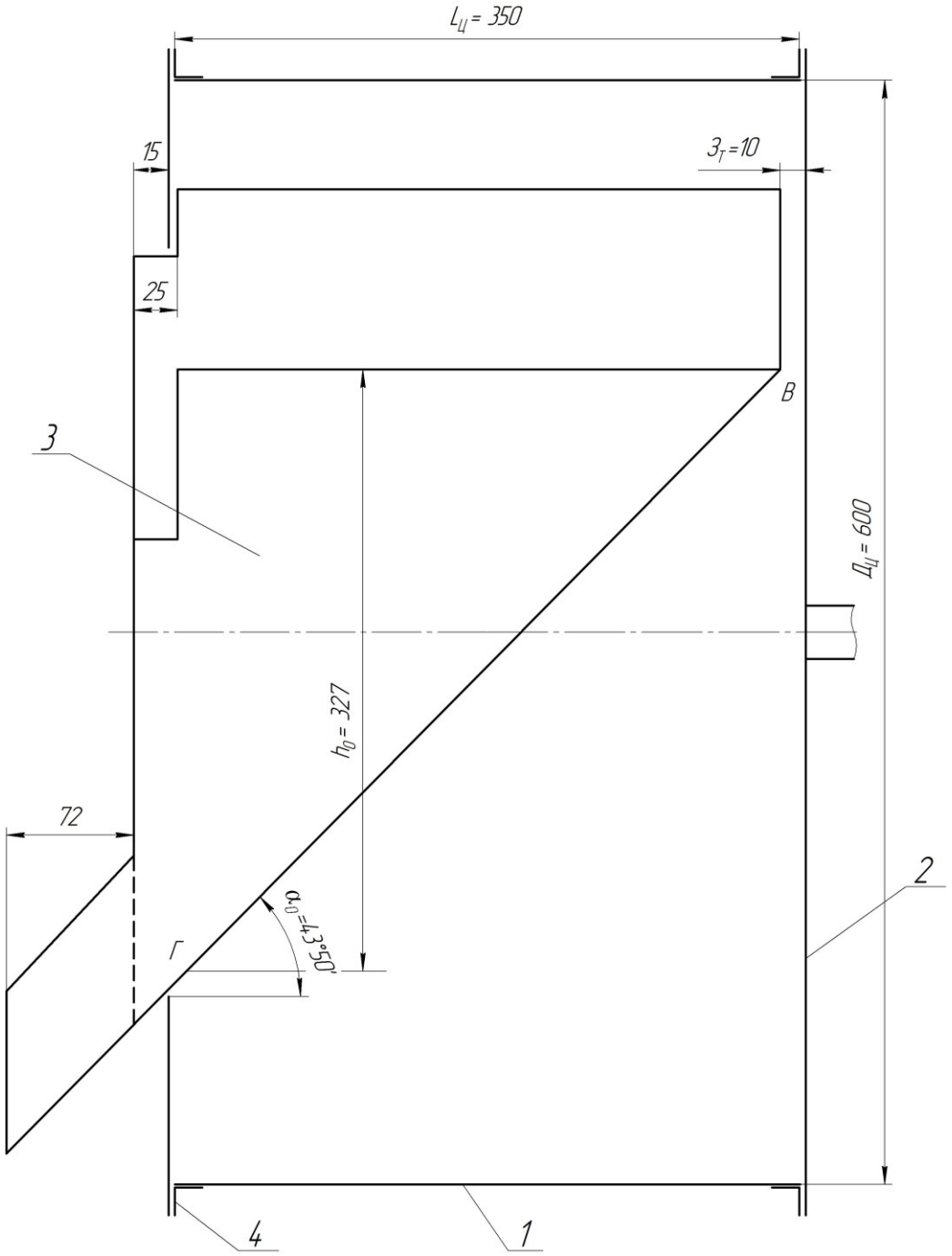
$$\overline{ГВ} = \sqrt{(\overline{ГВ'})^2 + (\overline{ВВ'})^2} = \sqrt{(383)^2 + (340)^2} = 512 мм. \quad (1)$$

Величина угла наклона $\overline{ГВ}$ к горизонту при $\gamma_n = 30^0$ будет определяться ее начальным размером по высоте (h_0):

$$\alpha_{(\overline{ГВ})_0} = \arcsin(h_0 / \overline{ГВ}) = \arcsin(327 / 512) = 39,71^0. \quad (2)$$

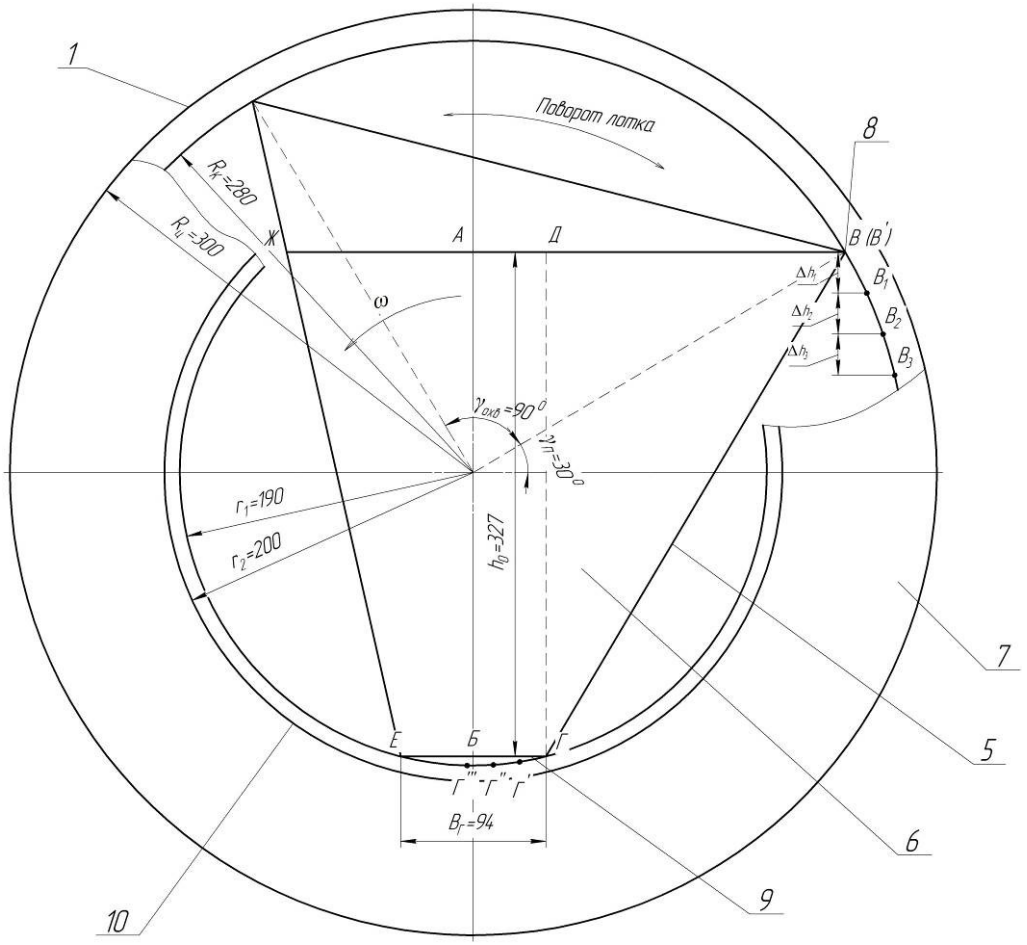
При повороте выводного лотка до $\gamma_n = 15^0$ с интервалом в 5^0 точки $Г$ и $В$ будут перемещаться на равные дуговые участки по окружностям радиусом $R_к$ и r_1:

$$\begin{cases} \overline{В'В_1} = \overline{В_1В_2} = \overline{В_2В_3} = 2\pi R_к \times 5 / 360 = 24,4 мм; \\ \overline{ГГ'} = \overline{Г'Г''} = \overline{Г''Г'''} = 2\pi r_1 \times 5 / 360 = 16,6 мм. \end{cases} \quad (3)$$



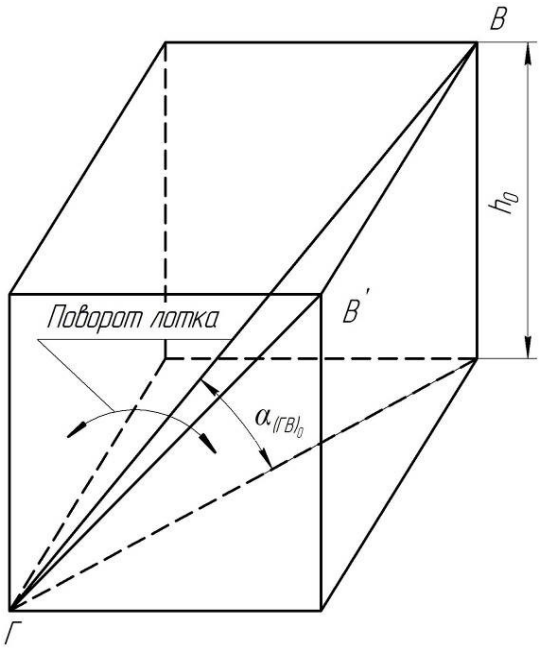
1 – ячеистый цилиндр; 2 – приводной диск; 3 – выводной лоток; 4 – фланец

Рисунок 1 – Расчетная схема стенда − вид сбоку



5 – передняя стенка; 6 – днище; 7 – блокирующее кольцо; 8 – верхняя кромка передней стенки выводного лотка; 9 – след торцевой плоскости на днище; 10 – внутренний контур блокирующего кольца

Рисунок 2 – Расчетная схема стенда – вид с торца



$\overline{ГВ}$ – диагональ параллелепипеда; $\overline{ГВ'}$ – диагональ его торцевой плоскости;

h_0 – разница координат точек $Г$ и $В$ по высоте.

Рисунок 3 – Схема определения угла $\alpha_{\overline{(ГВ)_0}}$ (изометрия)

Однако, равные дуговые смещения точек Γ и B будут уменьшать размер линии $\overline{\Gamma B}$ по вертикали на разные величины:

$$\begin{cases} \Delta h_1 = 21,6\,мм;\ \Delta\overline{\Gamma\Gamma'} = 3\,мм; \\ \Delta h_2 = 22,7\,мм;\ \Delta\overline{\Gamma'\Gamma''} = 2\,мм; \\ \Delta h_3 = 23,9\,мм;\ \Delta\overline{\Gamma''\Gamma'''} = 1\,мм; \end{cases} \quad (4)$$

Тогда углы наклона линии $\overline{\Gamma B}$ по горизонту будут рассчитываться по формулам:

$$\begin{cases} \gamma_n = 25^0 \rightarrow \alpha_{(\overline{\Gamma B})_1} = \arcsin[(h_0 - \Delta h_1 + \overline{\Gamma\Gamma'}) / \overline{\Gamma B}] = 37,3^0; \\ \gamma_n = 20^0 \rightarrow \alpha_{(\overline{\Gamma B})_2} = \arcsin[(h_0 - \Delta h_1 - \Delta h_2 + \overline{\Gamma\Gamma'} + \overline{\Gamma'\Gamma''}) / \overline{\Gamma B}] = 34,47^0; \\ \gamma_n = 15^0 \rightarrow \alpha_{(\overline{\Gamma B})_3} = \arcsin[(h_0 - \sum_1^3 \Delta h_i + \overline{\Gamma\Gamma'} + \overline{\Gamma'\Gamma''} - \overline{\Gamma''\Gamma'''}) / \overline{\Gamma B}] = 31,06^0. \end{cases} \quad (5)$$

Из уравнения (2) видно, что при $\gamma_n = 30^0$ и $\alpha_0 = 43,5^0$ угол наклона критической траектории движения частиц по днищу выводного лотка ниже величины α_0 на $3,8^0$. При достижении $\gamma_n = 15^0$ этот угол снижается на $12,5^0$. То есть сокращением $L_ц$ на $0,15\,м$ удалось увеличить α_0 на $12,5^0$, но расширение диапазона исследований по фактору γ_n нивелирует достигнутый эффект.

Однако, величина $\alpha_{(\overline{\Gamma B})_3} \approx 31^0$ достаточна для стабильного отвода примесей, если учитывать, что примесные частицы поступают в выводной лоток вместе с зерновками основной культуры и с хорошей динамикой, что значительно активизирует процесс.

При реализации экспериментов с $\gamma_n > 30^0$ критическая траектория движения примесных частиц по днищу выводного лотка будет переходить на линию $\overline{ЕЖ}$ (см. рисунок 2), которая является пересечением плоскостей задней стенки и днища. Однако, риски срыва стабильности процесса будут ниже, так как $\overline{ЕЖ} < \overline{\Gamma B}$, а вертикальный размер ее проекции тот же (h_0). Следовательно угол ее наклона к горизонту будет больше:

$$\alpha_{(\overline{ЕЖ})_0} = \arcsin 0,687 = 43,39^0; \quad (6)$$

$$\alpha_{(\overline{ЕЖ})_0} > \alpha_{(\overline{\Gamma B})_0}.$$

Возможно ли снизить риски стабильности движения длинных примесных частиц по линии $\overline{\Gamma B}$ за счет снижения начального значения γ_n до 25^o и последующего сокращения поворота лотка с целью охвата намеченного диапазона регулирования – до $\gamma_n = 15^0$? Для оценки этой возможности определим углы $\alpha'_0, \alpha'_{(\overline{\Gamma B})_1}, \alpha'_{(\overline{\Gamma B})_2}$ и $\alpha'_{(\overline{\Gamma B})_3}$:

$$\alpha'_0 = \arcsin 0,668 = 41,91^0. \quad (7)$$

$$\begin{cases} \gamma_n = 25^0 \rightarrow \alpha'_{\overline{(ГВ)}_1} = \arcsin 0,61 = 36,86^0; \\ \gamma_n = 20^0 \rightarrow \alpha'_{\overline{(ГВ)}_2} = \arcsin 0,576 = 35,16^0; \\ \gamma_n = 15^0 \rightarrow \alpha'_{\overline{(ГВ)}_3} = \arcsin 0,535 = 32,34^0. \end{cases} \quad (8)$$

Из соотношений (7) и (8) видно, что снижение начального значения γ_n до 25^0 приводит к проигрышу по углу наклона осевой линии выводного лотка $(\overline{АБ})$ и углу наклона $\overline{ГВ}$ при $\gamma_n = 25^0$. Регулирование γ_n до 15^0 обеспечивает некоторый выигрыш, но увеличивает риски стабильного отвода длинных примесных частиц по линии $\overline{ЕЖ}$ в верхней части диапазона регулирования.

Однако, риски нестабильного отвода длинных примесных частиц по линии $\overline{ЕЖ}$ несоизмеримо ниже. Поэтому следует принять начальную величину угла $\gamma_n = 25^0$. Дальнейшее его снижение нецелесообразно, так как верхняя кромка передней стенки лотка попадает в зону циркуляции сегмента при увеличении скоростного режима и загрузки стенда зерносмесью.

Идентифицированная производительность $(W_в)$ стандартного или проектируемого ячеистого цилиндра, определяемая по результатам стендовых исследований, будет рассчитываться по предложенному нами методу [7], но с другими пределами интегрирования частных закономерностей и другой кратностью их суммирования:

$$W_B = \sum_{1}^{L_ц / l_p} \left[\int_0^{\Delta t_i} q_i(t)dt / \Delta t_i \right], \quad (9)$$

где $L_ц$ – длина ячеистой поверхности стандартного или проектируемого

цилиндра, м;

l_p – рабочая длина ячеистой поверхности стенда, м;

Δt_i – продолжительность осевого смещения сегмента зерносмеси

в ячеистом цилиндре стенда при подаче W_n, с;

$q_i(t)$ – интенсивность выделения зерновок основной культуры

из зерносмеси в интервале времени Δt_i, т/ч.

Величина Δt_i устанавливается на основе анализа взаимосвязей Δt_i со скорость (v) осевого смещения сегмента, эквивалентной загрузкой стенда ($m_{нэ}$) и частотой вращения цилиндра (n) [7]. При ($m_{нэ}$) величина v будет воспроизводиться в диапазоне $n = 30 \ldots 45$ об/мин, так как $m_{нэ} = l_{цс_2} m_н / l_{цс_1}$ воспроизводит идентичные параметры сечения сегмента.

В рассматриваемом случае длина ячеистого цилиндра стенда $l_{цс_2} = 0,35$ м, а в базовом варианте [7] $l_{цс_1} = 0,5$ м. Поэтому величины загрузки стенда будут $m_{нэ}$ = 4,9; 6,3; 7,7 9,1 кг.

Величина рабочей поверхности l_p ячеистого цилиндра стенда для выделения длинных примесей из зерносмесей будет:

$$l_р = l_{цс_2} - b_{об} - 3_Т = 0,35 - 0,02 - 0,01 = 0,32 м, \quad (10)$$

где $b_{об}$ – ширина цилиндрической обечайки блокирующего кольца, м;

$3_Т$ – торцевой зазор между выводным лотком и приводным диском, м.

Кратность ($n_к$) сложения частных закономерностей расходных характеристик применительно к длине стандартного ячеистого цилиндра будет:

$$n_к = L_ц / l_р = 2,2 / 0,32 \approx 6,9. \quad (11)$$

Вышеупомянутые взаимосвязи, необходимые для оценки интервальных расходных характеристик по результатам стендовых реализаций процесса при $l_{цс_2} = 0,7 l_{цс_1}$ и $m_{нэ} = 0,7 m_{н,}$ представлены в таблице 1.

Стендовая реализация процесса выделения длинных примесей из зерносмесей в режимах ($m_{нэ}$; n) при повышенных углах наклона к горизонту критических траекторий движения частиц, гарантирующих стабильность (воспроизводимость) интервальных оценок динамики процесса, позволит определять рациональные значения $\gamma_п$ из условий минимума схода и остаточной засоренности.

Таблица 1 – Взаимосвязь v и Δt с $m_{нэ}$ и n

Скорость вращения цилиндра (n), об/мин	Скорость (v) и время (Δt) перемещения сегмента, м/с и с	Величина эквивалентной загрузки стенда ($m_{нэ}$), кг			
		4,9	6,3	7,7	9,1
30	v	0,0218	0,0257	0,0295	0,0335
	Δt	14,7	12,45	10,8	9,55
35	v	0,0254	0,0299	0,0344	0,039
	Δt	12,6	10,7	9,3	8,21
40	v	0,0289	0,0341	0,0392	0,0445
	Δt	11,1	9,4	8,16	7,2
45	v	0,0325	0,0383	0,0441	0,050
	Δt	9,85	8,36	7,26	6,4

Выводы.

1. В овсюжном цилиндре триерного блока очистка зерносмесей от длинных примесей осуществляется выделением ячеями зерновок основной культуры и их направлением в отводной лоток, а длинные примеси сходом выносятся в фураж.

2. В реальных условиях эксплуатации при повышенной частоте вращения ячеистого цилиндра и (или) заниженном значении угла подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка длинные частицы, обладающие повышенной связностью, могут захватываться контактирующим с ячеями слоем и направляться в выводной лоток, снижая качество семян по показателю остаточной засоренности.

3. Понижение подачи зерносмеси в овсюжный цилиндр укорачивает зону активного выделения зерновок основной культуры ячеистой поверхностью, свободная часть которой захватывает примесные частицы и направляет в выводной лоток с чистым зерном.

4. Решение задач по обеспечению качества процесса возможно лишь на основе объективной оценки динамики выделения компонентов зерносмесей по всей длине ячеистой поверхности, которая может быть получена с использованием стендов циклического действия со стабильным отводом компонентов, обладающих углом трения покоя по стали до 35^0.

5. Для выделения длинных примесей с большей асимметрией и меньшей динамикой движения по наклонным поверхностям при их выбросе ячеями в выводной лоток длина стендового ячеистого цилиндра сокращена до 0,35 м, а угол наклона к горизонту осевой линии днища увеличен до $43,5^0$ при исходном $\overline{\gamma_n} = 30^0$. При этом охват диапазона регулирования $\gamma_n = 15 \ldots 45^0$ снижает угол наклона к горизонту критических траекторий движения длинных примесей до 31^0 при $\gamma_n = 15^0$.

6. Снижение $\overline{\gamma_n}$ до 25^0 при исходном положении выводного лотка снижает угол наклона осевой линии до $41,9^0$, но повышает угол наклона к горизонту критической траектории до $32,34^0$ при $\gamma_n = 15^0$. Дальнейшее снижение исходного угла $\overline{\gamma_n}$ нецелесообразно, так как верхняя кромка передней стенки выводного лотка попадает в зону циркуляции слоев сегмента зерносмеси.

7. При длине стендового ячеистого цилиндра 0,35 м его эквивалентная загрузка для воспроизведения расходных характеристик стандартного ячеистого цилиндра в диапазоне 23…100% на скоростных режимах $n = 30 \ldots 45$ об/мин составляет $m_{нэ} = 4,9$; 6,3; 7,7 9,1 кг. Кратность суммирования стендовых реализаций расходных характеристик $n_к = 6,9$.

Список литературы

1 Пат. РФ № 2616201 МПК ВО7В 13/02. Стенд для испытаний ячеистых поверхностей / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВНИИТиН. – № 2016108182, заяв. 09.03.2016; опубл. 13.04.2017. Бюл. № 11.

2 Тишанинов, Н.П. Обоснование параметров стенда циклического действия для исследования ячеистых поверхностей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, Х.Д.Д. Альшинайиин // Наука в центральной России. – 2016. – № 4 (22). – С. 90-98.

3 Тишанинов, Н.П. Результаты поисковых исследований прибора для разделения зерносмесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2016. – № 5 (23). – С. 37-44.

4 Тишанинов, Н.П. Обоснование оптимальных параметров и режимов работы прибора для разделения зерносмесей по длине частиц / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, Х.Д.Д. Альшинайиин // Наука в центральной России. – 2017. – № 1 (25). – С. 10-19.

5 Тишанинов, Н.П. Исследование динамической сегрегации примеси при выделении проса из пшеницы / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2017. – № 2 (26). – С. 69-77.

6 Тишанинов, Н.П. Качество выделения семян горчицы и сорго из пшеницы ячеистыми поверхностями / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2017. – № 3 (27). – С. 42-48.

7 Тишанинов, Н.П. Обоснование метода идентификации производительности триеров по результатам стендовых исследований / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2018. – № 1 (31). – С. 20-27.

References

1 Pat. RF № 2616201 MPK VO7V 13/02. Stend dlya ispytanij yacheistyh poverhnostej / Tishaninov N.P., Anashkin A.V., zayavitel' i patentoobladatel' FGBNU VNIITiN. – № 2016108182, zayav. 09.03.2016; opubl. 13.04.2017. Byul. № 11.

2 Tishaninov, N.P. Obosnovanie parametrov stenda ciklicheskogo dejstviya dlya issledovaniya yacheistyh poverhnostej / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, H.D.D. Al'shinajiin // Nauka v central'noj Rossii. – 2016. – № 4 (22). – S. 90-98.

3 Tishaninov, N.P. Rezul'taty poiskovyh issledovanij pribora dlya razdeleniya zernosmesej / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin // Nauka v central'noj Rossii. – 2016. – № 5 (23). – S. 37-44.

4 Tishaninov, N.P. Obosnovanie optimal'nyh parametrov i rezhimov raboty pribora dlya razdeleniya zernosmesej po dline chastic / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, H.D.D. Al'shinajiin // Nauka v central'noj Rossii. – 2017. – № 1 (25). – S. 10-19.

5 Tishaninov, N.P. Issledovanie dinamicheskoj segregacii primesi pri vydelenii prosa iz pshenicy / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin // Nauka v central'noj Rossii. – 2017. – № 2 (26). – S. 69-77.

6 Tishaninov, N.P. Kachestvo vydeleniya semyan gorchicy i sorgo iz pshenicy yacheistymi poverhnostyami / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin // Nauka v central'noj Rossii. – 2017. – № 3 (27). – S. 42-48.

7 Tishaninov, N.P. Obosnovanie metoda identifikacii proizvoditel'nosti trierov po rezul'tatam stendovyh issledovanij / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin // Nauka v central'noj Rossii. – 2018. – № 1 (31). – S. 20-27.

УДК 631.303

ОЦЕНКА ВЗАИМОСВЯЗИ СТЕПЕНИ ЗАПОЛНЕНИЯ ЯЧЕЙ ТРИЕРНОГО ЦИЛИНДРА С РЕЖИМАМИ РАБОТЫ И НАСТРОЕЧНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Тишанинов Николай Петрович,
доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник лаборатории, e-mail: av-anashkin@mail.ru
Анашкин Александр Витальевич,
кандидат технических наук, заведующий лабораторией,
e-mail: av-anashkin@mail.ru

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов

Реферат. *Представлены объективные и субъективные факторы, влияющие на степень заполнения ячей триерного цилиндра зерновками основной культуры. Дано обоснование значимости показателей степени заполнения ячей и состояние изученности этого вопроса. Представлены уравнения для оценки показателя и расчетные значения коэффициента перевода во взаимосвязи с режимами работы и интервалами времени замеров выделяемых навесок. Изложены результаты экспериментальных исследований показателей степени*

заполнения ячей зерновками основной культуры. Установлен характер изменения показателей степени заполнения ячей по времени прохождения зернового сегмента рабочей длины цилиндра на низких скоростных режимах работы – 30-35 об/мин. Оптимальным условием заполнения ячей на этих режимах является циркуляция в сегменте 5-6 слоев зерновок основной культуры. Это объясняется снижением эффекта «выедания» зерновок основной культуры из ячей контактирующим слоем при сохранении достаточной динамики их гравитационного заполнения. Установлено, что с ростом скоростного режима до 45 об/мин эффект «выедания» подавляется возрастающим эффектом инерционного удержания зерновок основной культуры в ячеях. При этом характер изменения показателя по длине ячеистого цилиндра становится непрерывно убывающим. Выявлено, что с ростом подачи зерносмеси в ячеистый цилиндр до номинального значения показатель степени заполнения ячей увеличивается в 1,5-2 раза на начальном участке цилиндра. На всей длине ячеистого цилиндра показатель заполнения ячей уменьшается в 5,7 - 38 раз в зависимости от подачи, скоростного режима работы и настроечных параметров.

Ключевые слова: *показатель заполнения ячей, динамика процесса, параметры сегмента, эффект «выедания», эффект инерционного удержания, изменение показателя, рабочая длина цилиндра.*

ASSESSMENT OF THE INTERDEPENDENCE OF THE DEGREE OF FILLING OF YELLOW TRIPLE CYLINDER WITH OPERATING MODES AND ADJUSTABLE PARAMETERS

Tishaninov Nikolai,
Full Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Laboratory, e-mail: av-anashkin@mail.ru
Anashkin Alexander,
Candidate of Technical Sciences, Head of Laboratory,
e-mail: av-anashkin @mail.ru

Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Tambov

Abstract*. Objective and subjective factors affecting the degree of filling of the cell of the cylinder with the grains of the main crop are presented. The substantiation of the significance of the exponents of the degree of filling the cell and the state of the study of this question are given. Equations for the estimation of the indicator and the calculated values of the conversion factor in relation to the operating modes and time intervals of the measured samples are presented. The results of experimental studies of the indices of the degree of filling of the cell with the grains of the main culture are set forth. The nature of the changes in the degree of filling the cell with respect to the time of passage of the grain segment of the working length of the cylinder at low speed operation modes is set to 30-35 rpm. The optimal condition for filling the cell in these modes is the circulation in the segment of 5-6 layers of the main crop. This is due to a decrease in the effect of "eating out" the grains of the main crop from the cell with the contact layer while maintaining sufficient dynamics of their gravitational filling. It was found that with the increase in the speed regime up to 45 rpm, the effect of "eating out" is suppressed by the growing effect of inertial retention of the main crop grains in the cells. In this case, the character of the change in the index along the length of the mesh cylinder*

becomes continuously decreasing. It was found that with the increase in the feed of the grain mixture into the mesh cylinder to the nominal value, the index of the degree of filling of the cell increases by a factor of 1.5-2 in the initial section of the cylinder. Over the entire length of the mesh cylinder, the filling factor of the cell decreases by 5.7 - 38 times, depending on the feed rate, the speed mode of operation, and the tuning parameters.

Keywords: *the indicator of filling the cell, the dynamics of the process, the parameters of the segment, the effect of "eating out", the effect of inertial confinement, the change in the indicator, the working length of the cylinder.*

Введение. Степень заполнения ячей триерного цилиндра компонентами зерносмеси является важнейшим показателем при расчете технологических возможностей проектируемых и модернизируемых триерных блоков. Результаты исследований показателя заполнения ячей во взаимосвязи с режимами работы в литературе отсутствуют. Многие авторы для расчета расходных характеристик триерных блоков используют показатели удельной нагрузки на единицу площади ячеистой поверхности, что приводит к утрате расчетных значений со скоростным режимом работы триера и, в конечном итоге, к двух-трех кратной ошибке в оценке расходных характеристик. Поэтому исследования показателя заполнения ячей во взаимосвязи с режимами работы и настроечными параметрами триера представляет собой актуальную задачу.

Методы и средства. В работе использовался стенд циклического действия для исследований динамики выделения зерновок основной культуры из зерносмеси, частные методики исследований расходных характеристик ячеистых цилиндров, измерительные приборы.

Результаты и обсуждение. Степень заполнения ячей частицами разделяемых компонентов зерносмеси является важнейшим и продуктивным показателем оценки динамики процесса. Он позволяет анализировать взаимосвязь расходных характеристик с режимами работы и настроечными параметрами триера. Большинство этих параметров изменяются по длине ячеистой поверхности – уменьшаются высота *(h)* зернового сегмента и угол его охвата *(α)*, увеличивается угловое расстояние между верхней границей циркулирующего слоя и верхней кромкой передней стенки выводного лотка, изменяются условия выброса ячеями захваченных частиц (параметры факела выброса) и вероятность их попадания в лоток.

Поэтому необходима интервальная оценка степени заполнения ячей по всей длине цилиндра. Это позволит повысить детальность анализа динамики выделения частиц из зерносмеси и продуктивность решений, вырабатываемых на основе результатов исследований, выявить закономерности захвата частиц из контактирующего слоя и их инерционного выброса в выводной лоток на начальном участке ячеистого цилиндра, когда угловое расстояние между верхней границей циркулирующего слоя и верхней кромкой передней стенки выводного лотка минимально. Однако, без создания специального экспериментального оборудования решать эти задачи в прежние годы было невозможно.

Задача определения взаимосвязи величины подачи зерносмеси в ячеистый цилиндр с числом ячей, одновременно задействованных для отвода зерновок, решалась профессором Летошневым М.Н. [1] в общем виде – без достаточного объема объективных экспериментальных данных. При этом автор предполагал, что часть ячей, находящихся в контакте с зерновым сегментом, не заполняется – «часть их остается пустыми, незаполненными».

Кроме того, автор справедливо предлагал учитывать степень заполнения каждой ячеи, которая зависит от многих факторов и может быть установлена только экспериментальным путем. Принимая в расчетах уточненную степень заполнения каждой ячеи, Летошнев М.Н. ссылается на «попытки найти закономерности, которым следует коэффициент использования ячей», предпринятые Павловским Г.Т. Однако Павловский Г.Т., исследуя триеры, не мог получить объективных значений поправочных коэффициентов дифференцированно по каждому участку длины ячеистого цилиндра и усредненных – по всей длине.

В реальном технологическом процессе циркулирующая зерновая масса по длине ячеистого цилиндра изменяется в несколько раз. При этом меняются условия заполнения ячей зерновками. Этот процесс сопровождается процессом «выедания» зерновок из ячей контактирующим слоем зернового сегмента, а момент окончания выделения частиц из сегмента в экспериментах не совпадает (существенно) с моментом окончания разгрузки отводного лотка (они сдвинуты по времени).

В результате профессором Летошневым М.Н. для реализации подачи зерносмеси в ячеистый цилиндр $W_n = 1000$ *кг* при плотности размещения ячей на нем 11430 *шт/м²* и коэффициенте кинематического режима $\hat{e} = 0,435$ (соответствует $n = 36$ *об/мин* при $R = 0,3$ *м*) определена рабочая длина овсюжного ячеистого цилиндра, которая составила 1,77 *м*. Если принять во внимание, что плотность размещения ячей ø 8,5 *мм* на современном ячеистом цилиндре составляет 6864 *шт/м²* и его расходную характеристику при $n = 36$ *об/мин*, то для сопоставимых условий рабочая длина ячеистого цилиндра будет в 3 раза меньше, а усредненная степень заполнения ячей в 3 раза больше. Это свидетельствует об отсутствии объективных результатов исследований по процессу триерной очистки зерна.

При отсутствии знаний о степени заполнения ячей цилиндра академик Листопад Г.Е. [2], профессор Лурье А.Б. [3], профессор Соколов А.Я. [4] и другие предлагают оценивать производительность овсюжного цилиндра по удельной нагрузке на единицу площади ячеистой поверхности по формуле:

$$W = 2\pi\varepsilon q_0 rl, \qquad (1)$$

где ε – опытный коэффициент, учитывающий вид обрабатываемой культуры (для пшеницы $\varepsilon = 1$);

q_0 – удельная нагрузка на единицу (для пшеницы $q_0 = 0,16 \ldots 0,18$ *кг / с · м²*);

r, l – радиус и длина ячеистого цилиндра, м.

Из уравнения (1) следует, что для стандартного ячеистого цилиндра с $r = 0,3$ *м* и $l = 2,2$ *м* величина W составляет 2,7 т/ч Это в 1,85 раза ниже его паспортной производительности. Кроме того, анализ структуры формулы (1) показывает, что производительность (W) не зависит от скоростного режима работы триера, а фактически W в диапазоне $n = 30 \ldots 45$ *об / мин* изменяется в несколько раз.

Аналогичный подход к оценке производительности ячеистого цилиндра предлагает профессор Урханов Н.А. – по величине удельной производительности ($W_{уд} = 550 \ldots 650$ *кг / ч · м²*). Однако, если принять во внимание, что площадь ячеистой поверхности ($S_я$) стандартного цилиндра равна 4 м², то:

$$W = W_{уд} \cdot S_я = (550 \ldots 650) \cdot 4 = 2200 \ldots 2600 \quad кг / ч \qquad (2)$$

Эта величина еще больше отличается от паспортного значения – в 1,92…2,27 раза.

Возможности достоверно оценивать динамику выделения компонентов зерносмеси по длине ячеистого цилиндра и определять степень заполнения ячей появились при создании в ФГБНУ ВНИИТиН специальных исследовательских стендов [5-7]. Они созданы впервые и не имеют аналогов за рубежом.

Степень заполнения ячей зерновками основной культуры определяется по формуле:

$$n_{з_{ij}} = m_{н_{ij}} \cdot 1000 \ /(n_{я_j} \cdot m_{1000}), \quad (3)$$

где - $n_{з_{ij}}$ - число зерновок, захваченных ячеей в *i*-ом интервале времени замеров *j*-го опыта, шт; $m_{н_{ij}}$ - масса выделенных зерновок в *i*-ом интервале времени замеров *j*-го опыта, г; $n_{я_j}$ - число задействованных ячей за интервал времени замеров (t_{u_i}) в *i*-ом опыте, шт; m_{1000} - масса 1000 зерновок основной культуры, г.

Величина $m_{н_{ij}}$ определяется по результатам стендового эксперимента. Масса 1000 зерновок (m_{1000}) исследуемой основной культуры (пшеницы) составляет 52,6 г. Число задействованных ячей в *j*-ом опыте за интервал времени замеров (t_{u_i}) определяется по формуле:

$$n_{я_i} = \alpha_{n_j} n_{\Sigma} / 6,28 , \quad (4)$$

где α_{n_j} - угол поворота ячеистого барабана стенда за время (t_{u_i}) в *j*-ом опыте, рад;

n_{Σ} - число ячей на ячеистом барабане стенда, шт,

6,28 – расчетный коэффициент.

$$\alpha_{n_i} = 2\pi n_j t_{u_j} / 60 = 0,1047 \ n_j t_{u_j} \quad (5)$$

где n_j - скорость вращения ячеистого барабана стенда в *j*-ом опыте, об/мин.

$$n_{\Sigma} = n_{яр} \cdot n_p = 135 \times 45 = 6075 \ шт \quad (6)$$

где $n_{яр}$ - число ячей в круговом ряду ячеистого барабана стенда, шт;

n_p - число круговых рядов ячей на задействованной длине ячеистого барабана стенда, шт.

С учетом уравнений (5) и (6) величина $n_{я_j}$ будет определяться по формуле:

$$n_{я_j} = 0,1047 \ n_j t_{uj} \times 6075 \ / 6,28 = 101,3 n_j t_{uj} . \quad (7)$$

Подставляя значение $n_{я_j}$ из уравнения (7) в уравнение (3) получим:

$$n_{з_{ij}} = m_{н_{ij}} \times 1000 \ /(101,3 \ n_j t_{uj} \times 52,6) = m_{н_{ij}} \times 0,1877 \ / n_j t_{uj} . \quad (8)$$

Величину ($0,1877 \ / n_j t_{ui}$) назовем коэффициентом перевода ($K_{пер}$) и произведем его расчет для принятой вариантности величин n_j и t_{uj} в эксперименте. Результаты расчетов коэффициента перевода ($K_{пер}$) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Взаимосвязь величины коэффициента перевода ($K_{пер}$) со скоростным режимом работы стенда (n_j) и интервалом времени замеров (t_{uj}).

Скорость вращения барабана стенда (n_i) в i-ом опыте, об/мин	Время интервалов замеров в j-ом опыте, с						
	3	4	5	6	7	10	15
30	2,085	1,564	1,251	1,043	0,894	0,6257	0,4171
35	1,788	1,341	1,073	0,8938	0,7661	0,5363	0,3575
40	1,564	1,173	0,9385	0,7821	0,6704	0,4693	0,3128
45	1,390	1,043	0,8342	0,6952	0,5959	0,4171	0,2781

В таблице 1 из практических соображений величина ($K_{пер}$) увеличена в 1000 раз, а в формуле (8) величина $m_{н_{ij}}$ принята для вычисления $n_{З_{ij}}$ в граммах. Поэтому для расчета $n_{З_{ij}}$ экспериментальные значения $m_{н_{ij}}$ нужно переводить в килограммы и умножать на табличные значения $K_{пер}$:

$$n_{З_{ij}} = m_{н_{ij}} \cdot K_{пер.\ табл} \ . \qquad (9)$$

Нужно отметить, что режимы работы триера (n, $m_н$, h_c) прямо или опосредованно, но объективно влияют на степень заполнения ячей зерновками. Настроечные параметры ($\gamma_п$, $З_р$) являются субъективными факторами, которые необходимо учитывать при анализе взаимосвязи объективных факторов с показателем степени заполнения ячей зерновками.

Именно режимы работы триера (ячеистого цилиндра) определяют условия заполнения ячей зерновками, изменяя соотношение активных воздействий на них: статического и динамического подпора циркулирующих масс, инерционного удержания зерновок в ячеях – с одной стороны; эффекта «выедания» зерновок из ячей контактирующим слоем – с другой. Причем эффект «выедания» компромиссно (неоднозначно) связан с режимами работы. Увеличение n, $m_н$ и h_c усиливают фрикционное воздействие контактирующего слоя на зерновки в ячеях – потенциал эффекта их «выедания», но те же факторы увеличивают статическое (подпорное) и динамическое удержание зерновок в ячеях.

Степень заполнения ячей зерновками ($n_{З_{ij}}$) возможно количественно оценивать только по величине выделенной навески зерна ($m_{н_{ij}}$) в соответствующем интервале времени замеров, однако эта величина объективно связана с настроечными параметрами ($\gamma_п$, $З_р$), которые определяют полноту отвода факела захваченных и выброшенных ячеями зерновок. По отношению к показателю $n_{З_{ij}}$ эти факторы являются субъективными. Поэтому при анализе процесса выделения зерновок основной культуры по показателю $n_{З_{ij}}$ необходимо обеспечить условия сопоставимости оценок по субъективным факторам.

Этим условиям в наибольшей степени соответствуют реализации стендовых расходных характеристик при $\gamma_п = 20^0$ и $З_р = 28$ мм, которые обеспечивают максимальный отвод выделенных факелов зерновок. Для $m_н = 7$ кг, $\gamma_п = 20^0$, и $З_р = 28$ мм по формуле (9) с

использованием расчетных значений коэффициентов перевода (таблица 2) получены величины показателя степени заполнения ячей ($n_{з_{ij}}$), таблица 2.

Таблица 2 – Взаимосвязь степени заполнения ячей зерновками ($n_{з_{ij}}$, шт) от скоростного режима работы (n) при $m_н = 7$ кг, $\gamma_п = 20^0$, $З_р = 28$ мм

n, об/мин	Номера интервалов времени замеров								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	0,76	0,94	1,03	1,08	0,99	0,86	0,61	0,36	0,19
35	1,08	1,16	1,19	1,19	1,08	0,71	0,36	0,16	0,07
40	1,9	1,88	1,38	1,10	0,80	0,38	0,19	0,09	0,05
45	2,34	1,93	1,61	1,18	0,67	0,35	0,19	0,14	0,08

К анализу принято 9 интервалов времени замеров, так как в последующий период выделения зерновок процесс заполнения ячей становится случайным и маловероятным. Идентификации результатов стендовых исследований степени заполнения ячей зерновками основной культуры не требуется при переносе на стандартный или проектируемый ячеистый цилиндр – условия протекания процесса по времени совпадают.

Однако сопоставление оценок требует учета разницы расходных характеристик при изменении скоростного режима (n) и связанной с ним скорости осевого смещения сегмента. Например, ячеистый цилиндр разгружается на 70%: при n = 30 об/мин за 35 с; при n = 35 об/мин ≈ за 25 с; при n = 40…45 об/мин ≈ за 18 с. При этой продолжительности процесса используется 35…24% длины рабочей поверхности стандартного ячеистого цилиндра с загрузкой по производительности 23,4…35% от номинального значения. Меньший уровень производительности соответствует меньшему скоростному режиму (n = 30 об/мин).

Из таблицы 2 видно, что степень заполнения ячей зерновками по мере разгрузки ячеистого цилиндра в пределах 9-ти интервалов времени замеров изменяется в 5,7…38 раз! Этот факт установлен впервые. Оценивая его, можно понять трудности и причины ошибочной оценки рабочей длины ячеистого цилиндра Летошневым М.Н., который ссылался на «попытки» Павловского Г.Т. в определении $n_{з_{ij}}$.

Снижение степени заполнения ячей зерновками при сокращении числа циркулирующих слоев ($n_{сл}$) в сегменте зерносмеси объясняется относительным ростом динамического воздействия на него ячеистой поверхности, приводящей к разуплотнению сегмента и нарастающему выбросу из него зерновок. При этом вероятность захвата зерновок резко снижается.

Если не принимать во внимание 1-ый интервал времени замеров, на протяжении которого процесс выделения только стабилизируется, то можно сделать следующие выводы: во 2-ом интервале $n_{з_{ij}}$ увеличивается в 2,05 раза за счет подавления эффекта «выедания» зерновок из ячей с ростом n; к 4-му интервалу $n_{з_{ij}}$ выравнивается во всем диапазоне скоростных режимов работы ячеистого цилиндра; в последующих интервалах времени соотношение $n_{з_{ij}}$ в зависимости от скоростного режима меняется на противоположное.

В связи с вышеизложенным представляет существенный интерес характер изменения $n_{з_{ij}}$ с ростом $m_н$. В таблице 3 представлены результаты исследований степени заполнения ячей зерновками основной культуры (пшеницы) с увеличенной загрузкой стендового ячеистого цилиндра ($m_н$ = 9…13 кг) при $\gamma_п = 30^0$ и n = 45 об/мин, обеспечивающих максимальный отвод выброшенного ячеями факела зерновок.

Таблица 3 – Взаимосвязь степени заполнения ячей зерновками ($n_{з_{ij}}$, шт) от $m_н$ при $\gamma_п = 30^0$, и n = 45 об/мин

$m_н$, кг	Номера интервалов времени замеров									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9	3,0	1,90	1,74	1,61	1,53	1,04	0,67	0,36	0,18	0,10
11	3,53	2,28	1,88	1,72	1,61	1,53	1,07	0,65	0,33	0,17
13	4,18	3,10	2,02	1,89	1,64	1,50	1,11	0,78	0,39	0,19

Из таблицы 3 видно, что в 1-ом интервале времени замеров (разгонном) показатель $n_{з_{ij}}$ изменяется в пределах 3,0…4,18 зерновок на ячею. Этот уровень показателя следует считать не характерным для процесса выделения зерновок, а $n_{з_{ij}}$ = 4,18 шт/ячею – нереалистичным. В разгонном интервале подъем зернового сегмента до верхней границы угла охвата (γ_{ox}) производится преимущественно с коэффициентом трения покоя, который выше динамического коэффициента внутреннего трения и при меньшей степени скольжения сегмента относительно ячеистой поверхности. Поэтому из контактирующего слоя увлекаются и выбрасываются в факел дополнительные порции зерновок, что приводит к завышению показателей $n_{з_{ij}}$ - в ячее физически не могут разместиться 4,18 зерновки.

Во всем диапазоне $m_н$ и полном временим протекания процесса выделения зерновок эффект возросшего удержания зерновок в ячеях преобладает над эффектом их «выедания» из ячей. Рост n в 1,5 раза увеличивает соотношение инерции к гравитации в 2,25 раза. Эта аргументация, основанная на сопоставлении двух эффектов, подтверждается полученными результатами исследований показателя $n_{з_{ij}}$. Разница $m_н$ в строках таблицы 3, составляющей 2 кг, предопределила «сдвиг» идентичных его значений на 1 интервал времени замеров в сторону нарастающей степени разгрузки ячеистого цилиндра – в первых двух строках смещенные на 1 интервал оценки практически совпадают.

В таблице 3 показатель $n_{з_{ij}}$ представлен по 10-ти интервалам времени замеров, каждый из которых составляет 3 с. При $m_н$ = 9…13 кг за 10 интервалов (30 с) выделяется 97% зерновок основной культуры от начальной массы. Вероятность попадания хотя бы 1-ой зерновки в ячею в отброшенных интервалах не превышает 0,7%.

За 10 интервалов задействованная длина рабочей поверхности составляет доли от длины стандартного ячеистого цилиндра соответственно: $m_н$ = 9 кг → 52,2%; $m_н$ = 11 кг → 60%; $m_н$ = 13 кг → 68,2%. Приращение длины рабочей поверхности на 30% в относительном измерении обусловлено увеличением скорости осевого смещения сегмента зерносмеси с ростом циркулирующей массы – на (13/9 – 1)·100% = 44%. Неравнозначность приращений обусловлена тем, что с ростом $m_н$ возрастает и показатель заполнения ячей зерновками.

Кратность изменения показателя $n_{з_{ij}}$ по мере разгрузки ячеистого цилиндра в рассмотренных реализациях процесса составляет 19…13 раз без учета 1-го интервала. При этом обеспечиваются расходные характеристики соответственно: $m_н$ = 9 кг → 2,64 т/ч; $m_н$ = 11 кг → 3,72 т/ч; $m_н$ = 13 кг → 4,98 т/ч. Это идентифицированные расходные характеристики в расчете на длину стандартного ячеистого цилиндра.

При $m_н$ = 13 кг, n = 45 об/мин на выделение последних 3% массы зерносмеси от начальной величины расходуется 0,7 м длины рабочей поверхности ячеистого цилиндра. Это обусловлено крайне малой вероятностью попадания зерновок в ячеи (< 0,7%) на заключительном этапе процесса. В других рассмотренных случаях ($m_н$ = 9; 11 кг) остается свободная ячеистая поверхность.

Выводы. Оценка расходных характеристик триерных блоков без знаний закономерностей изменения показателя степени заполнения ячей отличается от реальных значений в несколько раз. Величина показателя является производной двух эффектов – «выедания» зерновок из ячей контактирующих слоем их инерционного удержания. На низких скоростных режимах преобладает первый эффект, а показатель степени заполнения ячей зерновками основной культуры изменяется в 5,7 – 38 раз. С ростом соотношения инерции к гравитации эффект «выедания» подавляется, а характер изменения показателя становится непрерывно убывающим.

Список литературы

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

2. Листопад, Г.Е. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Г.Е. Листопад. – М.: Агропромиздат, 1986. – 687 с.

3. Лурье, А.Б. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин / А.Б. Лурье. – Л.: Машиностроение, 1997. – 526 с.

4. Соколов, А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна / А.Я. Соколов. – Изд. 4-е доп. и перераб. М.: Колос, 1975. – 495 с.

5. Тишанинов, Н.П. Результаты исследований процесса триерной сепарации зерносмесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2013. – № 6. – С. 37-45.

6. Тишанинов, Н.П. 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.

7. Тишанинов, Н.П. Обоснование параметров стенда для исследования ячеистых поверхностей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.А. Растюшевский // Техника в сельском хозяйстве. – 2013. – №2. – С. 18-21.

References

1. Letoshnev, M.N. Sel'skohozyajstvennye mashiny, teoriya, raschet, proektirovanie i ispytanie / M.N. Letoshnev. – M.: L.: Sel'hozgiz, 1955. – 856 s.

2. Listopad, G.E. Sel'skohozyajstvennye i meliorativnye mashiny / G.E. Listopad. – M.: Agropromizdat, 1986. – 687 s.

3. Lur'e, A.B. Raschet i konstruirovanie sel'skohozyajstvennyh mashin / A.B. Lur'e. – L.: Mashinostroenie, 1997. – 526 s.

4. Sokolov, A.YA. Tekhnologicheskoe oborudovanie predpriyatij po hraneniyu i pererabot-ke zerna / A.YA. Sokolov. – Izd. 4-e dop. i pererab. M.: Kolos, 1975. – 495 s.

5. Tishaninov, N.P. Rezul'taty issledovanij processa triernoj separacii zernosmesej / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin // Nauka v central'noj Rossii. – 2013. – № 6. – S. 37-45.

6. Tishaninov, N.P. Teoreticheskij analiz dinamiki vydeleniya korotkih primesej iz zernosmesej yacheistoj poverhnost'yu / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin // Nauka v central'-noj Rossii. – 2015. – № 1 (13). – S. 46-58.

7. Tishaninov, N.P. Obosnovanie parametrov stenda dlya issledovaniya yacheistyh poverh-nostej / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, K.A. Rastyushevskij // Tekhnika v sel'skom hozyajst-ve. – 2013. – №2. – S. 18-21.

УДК 631.358.072

ОБОСНОВАНИЕ РАССТАНОВКИ ДИСКОВ В ИГОЛЬЧАТОЙ БОРОНЕ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Ковалев Михаил Михайлович,
доктор технических наук, главный научный сотрудник,
E-mail: m.kovalev@vniiml.ru
Кондрашов Виктор Анатольевич,
аспирант, E-mail: **vik3153@yandex.ru**
Сизов Иван Валентинович,
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,
E-mail: i.sizov@vniiml.ru
Перов Геннадий Анатольевич,
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,
E-mail: vniiml2@mail.ru

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации льноводства», г. Тверь

Реферат. *Изучали вопросы рациональной расстановки дисков на осях в игольчатой бороне для поверхностной обработке почвы при возделывании льна-долгунца.*

Экспериментальные исследования проводились на лабораторно-полевой установке, снабженной четырьмя батареями, с шагом между рядами игл 25; 35; 45 и 55 мм, соответственно. Установка навешивалась на трактор Т25А1. Рабочие скорости агрегата были 3.2; 4.0; 5.5м/с. Установлено, что для обеспечения условий самоочистки межигольчатого пространства от налипания почвы расстояние между осями игл соседних рядов должно быть не менее 35 мм, при диаметре игл 14 мм и угле их заострения 14^0, так как при расстоянии 25 мм батарея забивается почвой. Определено, что для обеспечения качественной обработки почвы необходимо, чтобы в одном диске с иглами, угол между которыми равен α, и в другом диске (или в другом ряду игл на диске), иглы также располагались между собой под углом α, но были в месте с этим диском (или иглами) повернуты относительно игл первого диска на угол α/2. Анализ экспериментальных данных показал, что с увеличением скорости агрегата показатели качества обработки почвы улучшаются. Получены регрессионные модели в виде степенных функций, адекватные экспериментальным данным. Построены диаграммы густоты стеблестоя, полученные на опытных участках после посева льна-долгунца сеялкой СЛС-16, подтверждающие преимущества обработки почвы игольчатой бороной перед контролем, особенно на больших скоростях. При скорости агрегата 5,5 м/с густота стеблестоя составила 1256 ст/м^2, а в контроле 980 ст/м^2.

Ключевые слова: *игольчатая борона, батареи, диски, ось бороны, лабораторно-полевая установка, почва, густота стеблестоя, скорость агрегата.*

THE SUBSTANTIATION OF THE DISSECTION OF DISCS IN THE NEEDLE HARROW FOR SURFACE PRE-TREATMENT OF THE SOIL

Kovalyov Mikhail,
Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, E-mail: m.kovalev@vniiml.ru
Kondrashov Viktor,
graduate student, E-mail: vik3353@yandex.ru
Sizov Ivan,
Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, E-mail: i.sizov@vniiml.ru
Perov Gennady,
Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher,E-mail: vniiml2@mail.ru

All-Russian Scientific Research Institute of Flax Growth Mechanization FGBNU, Tver

Abstract. *The problems of rational arrangement of disks on axes in a needle harrow for surface treatment of soil during cultivation of flax-fiber were studied. Experimental studies were carried out on a laboratory-field installation equipped with four batteries, with a pitch between the rows of needles 25; 35; 45 and 55 mm, respectively. The installation was mounted on a T25A1 tractor. The working speeds of the unit were 3.2; 4.0; 5.5 m / s. It was found that to ensure conditions for self-cleaning of the intergalactic space from soil adherence, the distance between the axes of needles of adjacent rows was not less than 35 mm, with a needle diameter of 14 mm and the angle of their sharpening of 140, since at a distance of 25 mm, the battery is clogged with soil. It is determined that to ensure high-quality soil cultivation it is necessary that in a single disk with needles having an angle between α and in another disk (or in another row of needles on the disk), the needles also lie at an angle α, but they are in place with this disk (or needles) rotated relative to the needles of the first disk*

by an angle α / 2. Analysis of the experimental data showed that the increase in the speed of the aggregate improves the quality of soil treatment. Regression models are obtained in the form of power functions, which are adequate to experimental data. The density diagrams of the stem part of the field crops were obtained, which were obtained in the experimental plots after sowing of flax fiber by the SLS-16 seeder, confirm the advantages of soil treatment with a needle harrow before the control, especially at high speeds. At a unit speed of 5.5 m / s, the density of the stalk was 1256st / m2, and in control 980 st / m^2.

Key words: *Needle harrow, batteries, discs, harrow axis, laboratory field installation, soil, stalk density, aggregate speed.*

Введение. Современный уровень культуры земледелия требует совершенствования и изыскания новых ресурсосберегающих технологий и машин, в наибольшей мере отвечающих агробиологическим требованиям культурных растений [1-4].

Эффективность возделывания льна-долгунца и других мелкосеменных культур во многом определяется уровнем весенней поверхностной предпосевной обработки почвы. От ее особенностей зависит пищевой и температурный режим почвы, а также рост и развитие растений. Для получения требуемых параметров стеблестоя в посевах льна-долгунца обработанный слой почвы должен быть хорошо разрыхленным, без существенного перемещения обрабатываемого слоя и мелкокомковатым.

Существующие технологические операции поверхностной предпосевной обработки почвы ориентированы на создание условий для прорастания семян и развития растений [5]. Вместе с тем, применительно ко льну-долгунцу, многие процессы остаются неизученными, в том числе и выполняемые игольчатыми боронами [6, 7].

В сравнении с другими ротационными рабочими органами игольчатые бороны меньше распыляют почву, хорошо ее сепарируют, менее энергоемкие и способны работать на повышенных скоростях. Поэтому их следует считать наиболее перспективными для поверхностной предпосевной обработки почвы при возделывания льна-долгунца и других мелкосеменных культур [1-3].

Повышение эффективности выполнения технологического процесса поверхностной предпосевной обработки почвы игольчатыми боронами возможно, благодаря постоянным исследованиям и созданию более совершенных рабочих органов, с более эффективными параметрами и режимами работы. В связи с этим, исследования, направленные на улучшение показателей качества работы игольчатых борон на подготовке почвы под лен-долгунец и другие мелкосеменные культуры, являются актуальными.

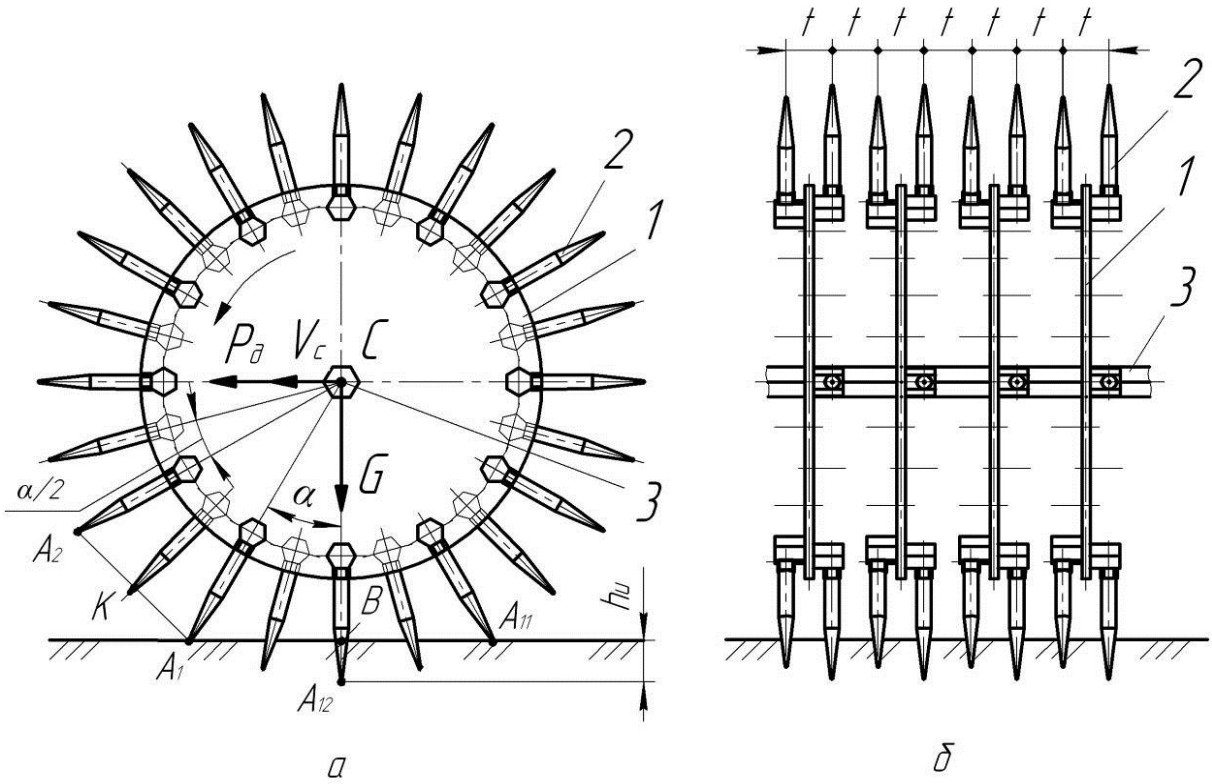
Цель исследования. Повышение эффективности поверхностной предпосевной обработки почвы путем рациональной расстановки дисков на осях в игольчатой бороне.

Материалы и методы. Теоретические исследования проводились с использованием основных положений механики. Экспериментальные исследования были проведены в 2016-2017 гг. на опытном поле ФГБНУ ВНИИЛ. Для этого была разработана и изготовлена лабораторно-полевая установка игольчатой бороны, навешиваемая на трактор Т-25А1 (рисунок 1) [8-10].

Рисунок 1 – Общий вид лабораторно-полевой установки игольчатой бороны в агрегате с трактором Т-25А1

Ось, на которой смонтированы диски с иглами, устанавливается на раме бороны, опирающейся на опорные колеса. Установка снабжена выравнивающим брусом, расположенным за игольчатой бороной. Агрегат может выполнять одновременно две операции – боронование и выравнивание. В случае, когда агрегат выполняет две операции его можно считать комбинированным почвообрабатывающим агрегатом.

На рисунке 2 представлена схема батареи, которая включает четыре диска 1 с двумя рядами игл 2 на каждом из них.



а – вид сбоку; *б* – вид слева

Рисунок 2 – Схема батареи дисков в лабораторно-полевой установке игольчатой бороны

Всего лабораторно-полевая установка снабжена четырьмя такими батареями,

различающихся только шагом **t** между осями соседних игл. Кроме того, для удобства проведения эксперимента и проведения замеров, батареи разнесены друг от друга по оси бороны на расстоянии 100 мм. Глубину обработки почвы регулировали устройством для подъема и опускания опорных колес.

Диски 1 жестко закреплены на оси 3. Каждая игла 2 представляет собой радиально закрепленный на диске 1 прямолинейный стержень, форма которого в средней части – цилиндрическая, а нижняя выполнена в виде конуса. Диски 1 с иглами 2 движутся со скоростью $V_м$ в продольно-вертикальной плоскости и вращаются вокруг своих горизонтальных осей, углубляются в почву и производят ее прокол и рыхление.

Движение игольчатой бороны осуществляется под действием движущей силы $P_д$, а заглубление – под воздействием силы тяжести – G.

Условия проведения лабораторно-полевых опытов с игольчатой бороной были следующими:

Тип почвы (гранулометрический состав) – суглинистая;

Влажность почвы – 18,7…20,9%;

Твердость почвы – 1,2…1,3 МПа;

Фон – вспашка с последующей культивацией и боронованием (контроль);

Диаметр дисков с иглами – 550 мм;

Угол заострения игл бороны – 14^0;

Диаметр игл в цилиндрической части – 14 мм;

Длина игл – 100 мм;

Шаг расстановки игл на дисках в батареях: в первой – 55 мм; во второй – 45 мм; в третьей – 35 мм; в четвертой – 25 мм.

Количество игл в одном ряду на диске – 12 шт.

Скорости агрегата составили 3,2; 4,0 и 5,5 м/с;

Посев льна-долгунца на обработанных участках игольчатой бороной производился селекционной сеялкой СЛС-16.

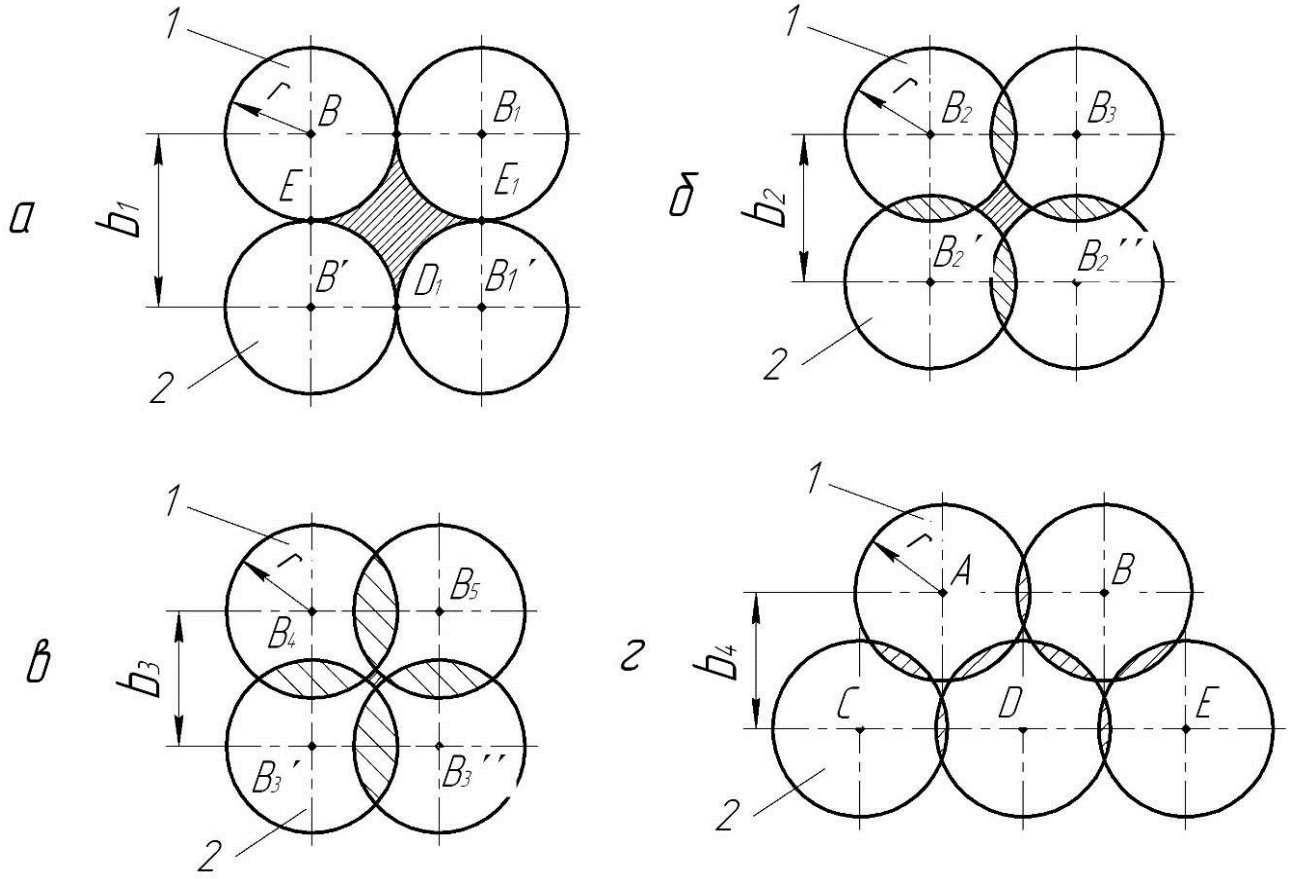
Показатели качества выполнения технологичекого процесса бороной (гребнистость и крошение почвы) определялись в соответствии с ГОСТ 33687-2015 [11].

Результаты и обсуждение. Проведен анализ прокола почвы иглами бороны. На рисунке 2 диск первого ряда бороны при движении одной иглой уже проколол почву в точке B, а через некоторое время диск с иглой должен проколоть почву в точке A_1. В зависимости от величины силы тяжести G бороны на почву глубина h_u прокола может быть такая, какая изображена на рисунке 2, *а*. При проколе почвы произойдет измельчение её верхнего слоя вокруг иглы A_{12}. Как известно, при таком проколе поверхность почвы вокруг цилиндрической части игл A_{12} и A_1 разрыхлится приблизительно по окружности радиусом A_1B и диаметром $A_1 A_{11}$.

Следующий прокол почвы будет сделан нижней иглой в точке A_1. Если в момент этого прокола сила тяжести G не изменится, и свойства почвы сопротивляться проколу так же не изменятся, то прокол в точке A_1 будет такой же, как в точке B, а рыхление почвы будет на площади радиусом $A_1 A_{12}$, т.е. по площади окружности диаметром $A_1 A_{11}$.

Для большей ясности данное явление показано на рис. 3 (вид сверху). Игла при проколе почвы в значительной степени измельчает её поверхность на круглой площади радиуса r (в нашем случае этот радиус будет BA_1 на рис. 2, *а*), определяемого экспериментально. В случае, когда расстояние между иглами небольшое, то края этих окружностей могут накладываться друг на друга и получится повторное рыхление отдельных площадок. Если же расстояние

между иглами большое, то на обрабатываемой площади могут быть огрехи. Рассмотрим это явление более подробно.



а – круглые площадки касаются друг друга; *б* – круглые площадки близки и немного накладываются друг на друга; *в* – центры круглых площадок очень близки и эти площадки существенно накладываются друг на друга; *г* – круглые площадки повернуты на угол *α/2*; 1 и 2 – иглы первого и второго ряда на диске; b_1-b_4 – расстояния между осями первого и второго ряда игл на диске

Рисунок 3 – Расположение круглых площадок взрыхленной поверхности почвы в результате ее прокола иглами игольчатой бороны

На рисунке 3 схематически показаны варианты образования круглых взрыхленных площадок почвы вокруг центров окружностей, расположенных в точках, где производили проколы. Считаем, что борона движется влево. Вариант «*а*» на рисунке 3 получился при одновременном проколе почвы иглами в точках *B, B′* и одновременном проколе почвы иглами в точках B_1 и B'_1 следующими иглами дисков, установленных на общей горизонтальной оси. Здесь, как видим, окружности касаются друг друга в точках *E*, *D*, E_1 и D_1, но между ними имеется участок EDE_1D_1, где почва осталась не взрыхленной. Для уменьшения и ликвидации этого невзрыхленного участка необходимо, чтобы иглы были ближе друг к другу. Это сделано на вариантах «*б*», «*в*» и «*г*» на рисунке 3, где невзрыхленный участок мал в варианте «*б*» и очень мал в вариантах «*в*» и «*г*».

Вместе с тем в вариантах «*б*» и «*в*» увеличились участки, где произведено двойное рыхление почвы, а в варианте «*г*» увеличилось и количество таких участков. Для уменьшения площадок почвы с двойным рыхлением необходимо, чтобы соседние на общей оси бороны

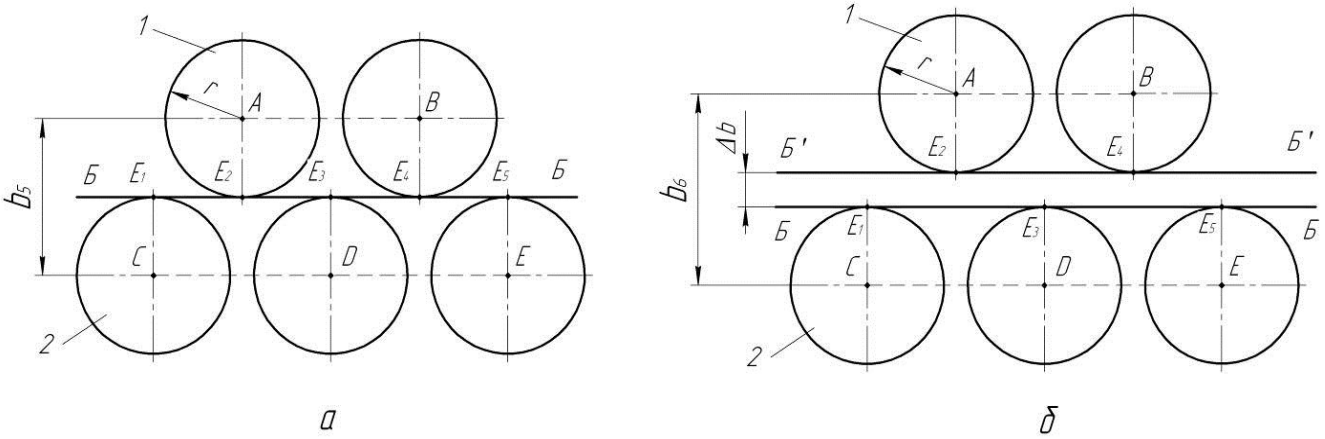
диски с иглами были повернуты на угол *α/2,* где *α* – угол между двумя соседними иглами на диске (рисунок 2, *а*). Для большего уточнения необходимого расположения соседних дисков с иглами на оси игольчатой бороны необходимо еще отметить, что приведенные на рис. 2, *а* положения двух дисков с иглами показывают, как нужно повернуть иглу с диском на угол *α/2* относительно другой иглы с диском (рисунки 2, *а* и 3, *г*). Синус этого угла равен:

$$\sin\frac{\alpha}{2} = \frac{1}{2}\frac{b}{l_и},$$

где *b*– расстояние A_1A_2 между двумя концами соседних игл; l_u - радиус CA_2 окружности, которую описывает конец иглы при вращении вокруг центра *C* (рисунок 2, *а*).

Таковы особенности возможного расположения игольчатых дисков на оси бороны для качественного рыхления почвы. Вместе с тем, наиболее рациональный вариант расположения игольчатых дисков на оси бороны, исключающий двойное рыхление почвы, показан на рисунке 4 (на рисунках 3, *г* и 4 точки A, B, C, D, E являются центрами игл).

На рисунке 4, *а* крайние точки E_1, E_2, E_3, E_4 и E_5 игл находятся на одной линии Б-Б. При таком расположении игл создаются благоприятные условия для самоочистки дисков, так как при работе машины иглы одного диска сразу внедряются в почву, а иглы соседнего диска, движущегося рядом, опускаются в почву лишь через некоторое время.



b_5, b_6 – расстояние между центрами игл в соседних рядах диска бороны

1, 2 – иглы первого и второго ряда на диске

Рисунок 4 – Схемы необходимого расположения игл в соседних рядах на дисках бороны для устранения площадок с повторным рыхлением

Важным параметром является расстояние ***b*** между центрами игл в соседних рядах, которое определяется экспериментально, с учетом качества рыхления почвы и надежности выполнения технологического процесса бороной (обеспечение самоочистки межигольчатого пространства) при работе на разных типах почв, с разными физико-механическими свойствами.

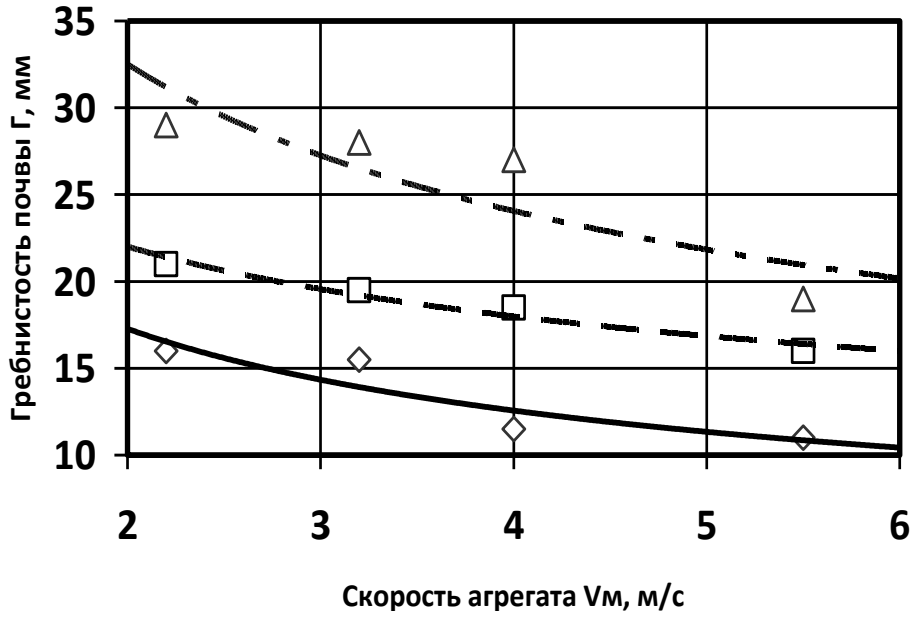
При поверхностном предпосевном рыхлении легко- и среднесуглинистых почв, преобладающих в льноводной зоне, для обеспечения самоочистки межигольчатогого пространства от налипания почвы, расстояние b_5 (рисунок 4, *а*) может быть увеличено на величину Δb (рисунок 4, *б*), устанавлимаемую экспериментально, т.е. $b_6 = b_5 + \Delta b$. В этом случае точки E_2 и E_4 круглых площадок будут располагаться на линии Б'–Б'.

При проведении предварительных опытов проверялась работоспособность батарей лабораторно-полевой установки. Было установлено, что батарея с иглами, закрепленными на дисках с шагом t = 25 мм между их рядами, при работе на суглинистой почве, влажностью

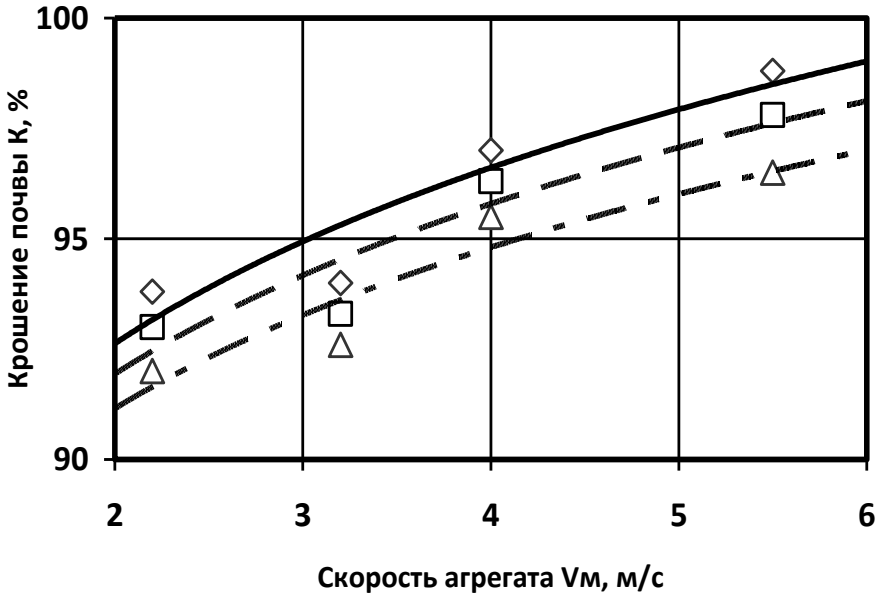
20,9%, из-за налипаний в межигольчатом пространстве, забивается и технологический процесс нарушается.

Поэтому дальнейшие исследования и замеры показателей проводились с использованием трех батарей, с шагом t = 35; 45; и 55 мм между осями игл в рядах.

Зависимости показателей качества работы игольчатой бороны от скорости агрегата, полученные в лабораторно полевых опытах, показаны на рисунке 5. Как видно из графиков, при увеличении скорости агрегата гребнистость поверхности почвы уменьшается, а показатели ее крошения увеличиваются. Лучшие показатели гребнистости почвы (до 15 мм) получены при шаге расстановки дисков с иглами, равном 35 мм.



а



б

——— – t = 35 мм; — — — – t = 45 мм; — • — • — – t = 55 мм

Рисунок 5 – Зависимости гребнистости (*а*) и крошения (*б*) почвы игольчатой бороной от скорости агрегата

Крошение почвы во всех вариантах шага расстановки игольчатых дисков в батареях соответствовало исходным требованиям (выше 90%). Наиболее высокий показатель крошения почвы (95% и выше) у батареи игольчатой бороны с шагом дисков (игл) на оси, равном 35 мм.

Дисперсным анализом установлено, что влияние скорости агрегата на показатели качества работы игольчатой бороны достоверно с уровнем вероятности 0,95. Получены регрессионные модели изменения показателей гребнистости $Г$ и крошения $К$ почвы от скорости $V_м$ агрегата в виде степенных функций [12].

Построенные диаграммы (рисунок 6) густоты стеблестоя, полученные на опытных участках после посева семян льна долгунца селекционной сеялкой СЛС-16, подтверждают преимущества поверхностной предпосевной обработки почвы, выполненные игольчатой бороной с радиально закрепленными на дисках иглами. Густота стеблестоя с увеличением скорости агрегата возрастает, в следствие в значительной степени сохранения структуры взрыхливаемого слоя почвы без его смещения в сравнении с контролем. Причем наибольший эффект имеет место при шаге между игольчатыми дисками, равном 35 мм.

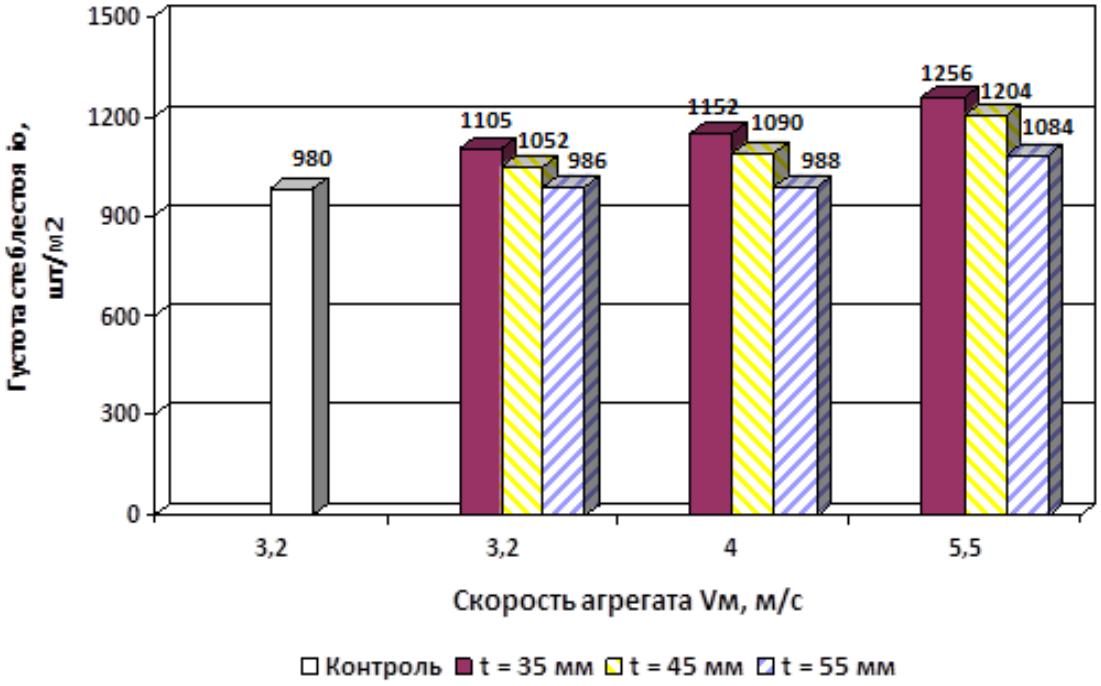


Рисунок 6 – Зависимость густоты i_o стеблестоя льна-долгунца от скорости агрегата $V_м$ и шага t между осями смежных игл

Выводы.

1. Повышение эффективности поверхностной предпосевной обработки почвы под лендогунец может быть достигнуто применением игольчатых борон с радиально закрепленными на дисках иглами. Для обеспечения обработки почвы без огрехов и двойного рыхления необходимо, чтобы иглы в одном диске, и в другом, рядом установленном, диске располагались под одинаковым углом α, но были повернуты относительно игл первого диска на угол $\alpha/2$.

2. Минимальный шаг *t* расстановки игольчатых дисков (или рядов игл) на оси бороны, при котором обеспечивается самоочистка межигольчатого пространства, должно быть не менее 35 мм.

3. Рациональным режимом работы игольчатой бороны является скорость агрегата $V_м$ = 4,0…5,5 м/с, при которой обеспечивается увеличение (в сравнении с контролем) густоты стеблестоя на 12,7…28,1%.

Список литературы

1. Жук, А.Ф. Развитие машин для минимальной и нулевой обработки почвы. Научно-аналитический обзор / А.Ф. Жук, Е.Л. Ревякин. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – 156 с.

2. Мазитов, Н.К. Теория реактивных рабочих органов почвообрабатывающих машин. – Казань: Изд-во «ФЭН» Академии наук РТ, 2011. – 280 с.

3. Михеев, В.В. Разработка ротационных рыхлителей культиватора, оптимизированных для возделывания свеклы // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2014. – №2. – С. 20-25.

4. Лобачевский, Я.П. Разработка и технологии изготовления почвообрабатывающих рабочих органов / Я.П. Лобачевский, И.В. Лискин, С.А. Сидоров, Д.А. Миронов, Р.К. Курбанов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2016. – №4. – С. 3-8.

5. Смирнов, П.А. Обоснование параметров игольчатой бороны с кинематическим соединением между эшелонированными батареями: дис. … канд. техн. наук: 05.20.01 / Смирнов Петр Алексеевич. – Чебоксары, 2002. – 140 с.

6. Хайлис, Г.А. О работе игл игольчатой бороны при ее качении по почве / Г.А. Хайлис, М.М. Ковалев, Н.Н. Толстушко, В.В. Шевчук // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – №5. – С. 25-28.

7. Хайлис, Г.А. О прокалывании почвы иглами игольчатой бороны / Г.А. Хайлис, М.М. Ковалев, Л.А. Талах, В.В. Шевчук // Достижения науки и техники в АПК. – 2014. – №1. – С. 60-62.

8. Ковалев, М.М. Теоретические основы воздействия игл игольчатой бороны на почву / М.М. Ковалев, С.В. Прокофьев, В.Г. Фадеев, В.А. Кондрашов // Техника и оборудование для села. – 2017. – №1. – С. 12-15.

9. Ковалев, М.М. Определение зависимости движущей силы игольчатой бороны от сопротивления почвы проколу и числа одновременно заглубляющихся игл / М.М. Ковалев, В.А. Кондрашов // Техника и оборудование для села. – 2017. – №6. – С. 22-25.

10. Сизов, И.В. Инновационная игольчатая борона для поверхностной обработки почвы под лен-долгунец / И.В. Сизов, В.А. Кондрашов // Конкурентоспособность и инновационная активность регионов: сб. науч. тр. по матер. Междунар. науч.-практ. конф. 6-8 февраля 2018 г. – Тверь, 2018. – С. 216-218.

11. ГОСТ 33687-2015. Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2016. – 41 с.

12. Хайлис, Г.А. Исследования сельскохозяйственной техники и обработка опытных данных / Г.А. Хайлис, М.М. Ковалев. – М.: Колос, 1994. – 196 с.

References

1. ZHuk, A.F. Razvitie mashin dlya minimal'noj i nulevoj obrabotki pochvy. Nauchno-analiticheskij obzor / A.F. ZHuk, E.L. Revyakin. – M.: FGNU «Rosinformagrotekh», 2007. – 156 s.

2. Mazitov, N.K. Teoriya reaktivnykh rabochikh organov pochvoobrabaty-vayushhikh mashin. – Kazan': Izd-vo «FEHN» Akademii nauk RT, 2011. – 280 s.

3. Mikheev, V.V. Razrabotka rotatsionnykh rykhlitelej kul'tivatora, optimizirovannykh dlya vozdelyvaniya svekly // Sel'skokhozyajstvennye mashiny i tekhnologii. – 2014. – №2. – S. 20-25.

4. Lobachevskij, YA.P. Razrabotka i tekhnologii izgotovleniya pochvoobrabatyvayushhikh rabochikh organov / YA.P. Lobachevskij, I.V. Liskin, S.A. Sidorov, D.A. Mironov, R.K. Kurbanov // Sel'skokhozyajstvennye mashiny i tekhnologii. – 2016. – №4. – S. 3-8.

5. Smirnov, P.A. Obosnovanie parametrov igol'chatoj borony s kinematicheskim soedineniem mezhdu ehshelonirovannymi batareyami: dis. … kand. tekhn. nauk: 05.20.01 / Smirnov Petr Alekseevich – CHeboksary, 2002. – 140 s.

6. KHajlis, G.A. O rabote igl igol'chatoj borony pri ee kachenii po pochve / G.A. KHajlis, M.M. Kovalev, N.N. Tolstushko, V.V. SHevchuk // Traktory i sel'khozmashiny. – 2014. – №5. – S. 25-28.

7. KHajlis, G.A. O prokalyvanii pochvy iglami igol'chatoj borony / G.A. KHajlis, M.M. Kovalev, L.A. Talakh, V.V. SHevchuk // Dostizheniya nauki i tekhniki v APK. – 2014. – №1. – S. 60-62.

8. Kovalev, M.M. Teoreticheskie osnovy vozdejstviya igl igol'chatoj borony na pochvu / M.M. Kovalev, S.V. Prokof'ev, V.G. Fadeev, V.A. Kon-drashov // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. – 2017. – №1. – S. 12-15.

9. Kovalev, M.M. Opredelenie zavisimosti dvizhushhej sily igol'chatoj borony ot soprotivleniya pochvy prokolu i chisla odnovremenno zaglublyayushhikhsya igl / M.M. Kovalev, V.A. Kondrashov // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. – 2017. – №6. – S. 22-25.

10. Sizov, I.V. Innovatsionnaya igol'chataya borona dlya poverkhnostnoj obrabotki pochvy pod len-dolgunets / I.V. Sizov, V.A. Kondrashov // Konkurentosposobnost' i innovatsionnaya aktivnost' regionov: sb. nauch. tr. po mater. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 6-8 fevralya 2018 g. – Tver', 2018. – S. 216-218.

11. GOST 33687-2015. Mashiny i orudiya dlya poverkhnostnoj obra-botki pochvy. Metody ispytanij. – M.: Standartinform, 2016. – 41 s.

12. KHajlis, G.A. Issledovaniya sel'skokhozyajstvennoj tekhniki i obra-botka opytnykh dannykh / G.A. KHajlis, M.M. Kovalev. – M.: Kolos, 1994. – 196 s.

УДК 662.754, 665.662

ВЛИЯНИЕ СИЛОВЫХ ПОЛЕЙ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ НА СОСТАВ И СВОЙСТВА НЕФТЕПРОДУКТОВ

Корнев Алексей Юрьевич,
кандидат технических наук, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве». Тамбов. E-mail: vniitinlab7@yandex.ru
Романцова Светлана Валерьевна,
кандидат химических наук, доцент, ФГБОУ ВО Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина. Тамбов. E-mail: svromantsova@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
Ликсутина Анна Павловна,
кандидат технических наук, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве». Тамбов. E-mail: vniitinlab7@yandex.ru

Реферат. *С целью повышения качества нефтепродуктов и совершенствования способов их сохранения на нефтяные и смесевые топлива воздействовали силовыми полями различной природы. Исследовали изменение состава нефтяного дизельного топлива и некондиционной смеси из дизельного топлива и бензиновых фракций, взятых на нефтебазе одного из хозяйств Тамбовской области. Для ультразвуковой обработки использован активатор с трубчатым волноводом с магнитострикторомом ПМС-15-22 и ультразвуковым генератором УЗГ-3-4, генерирующим колебания мощностью 600 Вт. Для исследования влияния на состав и свойства топлив использована противоточная вихревая труба. Анализ продуктов, образующихся после воздействия силовых полей различной природы проводили методом жидкостной хроматографии. Установлено, что ультразвуковое воздействие позволяет улучшить физико-химические свойства смесевого топлива, повысить мощностные и экономические показатели двигателя и улучшить его экологические показатели. Показано, что ультразвуковое воздействие меняет структуру молекул растительного масла и силу межмолекулярного взаимодействия, обработанное масло можно применять в качестве компонента смесевых моторных или котельных топлив, а также в качестве сырья для тонкого органического синтеза. Изменение структуры молекул растительного масла наблюдается также при многофакторном воздействии на него в вихревой трубе. В результате взаимодействия в вихревой трубе периферийного и приосевого центрального потоков происходит изменение структуры молекул масла, наблюдается увеличение непредельных соединений, содержащих до трёх двойных связей в радикале. Влияние взаимодействия вихревых потоков на углеводородный состав нефтяных топлив является менее интенсивным, однако в результате воздействия происходит очистка топлива, что позволяет продлить срок эксплуатации сельскохозяйственной техники.*

Ключевые слова: *светлые нефтепродукты, качество, физические способы обработки.*

INFLUENCE OF POWER FIELDS WITH VARIOUS NATURE ON COMPOSITION AND PROPERTIES OF PETROLEUM PRODUCTS

Kornev Alexey,
Candidate of Technical Sciences, FSBSI
«All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture»,
Tambov, E-mail: vniitinlab7@yandex.ru
Romantsova Svetlana,
Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, FSBEI HE Tambov State University
named after G.R. Derzhavin, Tambov. E-mail: svromantsova@yandex.ru
Busin Igor,
Candidate of Technical Sciences, FSBSI «All-Russian Research Institute for Use of Machinery
and Petroleum Products in Agriculture», Tambov, E-mail: vniitinlab7@yandex.ru
Lixutina Anna,
Candidate of Technical Sciences, FSBSI «All-Russian Research Institute for Use of Machinery
and Petroleum Products in Agriculture», Tambov, E-mail: vniitinlab7@yandex.ru

Abstract. *In order to improve the quality of petroleum products and to improve the methods of their conservation, oil and mixed fuels were affected by force fields of various nature. Changes in the composition of petroleum diesel fuel and substandard mixture of diesel fuel and gasoline fractions taken at the tank farm of one of the farms in the Tambov region were investigated. The activator with a tube waveguide with a magnetostrictor PMS-15-22 and ultrasonic generator UZG-3-4, generating oscillations with a power of 600 V, was used for ultrasonic treatment. A counterflow vortex tube was used to investigate the effect on the composition and properties of fuels. Analysis of products formed after exposure to force fields of different nature was carried out by liquid chromatography. It is established that ultrasonic action allows to improve the physico-chemical properties of the mixed fuel, to increase the power and economic parameters of the engine and to improve its environmental performance. It is shown that the ultrasonic action changes the structure of vegetable oil molecules and the intermolecular interaction force to such an extent that the treated oil can be used as a component of mixed motor or boiler fuels, and also as a raw material for fine organic synthesis. A change in the structure of the molecules of vegetable oil is also observed in the case of a multifactorial action on it in a vortex tube. A change in the structure of oil molecules, an increase in unsaturated compounds containing up to three double bonds in the radical occurs as a result of interaction in the vortex tube of the peripheral and axial central streams. The influence of the interaction of the vortex streams on the hydrocarbon composition of oil fuels is less intense, however, as a result of the action, fuel purification takes place, which allows to extend the life of agricultural machinery.*

Key words*: light oil products, quality, physical methods of processing.*

Введение. Нефтепродукты можно отнести к эксплуатационным материалам, от качества которых зависит надежность, долговечность, экономичность и экологичность сельскохозяйственных машин и механизмов, частота и трудоемкость их технического обслуживания, а в целом по отрасли – экономия материальных и финансовых средств. Поэтому одной из главных задач рационального использования нефтепродуктов в АПК России является поддержание их качества на требуемом уровне во время транспортировки, хранения и применения.

Конструкция современных дизельных двигателей и экологические требования к компонентному составу выхлопных газов обуславливают всё более ужесточающиеся требования к дизельным топливам, которые старается удовлетворить нефтеперерабатывающая промышленность. Но более глубокая очистка нефтяных топлив приводит к удалению некоторых гетероатомных соединений, являвшихся нативными стабилизаторами топлив и увеличению доли непредельных соединений, снижающих стабильность топлива при транспортировке и хранении. Стабильность топлив повышается путём добавления специальных присадок. Таким образом, в современных реалиях хорошее топливо, отвечающее нормам Технического регламента Таможенного союза и требованиям современных двигателей, может быть выработано только при применении глубоких процессов переработки и с использованием присадок, что делает такое топливо достаточно дорогим, оно проигрывает при закупках в цене топливу, произведенному по упрощенным технологиям на мини-НПЗ. Поэтому на складах сельскохозяйственных товаропроизводителей часто оказывается топливо, в котором при хранении активно протекают реакции окисления, полимеризации и коагуляции, что приводит к ухудшению качества топлива при хранении.

Следует упомянуть и про недостаточный уровень готовности оборудования и резервуарного парка нефтебаз сельхозпредприятий к длительному хранению нефтепродуктов, распространенность закупки топлива «с колес», увеличенное число сливно-наливных операций. В таких условиях даже качественное топливо может быстро загрязняться и приходить в негодность. В связи с этим, существует насущная необходимость в совершенствовании старых и поиске новых способов сохранения и повышения качества нефтепродуктов.

Российскими и зарубежными исследователями предлагаются различные способы и технологии, позволяющие изменить физико-химические параметры товарных нефтяных топливных продуктов, увеличить выход светлых нефтепродуктов при перегонке нефти. Воздействовать на кинетику процессов переработки нефти и нефтепродуктов можно химическими веществами и физическими полями различной природы. В результате такого вмешательства изменяется радиус ядра и толщина адсорбционно-сольватной оболочки сложной структурной единицы, которая является элементом нефтяной дисперсной системы, что увеличивает интенсивность воздействия на компоненты сложной структурной единицы [1]. В настоящее время особое внимание многие исследователи уделяют методам интенсивной обработки нефти и товарных нефтепродуктов (например, жидких топлив) с помощью силовых полей различной природы.

Энергетическое воздействие на нефть и нефтепродукты позволяет увеличить выход легколетучих фракций при ее перегонке и улучшить качество получаемого топлива. Воздействие различных силовых полей на прямогонные нефтяные фракции и товарные топлива позволяет улучшить их физико-химические свойства, а следовательно, и эксплуатационные и экологические характеристики. При этом могут изменяться такие характеристики, как плотность, вязкость, температуры вспышки, помутнения и замерзания, скорость и стабильность процесса сгорания, уменьшается токсичность отработавших газов, снижается расход топлива.

Большой потенциал на наш взгляд могут иметь исследования по применению многофакторного физического воздействия на топливо с целью изменения его структуры, сохранения или восстановления его качества.

Методы исследования.

Для ультразвуковой обработки использован активатор, в состав которого входит ультразвуковой генератор. Рабочий узел активатора – трубчатый волновод из легированной стали 12Х18Н10Т. В центре трубчатого волновода установлен магнитостриктор ПМС-15-22, соединенный с ультразвуковым генератором УЗГ-3-4 генерирующего колебания мощностью 600 Вт. Для исследования влияния на состав и свойства топлив использована противоточная вихревая труба.

Для анализа продуктов, образующихся после воздействия силовых полей различной природы, использован метод жидкостной хроматографии, физико-химические параметры топлив определяли в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52368-2005 «Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия»и ГОСТ 305-2013 «Топливо дизельное. Технические условия».

Результаты и обсуждение.

Для изменения свойств топлив, наряду с другими, предлагается ультразвуковое воздействие, генерирующее поле кавитации, что может приводить к разрушению сольватных оболочек сложных структурных единиц жидкости, а также к ослаблению межмолекулярных взаимодействий или даже разрыву химических связей в молекулах.

Так, например, улучшить экологические и некоторые эксплуатационные характеристики современных нефтяных дизельных топлив можно путём добавления биодизельного топлива, синтезируемого из возобновляемого сырья (растительного масла). Однако молекулы биодизельного топлива отличаются от углеводородов нефтяного дизтоплива по химической природе, они имеют более высокую молекулярную массу. Недостатками смеси нефтяного и биодизельного топлива, являются более тяжёлый фракционный состав, повышенная вязкость и коксуемость смесевого топлива, следствием чего являются потеря мощности и повышенный расход топлива дизельным двигателем. Одним из путей повышения эффективности использования биотоплива является обработка его ультразвуком непосредственно в системе питания двигателя. Это позволяет улучшить физико-химические свойства смесевого топлива, повысить мощностные и экономические показатели двигателя и улучшить его экологические показатели [2].

Как показали наши исследования, в качестве компонента смесевого топлива можно даже использовать исходное растительное масло, подвергшееся ультразвуковому воздействию [3].

С этой целью можно использовать активатор, в состав которого входит магнитостриктор, соединенный с ультразвуковым генератором, генерирующим колебания мощностью 600 Вт. В результате обработки масла ультразвуковым физическим воздействием изменяется радиус ядра и толщина адсорбционно-сольватной оболочки сложной структурной единицы, которая является элементом дисперсной системы. Изменение баланса сил между частицами дисперсной системы и уменьшение размеров дисперсных частиц вследствие комплексного физического воздействия позволяет изменить коллоидную структуру масла и приводит к образованию в жидкости разрывов, то есть мельчайших пузырьков, заполненных газом и паром. При захлопывании кавитационного пузырька выделяется энергия, превышающая энергию связи атомов в молекуле, и связь разрывается. В результате разрыва связей в молекулах масла образуются непредельные соединения, имеющие меньшую молекулярную массу, чем исходные триацилглицерины.

Следствием уменьшения молекулярной массы молекул является изменение физико-химических характеристик обработанного масла, например, плотности, вязкости, фракционного состава (табл. 1).

Обработанное таким образом масло можно применять в качестве компонента моторных или котельных топлив, а также в качестве сырья для тонкого органического синтеза [4].

Таблица 1. Характеристики исходного и обработанного масла

Наименование показателей	Исходное масло	Обработанное масло
Плотность при 20 °С, кг/м3	910	880
Вязкость при 40 °С, мм2/с	27,0	12,1
Фракционный состав, °С: Начало кипения 50 % (об.) 96 % (об.) Конец кипения	 300 перегоняется 15 %, далее - разложение	 130 270 315 320

Кавитационная ультразвуковая обработка используется как эффективный способ безреагентной модификации топлива для улучшения его низкотемпературных свойств. Использование такого метода обработки позволяет расширить диапазон нефтяных топлив, используемых в двигателях [5-6].

В промышленности для кавитационного воздействия на жидкость используются гидродинамические, электродинамические, пьезоэлектрические, магнито- стрикционные и механические генераторы кавитации.

Ходовые испытания топлива, обработанного в гидродинамическом кавитаторе, показали значительное снижение расхода топлива (до 18%), более мягкую работу двигателей, значительное снижение зольности (свыше 50%), исчезли отложения смолистых соединений [7]. По данным лабораторных исследований, после обработки летнего дизтоплива (с облегчением фракционного состава вследствие деструкции молекул топлива), температура застывания понизилась на 50-60%, вязкость снизилась на 20-25%, что значительно облегчает условия эксплуатации дизельных двигателей в зимнее время, повышает их экономичность и моторесурс.

Однако генераторы кавитации различного типа являются довольно сложными аппаратами, поэтому весьма актуальным является использование более простых и экономичных аппаратов, способных также оказывать многофакторное физическое воздействие на обрабатываемое жидкое топливо, например, вихревые аппараты. К несомненным преимуществам вихревых труб следует отнести простоту конструкции, отсутствие перемещающихся деталей и подвижных частей, надежность, долговечность, отсутствие специальных хладагентов и теплоносителей, малая инерционность и удобство компоновки.

Хроматографическим методом нами было обнаружено, что после прохождения через вихревую трубу растительного масла происходит изменение его жирнокислотного состава (таблица 2).

Таблица 2. Изменение жирнокислотного состава растительного масла после прохождения его через вихревую трубу

Наименование кислоты	Содержание, (об.) %		Изменение по отношению к исходному, %
	Исходное	Обработанное	

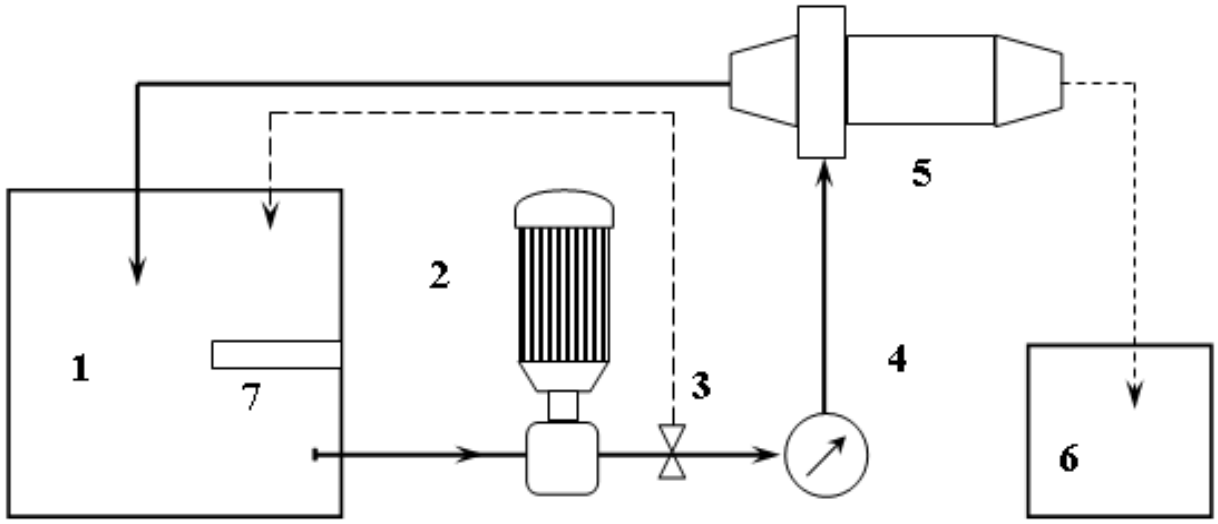
	масло	масло	
Миристиновая	2,37	-	- 100
Пентадекановая	2,08	0,27	- 87,0
Пальмитиновая	0,68	0,50	- 26,4
Маргариновая	0,52	0,26	- 50,0
Маргариноолеиновая	1,01	-	- 100
Стеариновая	5,56	5,47	- 1,62
Олеиновая	60,18	62,15	+ 3,27
Линолевая	2,39	1,05	- 56,1
Линоленовая	5,43	12,88	+ 137,2
Бегеновая	3,70	1,50	- 59,5
Эруковая	3,18	14,8	+365,4

Обнаруженные изменения доказывают, что в результате взаимодействия в вихревой трубе периферийного (с более высокой температурой по отношению к входному потоку) и приосевого центрального потоков (температура которого существенно ниже температуры входного потока) происходит изменение структуры молекул масла. При этом наблюдается увеличение непредельных соединений, содержащих до трёх двойных связей в радикале.

Для проведения дальнейших исследований была разработана и собрана лабораторная установка (рис. 1). На этой установке исследовали изменение состава нефтяного дизельного топлива (ДТ), а также некондиционной смеси из дизельного топлива и бензиновых фракций (НС), взятых на нефтебазе одного из хозяйств Тамбовской области.

Характеристики исследуемых топлив приведена в табл. 3. Обработка заключалась в пропускании пробы образца топлива через лабораторную установку, при изменении количества циклов прохождения топлива (1 цикл – когда весь объем испытуемого образца пройдет через вихревую трубу установки при данном давлении) и давления. После обработки на установке образцы нефтепродуктов анализировались на предмет изменения состава (таблицы 4 и 5).

Видно, что в результате обработки в вихревой трубе, в дизельном топливе несколько снижается содержание октана, нонана, декана и углеводородов сравнительно высокой молекулярной массы и снижается содержание углеводородов, содержащих от 11 до 19 атомов углерода. В некондиционной смеси немного концентрация парафинов и изопарафинов, но увеличивается (как и в случае растительного масла) содержание олефинов (непредельных углеводородов, содержащих одну двойную связь.



1 – емкость; 2 – насос; 3 – редукционный клапан; 4 –датчик давления (манометр);
5 – камера обработки топлива; 6 – резервная емкость; 7 – датчик температуры.

Рисунок 1. Схема лабораторной установки для проведения экспериментов

Таблица 3. Некоторые физико-химические характеристики образцов

П О К А З А Т Е Л И	ДТ	НС	ГОСТ Р 52368	ГОСТ 305 Л / З
Фракционный состав:				
Начало кипения	132	77		
50 % (по объему) перегоняется при t, ºС	264	243		≤ 280
90 % (по объему) перегоняется при t, ºС	340	334		
95 % (по объему) перегоняется при t, ºС	357	365	≤ 360	≤ 360
до температуры 180 ºС (по объему), %	6	23	≤ 10	
при температуре 250 ºС (по объему), %	42	55	> 65	
до температуры 340 ºС (по объему), %	91	91	≤ 95	
при температуре 350 ºС (по объему), %	93	92	≥ 85	
Кинематическая вязкость при 20ºС, мм^2/с	3,35	2,52	-	3,0-6,0 /1,8-5,0
Температура помутнения, ºС	-9	-12	-	- 5/-25
Температура застывания, ºС	-14	-35	-	-10/-35
Температура вспышки в закрытом тигле, ^{0}С	50	24	> 55	> 62/40
Плотность при 20^{0}С, кг/м^3	825	818	-	< 860/840
Кислотность, мг КОН/100 см^3	3,6	5,2	-	< 5 / < 5
Содержание серы, мг/кг	149,3	56,8	10-350	
Содержание меркаптановой серы, %	1,96	< 0,01	-	< 0,01
Содержание фактических смол, мг/100 см^3	40	37	-	40 / 30
Диаметр пятна износа, мм	0,46	0,53	< 460	-

Таблица 4. Изменение углеводородного состава образца ДТ после прохождения через вихревую трубу.

Наименование компонента	Содержание, (об.) %		
	Исходный	1 цикл, 2 атм	10 циклов, 10 атм
Октан	2,59	2,60	2,44
Нонан	3,49	3,48	3,30
Декан	6,47	6,43	6,42
С11 – С 19	70,20	70,42	71,09
Фитан	2,96	2,92	2,82
Пристан	3,31	3,32	3,31
С20 – С25	10,98	10,83	10,62

Таблица 5. Изменение углеводородного состава образца НС после прохождения через вихревую трубу.

Наименование компонента	Содержание, (об.) %		
	Исходный	1 цикл, 2 атм	10 циклов, 10 атм
Парафины	26,84	24,48	23,91
Изопарафины	11,10	10,32	10,86
Ароматические углеводороды	27,44	26,54	27,97
Нафтены	21,48	25,47	21,84
Олефины	13,14	13,19	15,42

Температура топлив в процессе эксперимента возрастала до 40 – 50 ºС, в зависимости от времени обработки (рис. 2). Но такое незначительное повышение не могло привести к изменению структуры углеводородов нефтяных топлив, значит это следствие физических воздействий, возникающих при взаимодействии вихревых потоков внутри трубы.

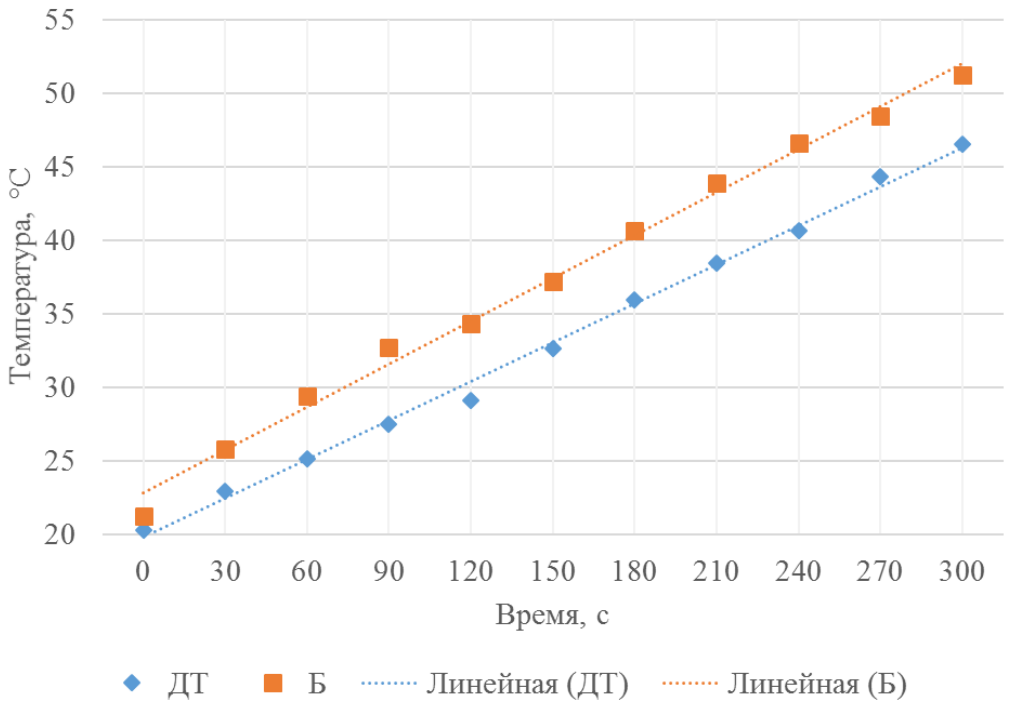


Рисунок 2. Изменение температуры образцов в процессе эксперимента

При однократном пропускании ДТ и НС через вихревую трубу на дне емкости обнаруживался осадок, которого ранее в топливе не наблюдалось. В составе осадка могут присутствовать механические примеси и высокомолекулярные и смолистые соединения, попавшие в топливо или образовавшиеся в ходе химических реакций в процессе транспортировки или хранения на нефтескладе [8,9]. Следовательно, в результате обработки в вихревой трубе происходит процесс очистки топлива от примесей, что очень важно для поддержания работоспособности сельскохозяйственной техники. Ведь наличие в топливе механримесей может привести к нарушению подачи топлива из-за забивания фильтров, абразивному износу металла топливной аппаратуры, нарушению нормальной подачи топлива в цилиндры двигателя, что приводит к падению мощности. Загрязнённое топливо может уменьшить срок службы топливной аппаратуры в 5 - 6 раз [10]. Смолы и высокомолекулярные продукты окисления и полимеризации откладываются на деталях топливной аппаратуры, приводя к образованию нагара и, как следствие, повышенному износу деталей двигателя и увеличению расхода топлива.

Выводы.

В результате проведённых исследований установлено влияние силовых полей различной природы на молекулярный состав и свойства нефтяных и смесевых топлив.

Так, ультразвуковое воздействие меняет структуру молекул растительного масла и силу межмолекулярного взаимодействия настолько, что обработанное масло можно применять в качестве компонента смесевых моторных или котельных топлив, а также в качестве сырья для тонкого органического синтеза.

Изменение структуры молекул растительного масла и нефтяного топлива наблюдается также при многофакторном воздействии на него в вихревой трубе. Влияние взаимодействия вихревых потоков на углеводородный состав нефтяных топлив является менее интенсивным, однако в результате воздействия происходит очистка топлива, что позволяет использовать недорогие, простые по конструкции и в обслуживании, надежные вихревые аппараты на

сельскохозяйственных нефтескладах как дополнительный элемент системы сохранения и восстановления качества топлив [11-13].

Список литературы

1. Промтов М.А. Кавитационная технология улучшения качества углеводородных топлив // Химическое и нефтегазовое машиностроение, 2008. – №2. – С. 6-8.

2. Сляднев Г. Е., Литвинов П. В., Руменко С. О., Полынская А. А. Перспективы использования биодизельного и дизельного топлива в виде смесей и при ультразвуковой обработке // Молодой ученый, 2017. – №11. – С. 108-111.

3. Романцова С.В., Ликсутина А.П. Продукты термической и ультразвуковой обработки растительных масел // Наука в центральной России, 2014. – № 4(10). – С. 11-18.

4. Способ обработки растительных масел: пат. № 2319735 Рос. Федерация: С 11 В 3/00 / Нагорнов С.А., Романцова С.В., Матвеев О.В., Ликсутина А.П., Фокин Р.В. Бюл. изобретений. 2008. № 8.

5. Василевский А.В. Способ улучшения пусковых качеств дизельных двигателей в условиях низких температур посредством ультразвуковой кавитационной обработки дизельного топлива // Материалы международной научно-технической конференции ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров». Книга 2. Москва, МГТУ «МАМИ», 2010 г. – С. 60-65.

6. Василевский А.В. Обработка дизельного топлива ультразвуковым кавитационным воздействием // Леса России и хозяйство в них, 2012. – № 1-2 (42-43). – С. 18-20.

7. Обработка дизельного топлива кавитационным воздействием. . [Электронный ресурс] URL: http://www.kavitus.com/ru.

8. Нагорнов С.А., Вигдорович В.И., Романцова С.В. Окислительные и коррозионные процессы в резервуарах хранения нефтепродуктов // Вестник Тамбовского уноверситета. Сер.: Естественные и технические науки, 2000. – Т. 5. – Вып. 1. – С. 3-8.

9. Романцова С.В. Термодинамический анализ процессов, происходящих в топливе при хранении // Наука в центральной России, 2013. – № 3. – С. 31-36.

10. Янзин В.М. Качество топливо-смазочных материалов и их влияние на техническое состояние машин. [Электронный ресурс] URL: https://agrovesti.net/lib/tech/machinery-and-equipment/kachestvo-toplivo-sma-zochnykh-materialov-i-ikh-vliyanie-na-tekhnicheskoe-sostoyanie-mashin.html.

11. Нагорнов С.А., Зазуля А.Н., Голубев И.Г., Романцова С.В. Повышение эффективности работы нефтехозяйств в АПК. М.: ФГНУ Росинформагротех, 2008. – 168 с.

12. Романцова С.В. Организация хранения современных топлив на сельскохозяйственных нефтескладах // Наука в центральной России, 2013. – № 2. – С. 43-49.

13. Романцова С.В. Снижение потерь и восстановление качества моторных топлив в АПК // Сельскохозяйственные машины и технологии, 2015. – № 2. – С. 36-40.

References

1. Promtov M.A. Kavitatsionnaya tekhnologiya uluchsheniya kachestva uglevodorodnykh topliv // Khimicheskoye i neftegazovoye mashinostroyeniye, 2008. – №2. – S. 6-8.

2. Slyadnev G. Ye., Litvinov P. V., Rumenko S. O., Polynskaya A. A. Perspektivy ispol'zovaniya biodizel'nogo i dizel'nogo topliva v vide smesey i pri ul'trazvukovoy obrabotke // Molodoy uchenyy, 2017. – №11. – S. 108-111.

3. Romantsova S.V., Liksutina A.P. Produkty termicheskoy i ul'tra-zvukovoy obrabotki rastitel'nykh masel // Nauka v tsentral'noy Rossii, 2014. – № 4(10). – S. 11-18.

4. Sposob obrabotki rastitel'nykh masel: pat. № 2319735 Ros. Federatsiya: S 11 V 3/00 / Nagornov S.A., Romantsova S.V., Matveyev O.V., Liksutina A.P., Fokin R.V. Byul. izobreteniy. 2008. № 8.

5. Vasilevskiy A.V. Sposob uluchsheniya puskovykh kachestv dizel'nykh dvigateley v usloviyakh nizkikh temperatur posredstvom ul'trazvukovoy kavitatsionnoy obrabotki dizel'nogo topliva // Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii AAI «Avtomobile- i traktorostroyeniye v Rossii: prioritety razvitiya i podgotovka kadrov». Kniga 2. Moskva, MGTU «MAMI», 2010 g. – S. 60-65.

6. Vasilevskiy A.V. Obrabotka dizel'nogo topliva ul'trazvukovym kavitatsionnym vozdeystviyem // Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh, 2012. – № 1-2 (42-43). – S. 18-20.

7. Obrabotka dizel'nogo topliva kavitatsionnym vozdeystviyem. . [Elektronnyy resurs] URL: http://www.kavitus.com/ru.

8. Nagornov S.A., Vigdorovich V.I., Romantsova S.V. Okislitel'nyye i korrozionnyye protsessy v rezervuarakh khraneniya nefteproduktov // Vestnik Tambovskogo unoversiteta. Ser.: Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki, 2000. – T. 5. – Vyp. 1. – S. 3-8.

9. Romantsova S.V. Termodinamicheskiy analiz protsessov, proiskhodyashchikh v toplive pri khranenii // Nauka v tsentral'noy Rossii, 2013. – № 3. – S. 31-36.

10. Yanzin V.M. Kachestvo toplivo-smazochnykh materialov i ikh vliyaniye na tekhnicheskoye sostoyaniye mashin. [Elektronnyy resurs] URL:
https://agrovesti.net/lib/tech/machinery-and-equipment/kachestvo-toplivo-sma-zochnykh-materialov-i-ikh-vliyanie-na-tekhnicheskoe-sostoyanie-mashin.html.

11. Nagornov S.A., Zazulya A.N., Golubev I.G., Romantsova S.V. Povysheniye effektivnosti raboty neftekhozyaystv v APK. M.: FGNU Rosinformagrotekh, 2008. – 168 s.

12. Romantsova S.V. Organizatsiya khraneniya sovremennykh topliv na sel'skokhozyaystvennykh nefteskladakh // Nauka v tsentral'noy Rossii, 2013. – № 2. – S. 43-49.

13. Romantsova S.V. Snizheniye poter' i vosstanovleniye kachestva motornykh topliv v APK // Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii, 2015. – № 2. – S. 36-40.

УДК 662.754, 665.663

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОФАКТОРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СВЕТЛЫЕ НЕФТЕПРОДУКТЫ

Корнев Алексей Юрьевич
кандидат технических наук, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве». Тамбов. E-mail: vniitinlab7@yandex.ru
Романцова Светлана Валерьевна
кандидат химических наук, доцент, ФГБОУ ВО Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина. Тамбов. E-mail: svromantsova@yandex.ru
Нагорнов Станислав Александрович
доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве». Тамбов, E-mail: snagornov@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. *Сельскохозяйственная техника часто выходит из строя из-за использования дешёвого топлива, произведенного по упрощенным технологиям, и ухудшения качества топлива в процессе транспортировки или хранения. Для восстановления качества топлива предложено использовать многофакторное воздействие: комплексного применению химических реагентов и физических методов обработки и активации жидких сред. Исследовали влияние физико-химической обработки на товарное летнее нефтяное дизельное топливо и на некондиционную смесь из дизельного топлива и бензиновых фракций, взятых на нефтебазе одного из хозяйств Тамбовской области. В качестве реагентов использовали растворы гидроперита и карбамида с добавлением изопропилового спирта. Дополнительно топливо обрабатывали в вихревой трубе, действующей на основе эффекта Ранка-Хилша. После обработки топлива растворами реагентов в вихревой трубе в течение 10 циклов (за 1 цикл весь объем испытуемого образца проходит через вихревую трубу установки при давлении 10 атм) исследовали углеводородный состав топлив и определяли их основные физико-химические характеристики. При комплексном воздействии происходит интенсификация обработки топлива и наблюдается изменение фракционного состава – снижение 90 и 95 % точки перегонки, снижение количества общей и меркаптановой серы, уменьшение содержания фактических смол и парафинов, улучшение смазывающей способности топлива и его низкотемпературных свойства, изменение цветности топлива. В процессе обработки фиксируется увеличение температуры смеси с 20 до 45 ºС. Предложен модифицированный статический смеситель-активатор с несколькими последовательно установленными в одном корпусе камерами различного принципа действия, создающий многофакторное воздействие на обрабатываемую жидкость.*

Ключевые слова: *светлые нефтепродукты, качество, физические и химические способы обработки.*

INVESTIGATION OF MULTIFACTOR IMPACT ON LIGHT PETROLEUM PRODUCTS

Kornev Alexey,
Candidate of Technical Sciences, FSBSI «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Tambov, E-mail: vniitinlab7@yandex.ru
Romantsova Svetlana,
Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, FSBEI HE Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov. E-mail: svromantsova@yandex.ru
Nagornov Stanislav,
Doctor of Technical Sciences, «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Tambov, E-mail:: snagornov@yandex.ru

Busin Igor,
Candidate of Technical Sciences, FSBSI «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Tambov, E-mail: vniitinlab7@yandex.ru

Abstract. *Agricultural machinery often fails due to the use of cheap fuel produced by simplified technologies and deterioration of fuel quality during transportation or storage. It is proposed to use a multifactor effect: the complex application of chemical reagents and physical methods of processing and activation of liquid media for the restoration of fuel quality. The effect of physical and chemical treatment on commercial summer oil-diesel fuel and on a non-standard mixture of diesel fuel and gasoline fractions taken at the tank farm of one of the farms in the Tambov region was investigated. Solutions of hydroperite and urea with the addition of isopropyl alcohol were used as reagents.An additional factor is the treatment of fuel in a vortex tube operating on the basis of the Rank-Hilsch effect. The hydrocarbon composition of the fuels was investigated after fuel treatment with reagent solutions in the vortex tube for 10 cycles (for 1 cycle the entire volume of the test sample passes through the vortex tube of the apparatus at a pressure of 10 atm) and their basic physicochemical characteristics were determined. Intensification of fuel processing takes place under complex influence and a change in the fractional composition is observed-a decrease of 90 and 95% of the distillation point, a decrease in the amount of total and mercaptan sulfur, a decrease in the content of actual resins and paraffins, improved lubricity of the fuel and its low-temperature properties. The increase in the temperature of the mixture from 20 to 45 ° C is fixed during the treatment process. A modified static mixer-activator with several chambers of different principle of action installed in the same chassis, creating a multifactorial effect on the liquid being treated, is proposed.*

Key words: *light oil products, quality, physical and chemical methods of processing.*

Введение. Одной из главных задач рационального использования нефтепродуктов в АПК является поддержание их качества на требуемом уровне во время транспортировки, хранения и применения, так как от этого зависит надежность, экономичность и экологичность сельскохозяйственных машин и механизмов, частота и трудоемкость их технического обслуживания, а в целом по отрасли – экономия материальных и финансовых средств.

К сожалению, проблема некачественного топлива в сельском хозяйстве пока остается достаточно актуальной. Одной из причин этого является ориентированность потребителя на стоимость топлива на фоне постоянного роста акцизов и общей отпускной цены литра горючего, что позволяет отдельным недобросовестным поставщикам сбывать недоброкачественную продукцию, привлекая потребителя низкой ценой. Кроме того, состояние резервуарного парка нефтескладов сельскохозяйственных товаропроизводителей, отсутствие необходимого оборудования приводят к тому, что в ходе хранения топливо загрязняется, обводняется и в нём активно протекают реакции окисления, полимеризации и поликонденсации [1,2]. В результате сельскохозяйственная техника заправляется некачественным топливом с повышенным содержанием загрязнений, агрессивных (например, серосодержащих) соединений, смолистых и высокомолекулярных продуктов окисления и полимеризации. Это негативно действует на топливную аппаратуру, снижает срок эксплуатации техники, приводит к частому выходу её из строя.

Неудовлетворительное состояние нефтескладов и невысокое качество топлив требуют совершенствования имеющихся и разработки новых способов повышения качества нефтепродуктов. Большой потенциал здесь имеют исследования по многофакторному

воздействию на светлые нефтепродукты, например, комплексному применению как химических реагентов, так и физических методов обработки и активации жидких сред.

Методы исследования.

Исследуется влияние физико-химической обработки на товарное летнее нефтяное дизельное топливо (ДТ), а также на некондиционную смесь из дизельного топлива и бензиновых фракций (НС). В качестве реагентов используются спиртовой раствор карбамида и водный раствор гидроперита.

Для анализа продуктов, образующихся после комплексного многофакторного воздействия использован метод жидкостной хроматографии, физико-химические параметры топлив определяли в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52368-2005 «Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия» и ГОСТ 305-2013 «Топливо дизельное. Технические условия».

Результаты и обсуждение.

Анализ литературных данных и проведённые нами ранее исследования показали, что воздействие на топливо силовых полей различной природы (ультразвук, гидродинамическая кавитация и т.д.) приводит к изменению структуры молекул и физико-химических характеристик топлив и снижению износа деталей двигателя [3-5].

Однако ультразвуковые, кавитационные, роторные активаторы топлив представляют собой довольно сложные и дорогостоящие аппараты. Ещё одним способом физического воздействия на жидкое топливо обработка в вихревой трубе, действующей на основе эффекта Ранка-Хилша. В таком реакторе происходит взаимодействие двух вихрей, которые вдоль оси аппарата движутся навстречу друг другу. Периферийный поток вращается по законам, описывающим движение потенциального вихря. Приосевой поток вращается по законам, описывающим движение квазитвердого тела [6-8]. Перенос энергии от осевого слоя к периферийному осуществляется, в основном, за счет турбулентных пульсаций. Возможно, что при этом энергообмене возникает турбулентное пульсационное воздействие, которое активирует молекулы обрабатываемой жидкости. Преимуществами вихревого активатора являются: компактность, меньшая энергоёмкость, простота конструкции и обслуживания вихревого аппарата, отсутствие системы охлаждения.

Воздействию в вихревой трубе подвергалось товарное летнее дизельное топливо (ДТ), а также некондиционная смесь из дизельного топлива и бензиновых фракций (НС), взятых на нефтебазе одного из хозяйств Тамбовской области.

Как показал анализ, проведённый методом жидкостной хроматографии, даже при многократном прохождении нефтяного топлива через вихревую трубу при давлении от 2 до 10 атм наблюдается незначительное изменение его углеводородного состава, поэтому для комплексного физико-химического воздействия в образцы топлив вводились химические реагенты. Воздействие на смесь при помощи вихревой трубы установки выступало дополнительным фактором обработки.

В качестве реагентов использовали карбамид по предложенному ранее способу [9], но модифицированный добавлением изопропилового спирта вместо воды, а также, нами был опробован новый способ обработки топлива, где в качестве реагента предложено использовать раствор гидроперита. Гидроперит представляет собой клатрат (соединение включения молекул одного вещества в молекулярную решётку другого) пероксида водорода с карбамидом (мочевиной). При растворении в воде получается раствор пероксида водорода и карбамида. После обработки топлива растворами реагентов в вихревой трубе в течение 10 циклов (за 1 цикл весь объем испытуемого образца проходит через вихревую трубу установки

давлении 10 атм) исследовали углеводородный состав топлив и определяли их основные физико-химические характеристики. Углеводородный состав образцов ДТ и НС после комплексной физико-химической обработки представлен в таблицах 1 и 2.

Взаимодействие вихревых потоков интенсифицирует массообмен в смеси и преобразует кинетическую энергию движения потока топлива во внутреннюю энергию. При наложении на жидкую среду часть затрачиваемой энергии инициирует разрыв молекулярных цепей углеводородов топлива, вызывая рекомбинацию углеводородного состава, что способствует интенсификации реакционного процесса между гидроперитом и обрабатываемым топливом.

Таблица 1. Изменение углеводородного состава образца ДТ после прохождения через вихревую трубу с реагентами

Наименование компонента	Содержание, (об.) %		
	Исходный	Спиртовой раствор карбамида	Водный раствор гидроперита
Октан	2,59	-	-
Нонан	3,49	2,31	-
Декан	6,47	4,94	2,38
С11 – С 19	70,20	55,78	77,33
Фитан	2,96	2,12	1,99
Пристан	3,31	2,51	2,54
С20 – С25	10,98	8,18	6,78
Комплекс	-	24,16	8,98

Таблица 2. Изменение углеводородного состава образца НС после прохождения через вихревую трубу с реагентами

Наименование компонента	Содержание, (об.) %		
	Исходный	Спиртовой раствор карбамида	Водный раствор гидроперита
Парафины	26,84	15,81	14,99
Изопарафины	11,10	9,23	8,87
Ароматические углеводороды	27,44	41,97	36,58
Нафтены	21,48	21,84	24,59
Олефины	13,14	11,15	14,97

Как видно из полученных данных, после обработки изменяется количество углеводородов легких и тяжелых фракций. У образца ДТ увеличивается суммарное количество фракций C_{11} – C_{19}, и появляется некий комплекс легких фракций, выходящий при хроматографировании раньше остальных.

У образца НС происходит снижение содержания парафиновых и изопарафиновых углеводородов, что может улучшить низкотемпературные характеристики топлива, но увеличивается содержание ароматических углеводородов. Возможно эти условия благоприятны для реакций циклизации.

В результате интенсификации массообмена в вихревой трубе за короткий промежуток времени реагент распределяется равномерно по всему объему очищенного топлива и проявляет окислительную и сорбционную способность по отношению к смолам и серосодержащим соединениям, присутствующим в топливе. Поэтому заметно изменилось и содержание в образцах коррозионно - агрессивных серосодержащих соединений (таблицы 3,4).

Как результат многофакторного воздействия наблюдается снижение количества наиболее вредных меркаптановых и тиофеновых производных серосодержащих соединений, по сравнению с исходным топливом. Более активное действие раствора гидроперита связано с тем, что содержащийся в нём пероксид водорода окисляет реакционноспособные серосодержащие соединения.

Таблица 3. Изменение серосодержащих соединений образца ДТ после прохождения через вихревую трубу с реагентами

Наименование компонента	Содержание, (об.) %		
	Исходный	Спиртовой раствор карбамида	Водный раствор гидроперита
Этилмеркаптан	1,96	0,38	-
3-метилтиофен	0,40	-	-
2,5-диметилтиофен	0,37	-	-
Изопропилметилсульфид	0,35	-	-
Бензотиофен	10,92	12,08	7,31
Дифенилсульфид	36,39	43,93	38,50
Дибензотиофен	35,45	27,73	39,69
4-метилдибензотиофен	14,60	15,87	14,43

Таблица 4. Изменение серосодержащих соединений образца НС после прохождения через вихревую трубу с реагентами

Наименование компонента	Содержание, (об.) %		
	Исходный	Спиртовой раствор карбамида	Водный раствор гидроперита
Тиофен	5,07	2,90	-
2,5-диметилтиофен	3,29	2,03	-
Бензотиофен	1,92	1,73	-
Дифенилсульфид	25,19	23,10	27,59
Дибензотиофен	37,50	42,77	42,94
4-метилдибензотиофен	27,01	27,45	29,47

Результатом комплексного воздействия явилось также изменение физико-химических характеристик исследуемых топлив, отраженное в данных, приведенных в таблицах 5,6.

На основании полученных результатов можно констатировать изменение фракционного состава – снижение 90 и 95 % точки перегонки, снижение количества общей серы и удаление

меркаптановой серы, снижение содержания фактических смол и некоторое улучшение низкотемпературных свойств. Установлено, что карбамид, входящий в небольших количествах в состав гидроперита, при взаимодействии с обрабатываемым топливом частично диспергируется в нем, повышая его смазывающие свойства.

Следует отметить, что подобного эффекта с теми же реагентами не удалось достичь при обычном перемешивании или с помощью центрифуги, что свидетельствует о несомненном положительном влиянии вихревого эффекта на процесс перемешивания и массопереноса.

Зафиксированное возрастание температуры пропускаемого через трубу топлива до 40 – 50 °С, позволяет рассматривать вихревую трубу как энергоэффективное решение для внесения в топливо необходимых присадок на местах его применения (непосредственно в хозяйствах при заправке двигателей сельскохозяйственных машин), например, депрессорно-диспергирующих, которые следует вводить в топливо, подогретое до температур, превышающих температуру помутнения на 10 – 40 °С.

Таблица 5. Изменение физико-химических показателей образца ДТ после прохождения через вихревую трубу с реагентами

П о к а з а т е л и	Исходный	Спиртовой раствор карбамида	Водный раствор гидроперита
Фракционный состав:			
ПК	132	128	140
10 % (по объему) перегоняется при t, ºС	197	191	195
20 % (по объему) перегоняется при t, ºС	219	215	217
30 % (по объему) перегоняется при t, ºС	233	229	231
40 % (по объему) перегоняется при t, ºС	247	245	245
50 % (по объему) перегоняется при t, ºС	264	258	256
60 % (по объему) перегоняется при t, ºС	278	271	274
70 % (по объему) перегоняется при t, ºС	290	288	289
80 % (по объему) перегоняется при t, ºС	315	310	312
90 % (по объему) перегоняется при t, ºС	340	337	331
95 % (по объему) перегоняется при t, ºС	357	354	350
до температуры 180 ºС (по объему), %	6	7	7
при температуре 250 ºС (по объему), %	42	47	47
до температуры 340 ºС (по объему), %	91	91	92
при температуре 350 ºС (по объему), %	93	94	95
Кинематическая вязкость при 20оС, мм2/с	3,35	3,30	3,33
Температура помутнения, ºС	-9	-9	-10
Температура застывания, ºС	-14	-15	-17
Температура вспышки в закрытом тигле, 0С	50	45	49
Плотность при 200С, кг/м3	825	830	827
Кислотность, мг КОН/100 см3	3,6	2,1	1,8
Содержание серы, мг/кг	149,3	129,1	118,7
Содержание меркаптановой серы, %	1,96	0,87	Отсутствие
Содержание фактических смол, мг/100 см3	40	10	6

Диаметр пятна износа, мм	0,46	0,38	0,36

Основываясь на результатах проведённых экспериментов нами предложен модифицированный статический смеситель-активатор с несколькими последовательно установленными в одном корпусе камерами различного принципа действия, создающий многофакторное воздействие на протекающую через него жидкость (рисунок 1).

Смеситель-активатор состоит из цилиндрического корпуса – 1, выполненного из немагнитного материала, винтовых элементов смесителя – 2 и 3, 4 – цилиндрического стержня внутри винтового элемента 3, выполненного заодно с цилиндрической вставкой 5, имеющей со стороны, противоположной стержню 4, плиту со скругленными по радиусу краями для удара потока о стенку 6. В цилиндрической вставке 5 выполнены каналы 7, центры входных отверстий которых располагаются в зазоре между витками винтовых элементов 2 и 3. 8 – промежуточная камера, 9 – смесительный элемент из немагнитного материала, состоящий из перекрещивающихся решеток, образующих пространственную систему каналов, осуществляющую разделение и воссоединение потоков, 10 – кольцевые магниты, 11 – сопловый вход в смеситель-активатор с тангенциальным вводом, аналогичный входу в вихревой трубе Ранка.

Таблица 6. Изменение физико-химических показателей НС после прохождения через вихревую трубу с реагентами

П о к а з а т е л и	Исходный	Спиртовой р-р карбамида 10 циклов, 10 атм	Водный р-р гидроперита 10 циклов, 10 атм
Фракционный состав:			
ПК	77	74	82
10 % (по объему) перегоняется при t, ºС	127	125	134
20 % (по объему) перегоняется при t, ºС	172	168	175
30 % (по объему) перегоняется при t, ºС	203	197	206
40 % (по объему) перегоняется при t, ºС	223	221	225
50 % (по объему) перегоняется при t, ºС	243	240	249
60 % (по объему) перегоняется при t, ºС	261	259	264
70 % (по объему) перегоняется при t, ºС	284	276	282
80 % (по объему) перегоняется при t, ºС	307	295	299
90 % (по объему) перегоняется при t, ºС	334	329	327
95 % (по объему) перегоняется при t, ºС	365	360	356
до температуры 180 ºС (по объему), %	23	24	21
при температуре 250 ºС (по объему), %	55	55	49
до температуры 340 ºС (по объему), %	91	92	93
при температуре 350 ºС (по объему), %	92	93	94
Кинематическая вязкость при 20оС, мм2/с	2,52	2,60	2,49
Температура помутнения, ºС	-12	-12	-14
Температура застывания, ºС	менее -30	менее -30	менее -30
Температура вспышки в закрытом тигле, 0С	24	23	30

Плотность при 200С, кг/м3	818	810	822
Кислотность, мг КОН/100 см3	5,2	3,5	2,6
Содержание серы, мг/кг	56,8	47,6	38,5
Содержание меркаптановой серы, %	0,01	менее 0,01	отсутствие
Содержание фактических смол, мг/100 см3	37	12	5
Диаметр пятна износа, мм	0,53	0,46	0,41

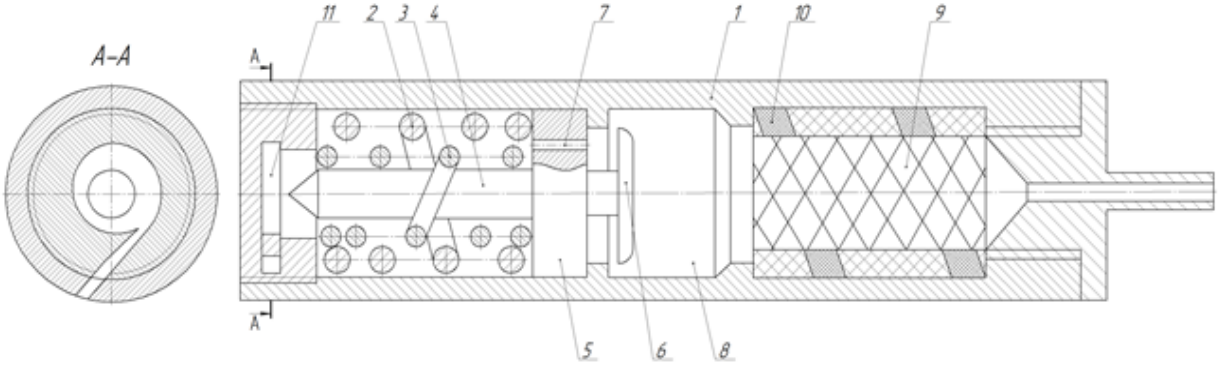


Рисунок 1. – Схема модифицированного статического смесителя-активатора

В смесителе-активаторе имеется три последовательно расположенных камеры различного принципа действия. В первой камере осуществляется кинематическое действие на обрабатываемую среду: насосом в сопловый вход с тангенциальным вводом - 11 подаются смешиваемые жидкости, поток завихряется и получает кинетическую энергию, далее произвольно распределяясь во второй камере по внешнему и внутреннему винтовым элементам 2 и 3 – небольшим металлическим спиральным лентам, изготовленным скручиванием плоской пластины на некоторый угол вдоль продольной оси. Спираль 2, прилегает без зазоров между боковыми гранями винтового элемента и цилиндрической поверхностью корпуса 1. Винтовой элемент 3 имеет навивку противоположную элементу 3, а между витками спирали 2 и 3 имеется малый зазор. Внутри спирали 3 с малым зазором проходит цилиндрический стержень 4, выполненный заодно с цилиндрической вставкой 5, имеющей со стороны, противоположной стержню 4, плиту со скругленными по радиусу краями 6.

Благодаря такому строению камеры жидкость расслаивается при переходе от одного элемента к другому, а в пределах одного элемента течет по двум полукруглым винтовым каналам, в противофазе, это приводит к множественным локальным квазиударным процессам, которые способствуют дроблению и смешению жидкостей.

В конце камеры перед цилиндрической вставкой 5, содержащей каналы 7, центры входных отверстий которых располагаются в зазоре между витками спиралей 2 и 3, образуется вихревая зона, формирующая псевдокипящий слой.

В третьей камере инициируется кавитационное действие на жидкую среду. В каналах 7, повышенное внутреннее давление, сжимающее образующиеся капли жидкости, которые ударяются о плиту 6, попадают в промежуточную камеру 8. Вследствие резкого перепада давления и ударения потока о плиту возникает кавитация (как акустическая кавитация, так и

гидродинамическая), обусловленная интенсивным вихревым движением жидкости, в результате чего происходит дробление крупных капель на капли меньшего диаметра. Следует отметить, что акустическая и гидродинамическая кавитации возникают одновременно в одном потоке и дополняют друг друга. Само по себе схлопывание пузырьков служит источником выделения звуковой энергии. Скругленные по радиусу края пластины 6 предназначены для направления движения образующихся потоков, что позволяет ликвидировать застойную зону. Эффект кавитации сопровождается микровзрывами, ультразвуком, соударениями, что дает возможность делить диспергируемые вещества на мельчайшие микрочастицы, кавитация влияет на изменение структурной вязкости – на разрыв связей Ван-дер-Ваальса.

На последнем этапе обработки жидкой среды в камере 4 происходит многократное разделение и рекомбинация смешиваемых компонентов статическим способом с помощью своеобразной пространственной решетки 9, которая состоит из гребенок с отогнутыми в противоположных направлениях на некоторый угол зубьями и собранных таким образом, что в совокупности указанные элементы образуют объемную решетку со смещенными на ширину зубьев прорезями, ориентированных вдоль цилиндрического корпуса 1. Происходит разделение жидкостей на отдельные потоки и их направленное движение по каналам, где они многократно разделяются и воссоединяются в пересекающихся направлениях друг с другом, совершая при этом активный массообмен. При прохождении жидкости через пространственную решетку четвертой камеры, также происходит магнитная обработка жидкой системы за счет действия двух кольцевых постоянных магнитов - 10, которые наклонены по отношению к продольной оси корпуса, что позволяет повысить эффективность активизации проходящего топлива. Искривление магнитного поля и создание попеременного (волнообразного) воздействия магнитного поля сначала полем одной полярности первого магнита, затем полем обратной полярности этого же кольцевого магнита и точно также последовательно двумя полями полярности второго магнита, способствует интенсификации массообменных процессов потока жидкости, проходящего в зазорах решетки 9.

Многофакторное воздействие на молекулярные образования приводит к запуску процесса самоактивации с выделением внутренней энергии, что может быть связано с разрывом межмолекулярных связей при наложении на жидкую среду механического воздействия и образованием новых химических связей, что приводит к самоорганизации вещества, происходящей на молекулярном уровне, изменению свойств и состава жидкой среды и достижению системой состояния энергетического равновесия: минимум внутренней энергии системы, энтальпии и свободной энергии системы [10].

В процессе активации жидкой среды часть затрачиваемой энергии, концентрируется в узловых точках молекулярных цепей, которые называются также особыми точками. Их образование возможно в результате раздвоения молекулярных цепей, слипания двух цепей, внедрения атомов кислорода. Разрыв молекулярной цепи возможен при накоплении локальных больших плотностей энергии, которые при достижении пороговой плотности делят молекулярную цепь, при этом, чем она длиннее, тем меньшая плотность энергии необходима. Энергия, выделившаяся за счет образования новых молекулярных структур, частично тратится на разрыв молекулярных связей, в результате которого образуются еще более короткие молекулярные цепи, а частично идет на синтез новых, в том числе и отсутствующих в исходной структуре жидкого вещества молекулярных цепей. При многофакторной активации можно восстанавливать энергетический баланс системы при сравнительно небольших значениях затрачиваемой внешней энергии и выделении дополнительной энергии

за счет разрыва молекулярных цепей, а также образования новых молекулярных цепей посредством самоорганизации [10].

Заключение.

Таким образом, в смесителе-активаторе с четырьмя камерами различного принципа действия происходит комплексное воздействие на жидкофазные системы, что должно способствовать локальному подъему температуры и давления, фазовым превращениям, ускорению процессов массопереноса, приводящих к значительному повышению реакционной способности и, как следствие, к ускорению физико-химических процессов, а также высокой степени гомогенизации при смешении веществ.

При совместном использовании смесителя-активатора и химических реагентов – спиртового раствора карбамида, либо водного раствора гидроперита, происходит интенсификация обработки топлива и наблюдается изменение фракционного состава – снижение 90 и 95 % точки перегонки, снижение количество общей и меркаптановой серы, уменьшение содержания фактических смол и парафинов, улучшение смазывающей способности топлива и его низкотемпературных свойства, изменение цветности топлива. В процессе обработки фиксируется увеличение температуры смеси с 20 до 45 ºС

Список литературы

1. Нагорнов С.А., Вигдорович В.И., Романцова С.В. Окислительные и коррозионные процессы в резервуарах хранения нефтепродуктов // Вестник Тамбовского уновеситета. Сер.: Естественные и технические науки, 2000. – Т. 5. – Вып. 1. – С. 3-8.

2. Романцова С.В. Термодинамический анализ процессов, происходящих в топливе при хранении // Наука в центральной России, 2013. – № 3. – С. 31-36.

3. Промтов М.А. Кавитационная технология улучшения качества углеводородных топлив. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2008. №2. С. 6-8.

4.Сляднев Г. Е., Литвинов П. В., Руменко С. О., Полынская А. А. Перспективы использования биодизельного и дизельного топлива в виде смесей и при ультразвуковой обработке // Молодой ученый. — 2017. — №11. — С. 108-111.

5. Анисимов А. С., Карасёв Ю. В., Ивашкин А. А. Способы улучшения эксплуатационных свойств дизельного топлива // Молодой ученый, 2016. – №26. – С. 1-3.

6. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. – М.: Машиностроение, 1969.– 176 с.

7. Пиралишвили Ш.А. Вихревой эффект, Т. 1 : Физическое явление, эксперимент, теоретическое моделирование. – М.: Научтехлитиздат, 2013. – 342 с.

8. Хоробрых М. А., Клементьев В. А. Вихревой эффект Ранка-Хилша. Вихревая труба // Молодой ученый, 2012. – №6. – С. 54-55.

9. Патент РФ № 2477303 МПК C10G29/20, C10G31/10. Способ очистки дизельного топлива / Остриков В.В., Корнев А.Ю., Нагорнов С.А., Бектилевов А.Ю., Павлов С.С.; заявитель и патентообладатель ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии - 2012106683/04; заявл. 22.02.2012; опубл. 10.03.2013.

10. Воробьев Ю.В., Кузьмин А.П. Химическое действие гидроудара в активаторе моторного топлива // Вестник Тамбовского государственного технического университета, 2014. – Т. 20. – № 1. – С. 95-100.

References

1. Nagornov S.A., Vigdorovich V.I., Romantsova S.V. Okislitel'nyye i korrozionnyye protsessy v rezervuarakh khraneniya nefteproduktov // Vestnik Tambovskogo unoversiteta. Ser.: Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki, 2000. – T. 5. – Vyp. 1. – S. 3-8.

2. Romantsova S.V. Termodinamicheskiy analiz protsessov, proiskhodyashchikh v toplive pri khranenii // Nauka v tsentral'noy Rossii, 2013. – № 3. – S. 31-36.

3. Promtov M.A. Kavitatsionnaya tekhnologiya uluchsheniya kachestva uglevodorodnykh topliv. // Khimicheskoye i neftegazovoye mashinostroyeniye. 2008. №2. S. 6-8.

4.Slyadnev G. Ye., Litvinov P. V., Rumenko S. O., Polynskaya A. A. Perspektivy ispol'zovaniya biodizel'nogo i dizel'nogo topliva v vide smesey i pri ul'trazvukovoy obrabotke // Molodoy uchenyy. — 2017. — №11. — S. 108-111.

5. Anisimov A. S., Karasov YU. V., Ivashkin A. A. Sposoby uluchsheniya ekspluatatsionnykh svoystv dizel'nogo topliva // Molodoy uchenyy, 2016. – №26. – S. 1-3.

6. Merkulov A.P. Vikhrevoy effekt i yego primeneniye v tekhnike. – M.: Mashinostroyeniye, 1969.– 176 s.

7. Piralishvili SH.A. Vikhrevoy effekt, T. 1 : Fizicheskoye yavleniye, eksperiment, teoreticheskoye modelirovaniye. – M.: Nauchtekhlitizdat, 2013. – 342 s.

8. Khorobrykh M. A., Klement'yev V. A. Vikhrevoy effekt Ranka-Khilsha. Vikhrevaya truba // Molodoy uchenyy, 2012. – №6. – S. 54-55.

9. Patent RF № 2477303 MPK C10G29/20, C10G31/10. Sposob ochistki dizel'nogo topliva / Ostrikov V.V., Kornev A.YU., Nagornov S.A., Bektilevov A.YU., Pavlov S.S.; zayavitel' i patentoobladatel' GNU VNIITiN Rossel'khozakademii - 2012106683/04; za-yavl. 22.02.2012; opubl. 10.03.2013.

10. Vorob'yev YU.V., Kuz'min A.P. Khimicheskoye deystviye gidroudara v aktivatore motornogo topliva // Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2014. – T. 20. – № 1. – S. 95-100.

УДК 620.197.3: 667.6

МАЗУТНЫЕ СОСТАВЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ОТ АТМОСФЕРНОЙ КОРРОЗИИ

Князева Лариса Геннадьевна,
доктор химических наук, доцент, главный научный сотрудник,
e-mail: Knyazeva27@mail.ru
Петрашев Александр Иванович,
доктор технических наук, с.н.с., заведующий лабораторией
e-mail: vitin-10.pet@mail.ru
Клепиков Виктор Валерьевич,
кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
e-mail: vitin-10@mail.ru
Дорохов Андрей Валерьевич,
аспирант, e-mail: vitin-10@mail.ru
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов
Зарапина Ирина Вячеславовна,
кандидат химических наук, доцент, старший преподаватель,

E-mail: irina-zarapina@mail.ru

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. *Изучали возможность противокоррозионной защиты сельскохозяйственной техники и оборудования с помощью составов на основе топочного мазута М-100. Исследования проводили на стали 0,8 кп. В качестве ингибиторов коррозии в мазут добавляли 3 - 10 масс. % Эмульгина (кубовые амины), КО-СЖК (кубовые остатки синтетических жирных кислот), пушечного сала, 10 - 50 масс.% отработанных синтетических масел Мобил-1 (ОСМ). Консервационные составы получали смешиванием компонентов при нагреве до 80 ^{o}С. Искусственное обводнение мазутных составов осуществляли добавлением в них при ручном перемешивании дистиллированной воды в количестве 5 – 50 масс.%. Проводили поляризационные измерения на электрохимическом измерительном комплексе фирмы Solartron и гравиметрические исследования. Установили, что наибольшую защиту при гравиметрических и электрохимических исследованиях обеспечивал мазутный состав, содержащий 10 масс.% Эмульгина. Исследования показали, что снижение концентрации Эмульгина в топочном мазуте до 6 масс. % не ухудшает его защитные свойства. Покрытия, полученные при нанесении консервационных составов из топочного мазута и смеси мазута с 10 масс % Эмульгина, прошли годовые производственные испытания в условиях открытых площадок хранения сельскохозяйственной техники и показали 100 % -ную защитную эффективность и высокую адгезию к металлу. Показано, что предварительное обводнение мазутных составов до 50 % масс.% водой незначительно уменьшает их защитную эффективность (на 7 – 14 %), что связано с большим эффектом последействия масляных композиций. Консервацию сельскохозяйственной техники можно проводить мазутными составами в осенний период, характеризующийся высокой влажностью атмосферы. Мазутные составы для снижения вязкости, важного при пневматическом нанесении, можно до 30 масс.% разбавлять уайт-спиритом или водой, без снижения защитных свойств.*

Ключевые слова: *противокоррозионная защита, топочный мазут, Эмульгин, защитная эффективность, обводнение.*

FUEL OIL COMPOSITIONS FOR PROTECTION OF AGRICULTURAL TECHNIQUES FROM THE ATMOSPHERIC CORROSION

Knyazeva Larisa
Full Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher,
E-mail: Knyazeva27@mail.ru
Petrashev Alexandr,
Full Doctor of Technical Sciences, associate professor, laboratory chief,
E-mail: vitin-10.pet@mail.ru
Klepikov Victor,
Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, e-mail: vitin-10@mail.ru
Dorokhov Andrei
graduate student, e-mail: vitin-10@mail.ru
Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Tambov
Zarapina Irina,
candidate of chemical sciences, associate professor, senior lecturer,

E-mail: irina-zarapina@mail.ru
FGBOU VO "Tambov State Technical University"

Abstract. *The possibility of anti-corrosive protection of agricultural machinery and equipment was studied with the help of compositions based on furnace fuel oil M-100. Studies were carried out on steel 0.8 kp. 3 to 10 wt. % Emulgin (bottoms amines), KO-SLC (bottoms of synthetic fatty acids), cannon fats, 10-50% of Mobil-1 synthetic synthetic oils (OCM) were added to the furnace fuel oil as corrosion inhibitors. Conservative compositions were obtained by mixing the components with heating to 80 ° C. Artificial watering of furnace fuel oil compositions was carried out by addition of distilled water in them with manual mixing in an amount of 5-50% by weight. Polarization measurements on the Solartron electrochemical measuring complex and gravimetric studies were carried out. It was established that the fuel oil containing 10 wt% Emulgin provided the greatest protection in gravimetric and electrochemical studies. Studies have shown that a decrease in the Emulgin concentration in furnace fuel oil to 6 wt. % does not impair its protective properties. Coatings obtained by applying conservation compositions from furnace fuel oil and a mixture of fuel oil with 10 mass% of Emulgina passed annual production tests in conditions of open storage areas for agricultural machinery and showed 100% protective efficiency and high adhesion to the metal. It is shown that the preliminary watering of fuel oil compositions to 50% by weight of water slightly reduces their protective efficiency (by 7-14%), which is associated with a large aftereffect of oil compositions. The conservation of agricultural machinery can be carried out with fuel oil compositions in the autumn period, characterized by high humidity of the atmosphere. Preservative compositions based on fuel oil to reduce the viscosity, important for pneumatic deposition, can be diluted to 30% by weight with white spirit or water, without reducing the protective properties.*

Key words*: anticorrosive protection, furnace fuel oil, Emulgin, protective efficiency, watering.*

Введение. На фоне дороговизны и изношенности сельскохозяйственной техники, вопросы ее хранения в нерабочий период чрезвычайно актуальны. Решение может быть связано с использованием недорогих консервационных материалов с высокой защитной эффективностью, доступных сельхозпроизводителям любой формы собственности. Эти материалы должны обладать загущающей способностью, позволяющей формировать покрытие на металлических поверхностях при температурах и влажностях, соответствующих реальным условиям проведения консервационных работ.

Ранее в работах ФГБНУ ВНИИТиН отмечалось, что крупным резервом расширения сырьевой базы противокоррозионных материалов для защиты от коррозии сельскохозяйственной техники является использование отработанных моторных масел (ММО), которые можно найти в достаточном количестве в хозяйствах [1-9]. Систематическими комплексными исследованиями установлено, что относительно высокая защитная эффективность ММО связана с наличием в них асфальто-смолистых соединений [8,9], которые повышают вязкость и вносят в защитную эффективность дополнительный синергетический эффект, увеличивающийся пропорционально сроку наработки масла. Известно, что асфальто-смолистые соединения имеются и в относительно дешевых топочных мазутах, получаемых из тяжёлых остатков переработки нефти, угля и горючих сланцев. Практически в любом регионе Российской Федерации на рынке имеются предложения по поставкам тяжелого топочного мазута марки М100 по цене 3200-9200 руб/т. Поэтому разработка составов на основе топочного мазута также весьма актуальна.

Методы исследования и материалы

Исследования проводили на конструкционной углеродистой стали 0,8кп, составом: C - 0.05 - 0.12; Si - до 0.03; Mn - 0.25 - 0.5; Ni - до 0.3; S - до 0.04; P - до 0.035; Cr - до 0.1; Cu - до 0.3.(ГОСТ 1050-88, ГОСТ 4041-71; ГОСТ 9045-93).

Для получения консервационных материалов использовали топочный мазут М100 4-го класса опасности[10,11]. В качестве ингибиторов коррозии в мазут добавляли 3 - 10 масс. % Эмульгина (кубовые амины), КО-СЖК (кубовые остатки синтетических жирных кислот), пушечного сала, 10 - 50 масс.% отработанных синтетических масел Мобил-1 (ОСМ) [12]. Консервационные составы на основе мазута получали смешиванием компонентов при нагреве до 80 ^{o}C. Искусственное обводнение мазутных составов проводили добавлением в них при ручном перемешивании дистиллированной воды в количестве 5 – 50 масс.%.

Условную вязкость составов определяли на вискозиметре ВУ-200 по ГОСТ 6258-85 содержание воды по методу Дина – Старка по ГОСТ 2475-65, механических примесей – по ГОСТ 6370-83; зольность – по ГОСТ 1461-59.

Ускоренные коррозионные испытания проводили гравиметрически в 3 % - ных растворах NaCl в течение 14 суток по ГОСТ 9.042-75. Электрохимические поляризационные измерения проводили на электрохимическом измерительном комплексе фирмы Solartron (Великобритания) [8].

Результаты и обсуждение.

Были определены физико-химические свойства топочного мазута М-100, используемого в экспериментальных исследованиях для получения консервационных материалов. Получены следующие физико-химические характеристики: условная вязкость при 80 ^{0}C на вискозиметре ВУ-200 (ГОСТ 6258-85) – 80 с; содержание воды по методу Дина – Старка (ГОСТ 2475-65) - 3 %, механических примесей (ГОСТ 6370-83) – 1,8; зольность (ГОСТ 1461-59) – 0,1, относительная плотность при 20 ^{0}C (пикнометр) - 1000 кг/м^{3}.

На углеродистой стали 0,8кп исследовали защитные свойства ингибированных мазутных составов. Пленки мазутных составов оказались легко проницаемыми для растворов электролитов, что определило возможность проведения электрохимических измерений. Электрохимические исследования показывают, что мазутные составы с добавками Эмульгина, КО-СЖК, пушечного сала, отработанного синтетического масла Мобил-1 (ОСМ) тормозят анодную и катодную парциальные реакции, смещая при этом потенциал ионизации в положительную сторону (рисунок 1). Исключением является консервационный состав на основе мазута М100 с 10 масс.% КО- СЖК, для которого торможение анодного процесса происходит при неизменном катодном процессе, смещение коррозионного потенциала в данном случае максимально. Составы на основе мазута с 10 масс. % пушечного сала или Эмульгина тормозили анодный и катодный процессы несколько медленнее, по сравнению с чистым мазутом М100, хотя и были очень близки по своему действию. Аналогично проявил себя состав из мазута с добавлением 50 масс.% ОСМ Mobil-1.

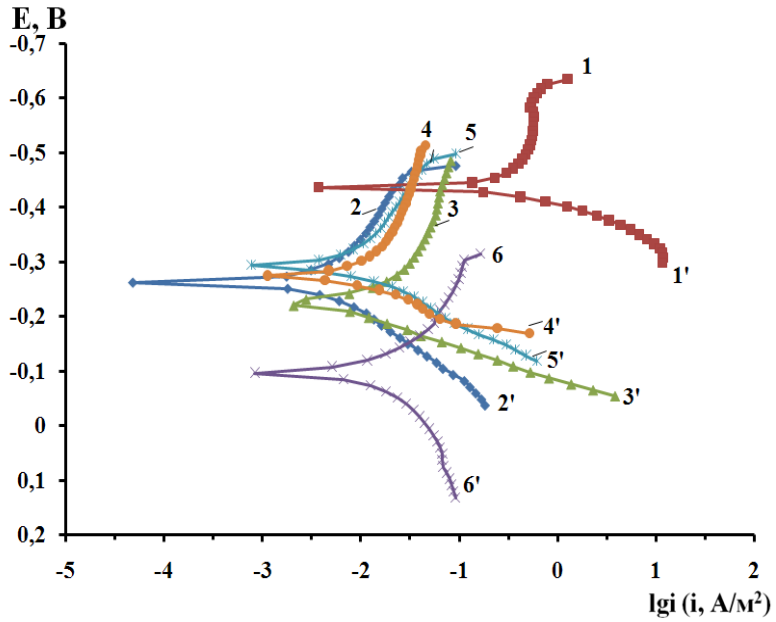


Рисунок 1 – Поляризационные кривые на Ст3 в 3,0 % растворе NaCl: 1-1’ – отсутствует (фоновый раствор); 2-2’ – мазут М100; 3-3’ – М100 + 50 % ОСМ; 4-4’ – М100 + 10 % пушечного сала; 5-5’ – М100 + 10 % Эмульгина; 6-6’ – М100 + 10 % КО-СЖК

Полученные электрохимические данные подтверждают результаты ускоренных коррозионных испытаний в 3 % - ном растворе NaCl (таблица 1). Наибольшую защиту при этих гравиметрических исследованиях, как и при электрохимических измерениях, обеспечивал мазутный состав, содержащий 10 масс.% Эмульгина. Исследования показали, что снижение концентрации Эмульгина в топочном мазуте до 6 масс. % не ухудшает его защитные свойства (таблица 1).

Таблица 1 – Защитная эффективность ингибированных мазутных составов

Основа покрытия	Добавка 10 масс.%	Защитная эффективность (%) в 0,5 М растворе NaCl из исследований			
		электрохимических		гравиметрических	
		К, г м^2/ч	Z,%	К, г м^2/ч	Z,%
отсутствует	отсутствует	0,03		0,01	
М100	отсутствует	0,0006	98	0,006	94
	пушечное сало	0,0006	98	0,003	97
	КО-СЖК	0,0003	99	0,008	92
	Эмульгин	0,0003	99	0,001	99
	Эмульгин	0,0003	99	0,001	99
Концентрация Эмульгина 6 масс.%.					

Покрытия, полученные при нанесении консервационных составов из мазута и смеси мазута с 10 % Эмульгина, прошли годовые производственные испытания в условиях открытых площадок хранения сельскохозяйственной техники, показав 100 % -ную защитную эффективность и высокую адгезию к металлу.

Следует отметить, что, согласно полученным данным, даже без дополнительного введения ингибиторов коррозии защитная эффективность топочного мазута велика и позволяет практически полностью защитить сельскохозяйственную технику от атмосферной коррозии в нерабочий период.

Одна из главных проблем при хранении мазута – насыщение его водой. По высоте занимаемого резервуара содержание воды в мазуте может быть различным. Так как вода тяжелее мазута, в нижних слоях ее содержится больше, чем в верхних: в верхних слоях содержания воды может составлять 10 %, а в нижних слоях – 30 - 50%. Было исследовано влияние искусственного обводнения мазута (5 – 50 масс.% дистиллированной воды) на его защитные свойства. На рисунке 2 приведены поляризационные кривые обводненных мазутных составов. Рассчитанные на их основе электрохимические параметры приведены в таблице 2.

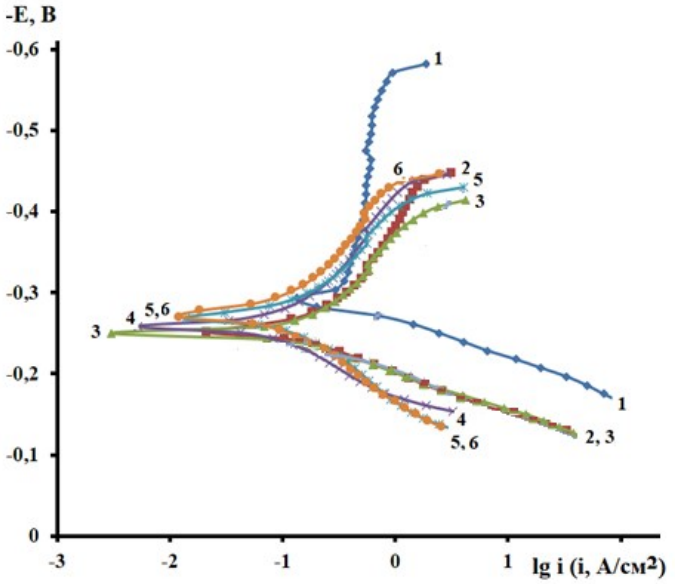


Рисунок 2. Поляризационные кривые обводненных мазутных составов:
1 – фон; 2 - 7 – обводненные мазутные составы.
Содержание воды, масс.%: 2 – 5; 3 – 10; 4 – 20; 5 – 30; 6 –50.

Таблица 2 - Электрохимические параметры мазутных составов

Раствор	$E_{кор}$ В	$i_{кор}$ А/м	Z %
фон	- 0,29	0,26	-
Мазут + 5% воды	- 0,25	0,04	85
Мазут + 10% воды	- 0,25	0,04	85
Мазут + 20% воды	- 0,25	0,03	88
Мазут + 30% воды	- 0,26	0,02	92
Мазут + 50% воды	- 0,28	0,02	92
Мазут + 6% эмульгина + 20% уайт спирита	- 0,275	0,02	92
Мазут + 6% эмульгина + 30% уайт спирита	- 0,26	0,02	90
Мазут + 6% эмульгина + 30 % воды	- 0,22	0,31	92

Как следует из полученных данных, при обводнении защитная эффективность мазута снижается незначительно (на 7- 14 %), причем наблюдается тенденция незначительного повышения защитной эффективности мазута с ростом обводнения до 30 – 50 %. Следует отметить, что увеличение содержания воды снижает вязкость композиции, что важно для процесса нанесения консервационного материала. Недостаток такой консервационной композиции – быстрое расслаивание при отсутствии перемешивания.

Снизить вязкость мазутного состава можно введением растворителей, например, уайт-спирита (рисунок 3, таблица 2) в количестве 20-30 масс.%, снижение защитной эффективности композиции при этом незначительно (7 – 9 %). Следует отметить, что добавлением воды можно добиться таких же результатов, что и при разбавлении растворителем, что важно с экономической точки зрения.

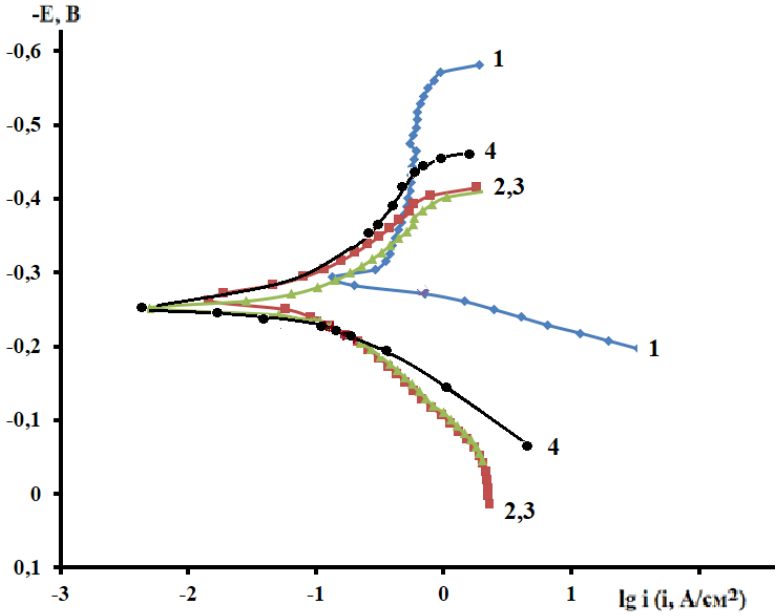


Рисунок 3. Поляризационные кривые мазутный состав с :6 масс. % Эмульгина:
1 – фон; 2 ,3:с добавлением уайт-спирита, масс..%: 2 - 20; 3 – 30; с добавлением 30 масс.% воды

Выводы. Топочный мазут и консервационные составы на его основе, благодаря высокой защитной эффективности, могут быть рекомендованы для межсезонной защиты сельскохозяйственной техники от атмосферной коррозии. Предварительное обводнение мазутных составов до 50 % масс.% водой незначительно уменьшает их защитную эффективность (на 7 – 14 %), что связано с большим эффектом последействия масляных композиций. Следовательно, мазутные составы можно использовать для консервации сельскохозяйственной техники в осенний период, характеризующийся высокой влажностью атмосферы. Мазутные составы для снижения вязкости, важного при пневматическом нанесении, можно до 30 масс.% разбавлять уайт-спиритом или водой, без потери защитных свойств.

Список литературы

1. 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.

2. Князева Л.Г., Прохоренков В.Д., Кузнецова Е.Г. Консервация сельскохозяйственной техники отработанными моторными маслами//Труды ГОСНИТИ. 2013. Т. 112. № 2. С. 119-122.

3. 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.

4. Князева Л.Г., Вигдорович В.И., Прохоренков В.Д. Ингибирование коррозии

отработанными моторными маслами//Коррозия: материалы, защита. 2010. № 10. С. 25-30.

5. Вигдорович В.И., Прохоренков В.Д., Князева Л.Г. Защитная эффективность продуктов очистки отработавших масел в условиях электрохимической коррозии стали// Технологии нефти и газа. 2008. № 4 (57). С. 24-30.

6. Вигдорович В.И., Прохоренков В.Д., Князева Л.Г., Епифанцев С.С. Защита от атмосферной коррозии отработанными маслами, ингибированными продуктами их очистки. Сообщение 4. защитная эффективность ингибированных ПООМ отработанных масел в условиях влагонасыщения //Практика противокоррозионной защиты. 2006. № 2 (40). С. 41-47.

7. Князева Л.Г., Вигдорович В.И., Прохоренков В.Д Электрохимические аспекты ингибирования коррозии стали отработанными маслами.//Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2013. Т. 18. № 5. С. 2294-2298.

8. Научные основы создания антикоррозионных консервационных материалов на базе отработавших нефтяных масел и растительного сырья/ Князева Л.Г. /диссертация на соискание ученой степени доктора химических наук / ГОУ ВПО "Тамбовский государственный технический университет". Тамбов, 2012

9. Прохоренков В.Д., Князева Л.Г., Остриков В.В., Вигдорович В.И. Носители защитной эффективности отработавших моторных масел. // Химия и технология топлив и масел. 2006. № 1. С. 26 - 28.

10. Петрашев А.И., Кузнецова Е.Г., Таха Ф.Д. Консервационные составы на мазутной основе для защиты сельскохозяйственной техники //Наука в центральной России. 2016. № 5 (23). С. 30-37.

11. Петрашев А.И., Кузнецова Е.Г., Клепиков В.В., Губашева А.М. Технология противокоррозионной защиты техники мазутным составом//Труды ГОСНИТИ. 2018. Т. 130. С. 20-25.

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

References

1. Prohorenkov V.D., Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G. Dostupnye protivokorrozion-nye materialy dlya zashchity sel'skohozyajstvennoj tekhniki ot atmosfernoj korrozii //Praktika protivokorrozionnoj zashchity. 2003. № 3. S. 51-54.

2. Knyazeva L.G., Prohorenkov V.D., Kuznecova E.G. Konservaciya sel'skohozyajstven-noj tekhniki otrabotannymi motornymi maslami//Trudy GOSNITI. 2013. T. 112. № 2. S. 119-122.

3. Knyazeva L.G., Prohorenkov V.D., Ostrikov V.V., CHernyshova I.YU. Razrabotka kon-servacionnyh materialov na osnove otrabotannyh masel. // Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie. 2002. № 10. S. 38 - 40.

4. Knyazeva L.G., Vigdorovich V.I., Prohorenkov V.D. Ingibirovanie korrozii otra-botannymi motornymi maslami//Korroziya: materialy, zashchita. 2010. № 10. S. 25-30.

5. Vigdorovich V.I., Prohorenkov V.D., Knyazeva L.G. Zashchitnaya ehffektivnost' pro-duktov ochistki otrabotavshih masel v usloviyah ehlektrohimicheskoj korrozii stali// Tekhnologii nefti i gaza. 2008. № 4 (57). S. 24-30.

6. Vigdorovich V.I., Prohorenkov V.D., Knyazeva L.G., Epifancev S.S. Zashchita ot atmosfernoj korrozii otrabotannymi maslami, ingibirovannymi produktami ih ochistki. Soobshchenie 4. zashchitnaya ehffektivnost' ingibirovannyh POOM otrabotannyh masel v usloviyah

vlagonasyshcheniya //Praktika protivokorrozionnoj zashchity. 2006. № 2 (40). S. 41-47.

7. Knyazeva L.G., Vigdorovich V.I., Prohorenkov V.D EHlektrohimicheskie aspekty ingibirovaniya korrozii stali otrabotannymi maslami.//Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki. 2013. T. 18. № 5. S. 2294-2298.

8. Nauchnye osnovy sozdaniya antikorrozionnyh konservacionnyh materialov na baze otrabotavshih neftyanyh masel i rastitel'nogo syr'ya/

Knyazeva L.G. /dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora himicheskih nauk / GOU VPO "Tambovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet". Tambov, 2012

9. Prohorenkov V.D., Knyazeva L.G., Ostrikov V.V., Vigdorovich V.I. Nositeli zashchit-noj ehffektivnosti otrabotavshih motornyh masel. // Himiya i tekhnologiya topliv i masel. 2006. № 1. S. 26 - 28.

10. Petrashev A.I., Kuznecova E.G., Taha F.D. Konservacionnye sostavy na mazutnoj osnove dlya zashchity sel'skohozyajstvennoj tekhniki //Nauka v central'noj Rossii. 2016. № 5 (23). S. 30-37.

11. Petrashev A.I., Kuznecova E.G., Klepikov V.V., Gubasheva A.M. Tekhnologiya protivokorrozionnoj zashchity tekhniki mazutnym sostavom//Trudy GOSNITI. 2018. T. 130. S. 20-25.

12. Knyazeva L.G., Vigdorovich V.I., Cygankova L.E., SHel' N.V., Kuznecova E.G., Prohorenkov V.D. Antikorrozionnaya ehffektivnost' poverhnostnyh zashchitnyh plenok tovarnyh i otrabotannyh sinteticheskih masel na primere produkta Mobil-1//Praktika protivokorrozionnoj zashchity. 2014. № 2 (72). S. 58-65.

УДК 620.197.3: 667.6

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОЦЕНКИ СМАЧИВАЮЩИХ СВОЙСТВ КОНСЕРВАЦИОННЫХ СОСТАВОВ

Петрашев Александр Иванович,
доктор технических наук, с.н.с., заведующий лабораторией
e-mail: vitin-10.pet@mail.ru
Клепиков Виктор Валерьевич,
кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: vitin-10@mail.ru
Князева Лариса Геннадьевна,
доктор химических наук, доцент, главный научный сотрудник,
e-mail: Knyazeva27@mail.ru
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов
Зарапина Ирина Вячеславовна,
кандидат химических наук, доцент, старший преподаватель,
e-mail: irina-zarapina@mail.ru
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. *Известно, что от качества смачивания и растекания консервационного состава по поверхности во многом зависит внешний вид, сплошность, адгезионная прочность и защитная способность покрытий. Разработан экспресс-метод оценки смачивающих свойств защитных составов, представляющий собой расчетно-экспериментальный метод определения краевого угла смачивания по размерам пятна растекания капли на поверхности металла. Получено трансцендентное уравнение, устанавливающее связь между тангенсом*

половины краевого угла смачивания и фактором растекания консервационного состава. Получена эмпирическая формула для оперативного определения краевого угла смачивания в интервале $90^o \geq \theta \geq 1^o$ с погрешностью не выше $\delta = 4$ % по фактору α растекания в диапазоне $1 \leq \alpha \leq 5{,}346$. Исследовали смачивающую способность мазута М100; ингибированного мазута (94 % мазут М100 + 6 % Эмульгин); ингибированного мазутного состава, ИМС (84 % мазут М100 + 6 % Эмульгин + 10 % уайт-спирит). С использованием эмпирического уравнения определены численные значения краевых углов смачивая для исследуемых составов. При температуре 19 °С получено, что чистая поверхность лучше смачивается мазутом М100 ($\Theta_м = 22{,}6^o$), а ржавая – ИМС ($\Theta_{имс} = 21{,}4^o$). При повышенной температуре (40 °С) краевой угол смачивания ингибированного мазутного состава ($\Theta_{имс} = 15{,}7^o$; $8{,}9^o$) выше, чем у мазута М100 ($\Theta_м = 5{,}3^o$; $2{,}5^o$), на всех видах поверхностей. Установлено, что в весенне-летний сезон покрытие из ИМС будет меньше подвержено стеканию с наклонных поверхностей деталей, чем покрытие из мазута. Годовые испытания в условиях открытой атмосферы показали более высокую атмосферостойкость ИМС.

Ключевые слова: *экспресс-метод, оценка, смачивающая способность, консервационные составы, ингибированный мазутный состав*

EXPRESS METHOD FOR ESTIMATION OF THE WETTING PROPERTIES OF CONSERVATIVE COMPOSITIONS

Petrashev Alexandr,
Full Doctor of Technical Sciences, associate professor, laboratory chief,
e-mail: vitin-10.pet@mail.ru
Klepikov Victor,
Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, e-mail: vitin-10@mail.ru
Knyazeva Larisa
Full Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher,
e-mail: Knyazeva27@mail.ru
Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Tambov
Zarapina Irina,
candidate of chemical sciences, associate professor, senior lecturer,
e-mail: irina-zarapina@mail.ru
FGBOU VO "Tambov State Technical University"

Abstract*. It is known that the appearance, continuity, adhesive strength and protective ability of coatings depend largely on the quality of wetting and spreading of the conservation composition over the surface. Express method for assessing the wetting properties of protective compositions, which is a calculation and experimental method for determining the contact angle of wetting the droplet spreading spots on the metal surface has been developed. The transcendental equation establishing the relationship between the tangent of the half-contact angle of wetting and the spreading factor of the conservation composition is obtained. An empirical formula is obtained for the operative determination of the wetting contact angle in the interval $90o \geq \theta \geq 1o$ with an error of not more than $\delta = 4\%$ in the spreading factor α in the range $1 \leq \alpha \leq 5{,}346$. Wetting ability of fuel oil M100; inhibited fuel oil (94% fuel oil M100 + 6% Emulgin); of the inhibited fuel oil composition (IMS) (84% M100 fuel oil + 6% Emulgin + 10% white spirit) were examined. The numerical values of the contact angles wetting for the compositions studied are determined using the empirical equation. At a temperature of 19 ° C, it was found that the clean surface is better wetted by M100 black oil (Θm = 22.6 °), and rusty - IMS (ΘÑÑ = 21,4o). At an elevated temperature (40 ° C), the contact angle of wetting of the inhibited fuel oil composition (Θmc = 15.7 °, 8.9 °) is higher than for M100 black oil (Θm = 5.3 °, 2.5 °) on all types of surfaces. It is established that in the spring-summer season, the coating from the IMS will be less susceptible to draining from the inclined surfaces of the parts than the coating from the fuel oil. Annual tests in an open atmosphere showed a higher weather resistance of the IMS.*

Keywords: *express method, estimation, wetting ability, conservation compositions, inhibited fuel oil composition*

Введение.

При постановке сельскохозяйственной техники на хранение на поверхности деталей и узлов с истертым и разрушенным лакокрасочным покрытием необходимо нанести защитное покрытие. Зачистка коррозионных пятен и язв требует существенных затрат труда, которые могут быть экономически оправданы при последующем нанесении многослойного высококачественного лакокрасочного покрытия.

При использовании консервационных составов для временной противокоррозионной защиты на срок хранения 8-10 месяцев зачистку деталей от коррозии не проводят. В этом случае наносимые по ржавчине составы должны обладать хорошими ингибирующими и смачивающими свойствами, обеспечивающими торможение коррозионных процессов под ними.

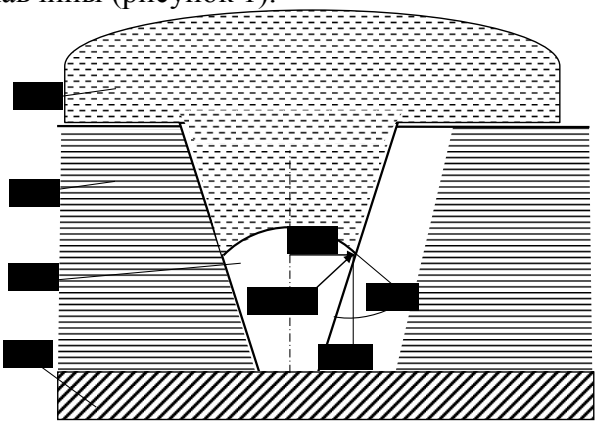
Процесс смачивания имеет первостепенное значение, так как является основным условием формирования защитных покрытий. От качества смачивания и растекания консервационного состава по поверхности во многом зависит внешний вид, сплошность, адгезионная прочность и защитная способность покрытий. Поэтому оценка смачивающей способности консервационных материалов чрезвычайно важна.

В осуществлении прочной адгезионной связи важное место отводится процессам микрореологического затекания жидкого материала в микропоры и трещины защищаемой поверхности [1]. Ржавчина на поверхности металла представляет собой пористое тело, состоящее из множества разнообразных капилляров. Капля защитного материала, растекаясь по поверхности ржавчины, смачивает и впитывается в ее поры [2].

Смачивание твердого тела на практике чаще всего оценивают краевым углом θ между поверхностью твердого тела и касательной, проведенной к поверхности жидкости из любой точки периметра смачивания. Краевой угол θ (угол смачивания) отсчитывают со стороны жидкости. При $\theta < 90^o$ жидкость проникает в углубления поверхности подобно тому, как она всасывается в смачиваемые капилляры. Это улучшает смачивание шероховатой поверхности. Если $\theta > 90^o$, то жидкость не проникает в углубления, что ухудшает смачивание шероховатой поверхности [3, 4]. В [4] отмечено существование прямой зависимости между количеством жидкости, поглощенной пористым телом и cosθ. При уменьшении вязкости жидкости происходит увеличению cosθ при растекании и улучшение пропитывающей способности [5].

Разработка экспресс-метод оценки смачивающих свойств

Определим условия, при которых возможно движения консервационного состава сквозь узкие поры ржавчины. Рассмотрим вертикальную пору в форме усеченного конуса, сужающегося в глубину ржавчины (рисунок 1).



1 – консервационный состав; 2 – продукты коррозии (ржавчина); 3 – пора; 4 - металл

Рисунок 1 - Схема заполнения поры консервационным составом

В этой поре фронтальная поверхность жидкого состава образует вогнутый сферический мениск с радиусом кривизны $R_м$. Согласно уравнению Лапласа [6], вогнутый мениск жидкости

создает в ней отрицательное капиллярное давление $p_к$, направленное вниз в сторону воздуха. Величина этого давления (давления Лапласа) рассчитывается по формуле:

$$p_к = \frac{2\sigma_{жг}}{R_м}, \quad (1)$$

где $\sigma_{жг}$ - поверхностное натяжение состава, Н/м; $R_м$ - радиус кривизны мениска, м.

Радиус $R_м$ кривизны мениска определим из рисунка 1

$$R_м = \frac{r_п}{\cos(\theta - \alpha)}, \quad (2)$$

где $r_п$ - радиус поры по мениску, м; θ - краевой угол смачивания составом стенки поры; α - угол наклона стенки поры к ее оси.

Для упрощения дальнейшего анализа примем, что краевой угол смачивания одинаков по всей длине поры. Это правомерно, так как поставленная задача заключается в установлении тенденции движения состава в поре, а не в расчете этого движения.

Подставим выражение (2) в (1) и определим капиллярное давление под мениском:

$$p_к = \frac{2\sigma_{жг}\cos(\theta - \alpha)}{r_п}. \quad (3)$$

Анализ уравнения (3) показывает, что консервационный состав может затекать как в цилиндрическую пору (при α = 0), так и в расширяющуюся пору с отрицательной величиной угла наклона (при α < 0).

Пропитывание пор ржавчины прекращается при капиллярном давлении, близком к нулю, когда cos (θ – $\alpha_о$) = 0. Этот случай возможен в расширяющейся поре при углах:

$$\theta - (-\alpha_н) = \frac{\pi}{2}. \quad (4$$

Из выражения (4) получаем угол наклона $\alpha_н$ расширяющейся поры, при которой ее пропитывание защитным составом становится невозможным:

$$\alpha_н = \frac{\pi}{2} - \theta. \quad (5)$$

Если принять, что поверхностное натяжение состава $\sigma_{жг}$ = const, то величина капиллярного давления в порах ржавчины зависит не только от радиуса $r_п$ поры, но и от разности углов (θ – α). При угле наклона $\alpha_о$ стенки поры, равном краевому углу смачивания ($\alpha_о = \theta$), величина cos (θ – $\alpha_о$) = 1, а капиллярное давление станет максимальным. При больших ($\alpha > \alpha_о$) или меньших ($\alpha < \alpha_о$) углах наклона стенки, капиллярное давление понизится. Большее капиллярное давление имеет место в самом узком сечении конусообразной поры [90].

Определим изменение максимального капиллярного давления, развиваемого консервационным составом в поре ржавчины (при $\alpha_о = \theta$) в зависимости от диаметра поры: $d_п = 2r_п$. По данным [7] поверхностное натяжение некоторых продуктов нефтепереработки, которые могут быть использованы в качестве сырья для получения консервационных материалов, составляет - $\sigma_{жг}$ = 0,039 Н/м.

Капиллярный подпор $h_к$, соответствующий максимальному капиллярному давлению - $p_{к.max}$, определится из равенства:

$$p_{к.max} = \frac{4\sigma_{жг}}{d_п} = \rho_с g h_к, \quad (6)$$

где $\rho_с$ - плотность состава, в среднем $\rho_с$ = 900 кг/м^3; g - ускорение свободного падения, g = 9,81 м/с^2.

Из (6) определим капиллярный подпор:

$$h_к = \frac{4\sigma_{жг}}{\rho_с g d_п} \quad (7)$$

Результаты расчетов капиллярного подпора $h_к$, выполненные по формуле (7) для пор диаметром от 1 до 20 мкм, отражены в таблице 1.

Таблица 1 – Капиллярный подпор, создаваемый составом в порах ржавчины

Диаметр сечения поры, $d_п$, мкм	1	2	5	10	20
Капиллярный подпор, $h_к$, м	17,7	8,8	3,5	1,8	0,9

По данным таблицы 1 в сужающихся порах максимальный капиллярный подпор может достигать существенной величины: 0,9 – 17,7 м.

Если пропитывание производится дисперсией и частицы дисперсии достаточно велики, то они частично или полностью могут отфильтровываться и оставаться на покрываемой поверхности. Различная пористость окрашиваемой поверхности отражается на степени впитывания связующего [4, 8]. Исследованиями процессов впитывания красок установлено, что приблизительно 20 % связующего из первого слоя краски впитывается в подложку.

Отрицательное капиллярное давление, создаваемое в составе под пленкой поверхностного натяжения, может интенсифицировать проникновение в глубокие и узкие поры ржавчины более подвижного растворителя, отфильтрованного из нанесенного состава. Испарение проникшего в поры растворителя может послужить причиной образования газовых микропузырей, препятствующих проникновению состава к защищаемому металлу.

Поэтому при нанесении на ржавую поверхность следует ожидать ухудшение защитных свойств покрытий из консервационных составов, содержащих высоколетучие пары растворителя. Это подтверждается результатами исследования бензино-битумных составов, представленных профессором В.И. Вигдоровичем [9]. Он показывает, что защитная эффективность бензино-битумных составов в большей степени зависит от состояния поверхности. Если исходная поверхность стали прокорродирована, то скорость коррозии под бензино-битумным покрытием возрастает в 8-10 раз. Из проведенного анализа можно заключить, что консервационные составы с высококипящими (труднолетучими) растворителями могут лучше заполнить поры ржавчины, обеспечив при этом более длительную противокоррозионную защиту прокорродированного металла.

Консервационные составы различаются по вязкости, гомогенности, поверхностному натяжению. Эти свойства оказывают влияние на краевые углы смачивания при растекании капли по плоской поверхности металла и на скорость пропитывания пор ржавчины.

Для определения краевого угла смачивания θ проектируют на экран изображение небольшой капли состава, помещенной на металлическую пластинку и измеряют угол между контуром пластинки и касательной к контуру капли в точке их соприкосновения [10, 11]. Следует отметить, что некоторые составы содержат растворители, испаряющиеся в процессе растекания капель, что приводит к заметным изменениям их контуров и искажениям результатов измерений углов θ, в зависимости от времени опыта.

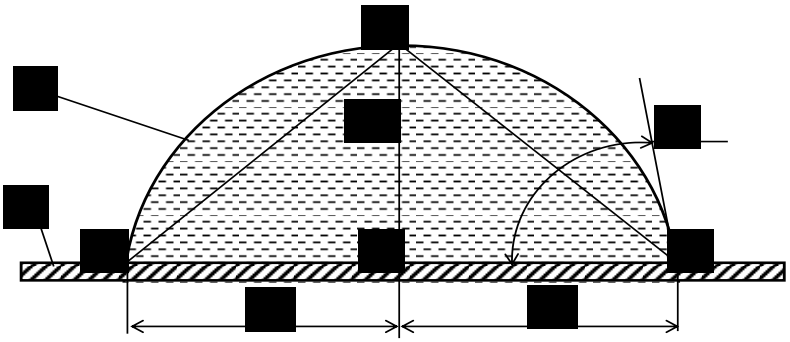
Зимон А.Д. [12], представляя каплю жидкости на поверхности в форме шарового сегмента, определяет краевой угол смачивания по выражению:

$$\frac{h_к}{r_к} = \frac{1 - \cos\theta}{\sin\theta}, \qquad (8)$$

где $h_к$ – высота сегмента капли.

Несмотря на кажущуюся простоту формулы, возможность ее применения на практике обусловлена наличием специального оптического прибора для бесконтактных измерений высоты капли.

Указанные причины послужили основанием для разработки расчетно-экспериментального метода определения краевого угла смачивания по размерам пятна растекания капли на поверхности металла [1, 13]. Считая, что капля на горизонтальной пластине имеет форму шарового сегмента, рассмотрим схему на рисунке 2, в которой: $AB = h_к$ – высота капли, $DB = BC = r_к$ – радиус пятна капли, треугольник ΔDAC – равнобедренный, ΔABC - прямоугольный.



1 – металлическая пластина; 2 – капля состава
Рисунок 2 – Схема для определения краевого угла (θ) смачивания

По построению, угол смачивания θ, составленный касательной к контуру капли в точке *C* и хордой *DC,* равен половине угловой величины дуги *DC* [14]. Так как дуга *DC* состоит из двух равных дуг *DA* и *AC,* то краевой угол θ равен угловой величине дуги *DA.* Угол *DCA* является вписанным в контур капли и поэтому равен половине угловой величины дуги *DA* [14]. Следовательно, угол *DCA* (или ∠*C* в *ΔABC*) равен половине краевого угла θ:

$$\angle DAC = \angle C = \frac{\theta}{2}.$$

Из прямоугольного Δ ABC находим:

$$\operatorname{tg}\angle C = \operatorname{tg}\frac{\theta}{2} = \frac{h_к}{r_к}. \quad (9)$$

Используя тригонометрические функции, выразим косинус через тангенс:

$$\cos\theta = \frac{1}{\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\frac{\theta}{2}}} = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{h_к}{r_к}\right)^2}}. \quad (10)$$

При высоте капли $h_к \to 0$ косинус $\cos\theta \to 1$, и консервационный состав хорошо смачивает поверхность металла. Однако, в ходе опытов при испарении летучий части состава, высота $h_к$ капли со временем уменьшается, что является причиной гистерезиса краевого ∠θ и получения завышенных значений cos θ.

В этом случае оценка смачивающей способности консервационного состава проводится по фактору растекания. В качестве фактора растекания α предлагается использовать отношение площадей:

$$\alpha = \frac{\sqrt{S_к}}{\sqrt{S_о}}, \quad (11)$$

где $S_к$ – площадь фактического пятна растекания капли состава объемом $V_к$, на исследуемой поверхности; $S_о$ – площадь условного пятна капли состава такого же объема $V_к$ на несмачиваемой поверхности (при $\angle\theta = 90^о$).

В общем случае фактическое пятно растекания капли представляет собой эллипс [15]. Его площадь определяется по формуле:

$$S_к = \pi r_{к1} \cdot r_{к2} = 0{,}25\pi d_{к1} \cdot d_{к2}, \quad (12)$$

где $r_{к1}$, $r_{к2}$, ($d_{к1}$, $d_{к2}$) – размеры полуосей, (осей) эллипса, мм.

Площадь условного пятна капли, представляющей собой круг:

$$S_о = \pi r_о^2 = 0{,}25\pi d_о^2, \quad (13)$$

где $r_о$, ($d_о$) – условный радиус, (диаметр) пятна капли на несмачиваемой поверхности при $\angle\theta = 90^о$, мм.

Подставляем выражения (12) и (13) в (11), определяем фактор растекания в общем случае:

$$\alpha = \frac{\sqrt{r_{к1} \cdot r_{к2}}}{r_о} = \frac{\sqrt{d_{к1} \cdot d_{к2}}}{d_о}, \quad (14)$$

где $\sqrt{r_{к1} \cdot r_{к2}}$, $(\sqrt{d_{к1} \cdot d_{к2}})$ – средний геометрический радиус, (диаметр) фактического пятна растекания капли, мм.

Если фактическое пятно капли является кругом с радиусом $r_к$ (диаметром $d_к$), то фактор растекания α рассчитывается по формуле:

$$\alpha = \frac{r_к}{r_о} = \frac{d_к}{d_о}.$$

При дальнейшем теоретическом обосновании экспресс-метода оценки смачивания, фактическое пятно растекания капли имеет вид круга, его фактор растекания определяется по вышеуказанной формуле.

На несмачиваемой поверхности ($\angle\theta = 90^о$) капля имеет форму полусферы, а ее объем $V_к$ определяется по формуле [14]:

$$V_к = \frac{2}{3}\pi r_о^3. \quad (15)$$

Отсюда радиус ($r_о$) пятна капли на несмачиваемой поверхности (условный радиус):

$$r_о = \sqrt[3]{3V_к/(2\pi)} = 0{,}782\sqrt[3]{V_к}\,. \quad (= 16)$$

Если в процессе растекания объем капли практически не меняется, то при $\theta < 90^о$ ($\cos\theta > 0$) он равен:

$$V_к = \frac{1}{6}\pi h_к(3r_к^2 + h_к^2) = \frac{1}{6}\pi r_к^3\left(3\frac{h_к}{r_к} + \frac{h_к^3}{r_к^3}\right). \quad (17)$$

Формула (17) с учетом выражения (9) представляется в виде:

$$V_к = \frac{1}{6}\pi r_к^3\left(3\,\mathrm{tg}\frac{\theta}{2} + \mathrm{tg}^3\frac{\theta}{2}\right). \quad (18)$$

Из формул (16), (18) и (15) автором [44] получено выражение:

$$\frac{r_к^3}{r_о^3} = \frac{4}{3\,\mathrm{tg}\frac{\theta}{2} + \mathrm{tg}^3\frac{\theta}{2}} = \alpha^3. \quad (19)$$

Уравнение (19) устанавливает связь между тангенсом половины краевого угла смачивания (θ) и фактором растекания (α) консервационного состава. Решение трансцендентного кубического уравнения (19) по методу Лобачевского достаточно громоздко и не дает однозначного корня. В некоторых работах [15] предлагается использовать графическую интерпретацию зависимости (19) или табличные данные с последующей интерполяцией, что не обеспечивает требуемую точность измерения – 5 %.

Достоверность применения формулы (19) проверена экспериментально на краевом угле смачивания водой поверхности стали Ст3. По данным [16, с. 83], полученным с использованием формулы (19), краевой угол смачивания стали Ст3 дистиллированной водой равен 77º. В работе [17, с. 180] краевой угол смачивания стали Ст3 каплей воды определяли по инструментальному методу измерения, его величина тоже составила 77º. Сумм Б.Д. установил, что при смачивании стали водой краевой угол изменяется от 68º до 86º в зависимости от высоты микронеровностей поверхности [17, с. 61].

Для оперативного определения краевого угла смачивания с погрешностью не более ±5 %, нами предложено решение трансцендентного уравнения (19) методом последовательного приближения с преобразованием его в алгебраическое уравнение. Краевой угол смачивания (в радианах) может быть определен через тангенс по формуле приближенного вычисления [19]:

$$\mathrm{tg}\frac{\theta}{2} = \frac{\theta}{2}\,. \quad (20)$$

Эта формула действительна в интервале от 0 до 0,517 рад. (0º до 29,6º) [19, с. 119] с погрешностью до 10 %. Применив формулу (20) к уравнению (19), в первом приближении получим:

$$12 \cdot \theta + \theta^3 = \frac{32}{\alpha^3}. \quad (21)$$

В интервале до 45º (0,785 рад.), где угол $\theta^3 < \theta$, первое слагаемое уравнения (21) много

больше второго слагаемого: $12 \cdot \theta \gg \theta^3$. Во втором приближении решим уравнение (21) без слагаемого θ^3. Выразив полученный результат в градусах, получим формулу:

$$\theta = \frac{480}{\pi\alpha^3} = \frac{152{,}8}{\alpha^3}. \quad (22)$$

Результаты определения краевого угла θ по формулам (19) и (22) приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета краевого угла по формулам (2.19) и (2.22)

α	5,346	4,243	3,709	3,125	2,477	2,159	1,956
α^3	152,78	76,379	51,011	30,519	15,201	10,069	7,484
θ по (2.19)	1°	2°	3°	5°	10°	15°	20°
θ по (2.22)	1,00°	2,00°	2,995°	5,01°	10,05°	15,17°	20,42°
δ, %	0	0	-0,15	+0,2	+0,5	+1,1	+2,1
α	1,694	1,519	1,387	1,276	1,178	1,088	1,0
α^3	4,860	3,508	2,666	2,078	1,636	1,286	1,0
θ по (2.19)	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
θ по (2.22)	31,44°	43,56°	57,3°	73,5°	93,4°	118,8°	152,8
δ, %	+4,8	+8,9	+14,6	+22,5	+33,4	+48,5	+69,7

Анализ данных таблицы 2 показывает, что формула (22) может быть использована для определения краевого угла смачивания до 30° при факторе растекания $5{,}346 \geq \alpha \geq 1{,}694$. При этом расхождение в определении углов смачивания по указанным формулам не более δ = 5 %.

Для того чтобы охватить весь диапазон угла смачивания от 1 до 90°, проведена корректировка формулы (22) с тем, чтобы отклонения в определении угла смачивания не превышали $\delta = \pm 5$ %.

В третьем приближении эмпирическая расчетная формула имеет вид:

$$\theta = \frac{150}{\alpha^3 + 0{,}7/\alpha^3}. \quad (23)$$

Результаты определения краевого угла θ по формулам (19) и (23) приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчета краевого угла по формулам (19) и (23)

α	5,346	4,243	3,709	3,125	2,477	2,159	1,956
α^3	152,78	76,379	51,011	30,519	15,201	10,069	7,484
θ по (2.19)	1°	2°	3°	5°	10°	15°	20°
θ по (2.23)	0,982	1,964	2,94	4,911	9,84	14,795	19,795
δ, %	-1,8	-1,8	-2,0	-1,8	-1,6	-1,4	-1,0
α	1,694	1,519	1,387	1,276	1,178	1,088	1,0
α^3	4,860	3,508	2,666	2,078	1,636	1,286	1,0
θ по (2.19)	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
θ по (2.23)	29,975	40,45	51,22	62,12	72,68	81,95	88,24
δ, %	-0,08	+1,1	+2,4	+3,53	+3,83	+2,44	-1,96

Эмпирическая формула (23) является алгебраической и может быть использована для непосредственного определения краевого угла смачивания в интервале $90° \geq \theta \geq 1°$ с погрешностью не выше δ = 4 % по фактору α растекания в диапазоне $1 \leq \alpha \leq 5{,}346$. Формула (23) даст достоверные результаты при исследовании смачиваемости консервационными составами чистой поверхности металла. На ржавой поверхности часть состава впитывается в поры, происходит уменьшение объема нанесенной капли. Поэтому оценка смачивающей способности защитных составов на ржавой поверхности является приблизительной.

Методы исследования и материалы.

Изучали смачивающую способность следующих составов: мазут М100;- ингибированный мазут (94 % мазут М100 + 6 % Эмульгин); ингибированный мазутный состав (84 % мазут М100

+ 6 % Эмульгин + 10 % уайт-спирит).

Ингибированный мазут и ингибированный мазутный состав готовили смешением компонентов при температуре 80-90 ºС.

Капли исследуемых составов посредством медицинского шприца наносили на чистые (без следов коррозии) пластины из стали 08кп с шероховатостью 3.2 по ГОСТ 9378-93 и на ржавые. Ржавые пластины получали путем 9-месячной экспозиции на коррозионном стенде в условиях открытой атмосферы. На каждую пластину наносили по 4 капли одного состава.

Все наносимые капли имели равный объем - $V_к$ = 15 мм^3, при котором условный диаметр $d_о$ капли рассчитывали по формуле (16):

$$d_о = 2r_о = 1{,}564\sqrt[3]{15} = 3{,}86 \text{ мм}.$$

Объем капель $V_к$ соответствовал их массе $m_к$:

$$m_к = V_к\rho_к,$$

где $\rho_к$ – плотность исследуемого состава, г/мм^3.

Массу капель $m_к$ измеряли на аналитических электронных весах CE 224-C. Диаметры пятен растекания капель по поверхности пластин измеряли с помощью металлографического микроскопа ММН-2 (рисунок 1).

весы CE 224-C

микроскоп ММН-2

Рисунок 3 – Приборы для измерения массы и диаметра капель смачивания

Пластины с каплями выдерживали 2 суток при температуре 19 ºС и измеряли диаметры пятен смачивания во взаимно-перпендикулярных направлениях (вдоль и поперек пластин).

Затем пластины с каплями выдерживали еще 2 суток при температуре 40 ºС и снова измеряли диаметры их пятен смачивания. Фактический диаметр пятна смачивания $d_к$ рассчитывали как среднее геометрическое двух взаимно-перпендикулярных измерений $d_{к1}$ и $d_{к2}$:

$$d_к = \sqrt{d_{к1} \cdot d_{к2}}.$$

Для каждого защитного состава по формуле (14) рассчитывали факторы растекания α, соответствующие температуре 19 и 40 ºС. По фактору растекания α определяли значения краевых углов θ смачивания, используя формулу (23).

Капли исследуемых составов также наносили на фильтровальную бумагу «белая лента» и оценивали характер пропитывания бумаги.

Результаты и обсуждение.

Проведенные исследования по нанесению капель мазута М100, ингибированного мазута и ингибированного мазутного состава позволили получить численные значения краевых углов смачивания θ при 19 и 40 ºС (таблица 4).

Таблица 4 – Экспериментальные данные по смачивающей способности исследуемых составов на стали 08кп

Исследуемый состав	Состояние поверхности				Пропитка фильтра «белая лента»
	чистая		ржавая		
	α	Θ	α	Θ	
Мазут М100:					
- при 19 ºС	1,877	22,6º	1,908	21,5º	слабая
- при 40 ºС	3,041	5,3º	3,926	2,5º	хорошая
Ингибированный мазут:					
- при 19 ºС	1,295	68,7º	1,91	21,4º	нет
- при 40 ºС	1,872	22,8º	2,159	14,8º	хорошая
Ингибированный мазутный состав:					
- при 19 ºС	1,614	35,5º	2,099	16,2º	хорошая
- при 40 ºС	2,118	15,7º	2,558	8,9º	хорошая

Пропитка составами фильтра «белая лента» при 19 ºС - на рисунке 4.

вид сверху вид с тыльной стороны

1 – мазут М100; 2 – ингибированный мазут; 3 – ингибированный мазутный состав

Рисунок 4. – Пропитка фильтра «белая лента» исследуемыми составами при 19 ºС

Смачивание ингибированным мазутом и ингибированным мазутным составом чистых и ржавых стальных пластин иллюстрировано фотографиями на рисунке 5. Температура проведения эксперимента - 19 ºС.

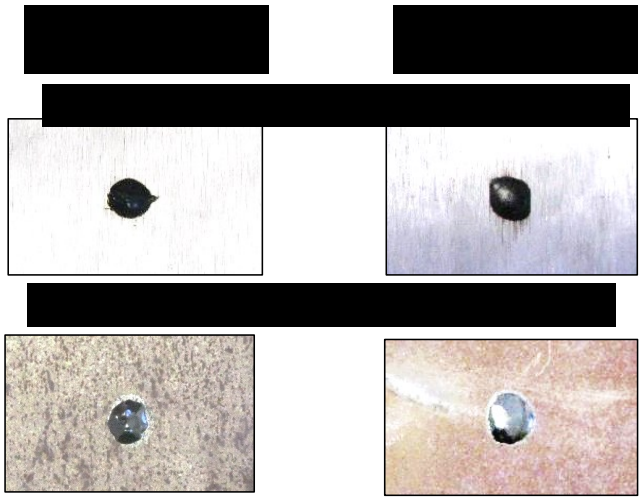


Рисунок 5 – Пятна растекания капель защитных составов на стали 08кп

При анализе данных, приведенных в таблице 4 учитывались следующие положения:

1. Чем меньше значение краевого угла смачивания, тем лучше состав смачивает данный

вид поверхности.

2. Чем выше краевой угол смачивания, тем меньше состав подвержен стеканию.

При нормальной температуре (19 °С) чистая поверхность лучше смачивается мазутом М100 ($\Theta_м = 22,6^o$), а ржавая поверхность – ингибированным мазутным составом ($\Theta_{имс} = 21,4^o$). Следовательно, при нормальной температуре ингибированный мазутный состав будет хорошо пропитывать поры ржавчины на деталях разбрасывателей минеральных удобрений.

При повышенной температуре (40 °С) краевой угол смачивания ингибированного мазутного состава ($\Theta_{имс} = 15,7^o$; $8,9^o$) выше, чем у мазута М100 ($\Theta_м = 5,3^o$; $2,5^o$), на всех видах поверхностей. Поэтому в весенне-летний сезон покрытие из ингибированного мазутного состава будет меньше подвержено стеканию с наклонных поверхностей деталей, чем покрытие из мазута.

Такое поведение ингибированного мазутного состава при повышенной температуре обусловлено присадкой Эмульгин, которая придает составу тиксотропные свойства структурированной неньютоновской жидкости [1].

Без механического воздействия эффективная вязкость состава немного повышается – он застудневает. При механическом воздействии эффективная вязкость ингибированного мазутного состава понижается.

Покрытие из ингибированного мазутного состава было подвергнуто годовым испытаниям на атмосферостойкость. При этом пластины с покрытиями размещались на стенде под открытым небом. Покрытия на пластинах высыхали и становились твердыми через 1,5-2 месяца испытаний. В таблице 5 представлены значения коррозионных потерь стали 08кп при защите покрытиями, содержащими ингибированный мазутный и бензино-битумный составы.

Таблица 5 – Результаты испытаний атмосферостойкости покрытий

№ п/п	Состав покрытия	Толщина покрытия, мкм	Коррозионные потери стали 08кп, г/м^2			
			3 мес.	6 мес.	9 мес.	12 мес.
1	Контроль (без покрытия)	-	72	93	106	113
2	Ингибированный мазутный состав (84% мазут + 6% Эмульгин + 10% уайт-спирит)	68	0	0,38	0,84	2,14
3	Бензино-битумный состав	46	0,8	3,1	5,9	7,0

Исследование подтвердило более высокую атмосферостойкость ингибированного мазутного состава в сравнении с бензино-битумным. По результатам проведенных испытаний этот защитный состав рекомендуется к применению при консервации сельскохозяйственной техники на период длительного хранения – до 1 года.

Заключение.

Разработан экспресс-метод оценки смачивающих свойств защитных составов, представляющий собой расчетно-экспериментальный метод определения краевого угла смачивания по размерам пятна растекания капли на поверхности металла. Получено трансцендентное уравнение, устанавливающее связь между тангенсом половины краевого угла смачивания и фактором растекания консервационного состава, Получена эмпирическая формула для оперативного определения краевого угла смачивания в интервале $90^o \geq \theta \geq 1^o$ с погрешностью не выше $\delta = 4$ % по фактору α растекания в диапазоне $1 \leq \alpha \leq 5,346$.

Рассчитанные с использованием эмпирического уравнения численные значения краевых углов смачивая для исследуемых составов, показали, что ингибированные мазутные составы меньше подвержены стеканию с наклонных поверхностей деталей, чем покрытие из мазута. Годовые испытания в условиях открытой атмосферы подтвердили их высокую атмосферостойкость.

Список литературы

1 Петрашев, А.И. Совершенствование технологических процессов и ресурсосберегающих средств консервации сельскохозяйственной техники при хранении: дис. …д-ра техн. наук:

05.20.03. / Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова / Петрашев Александр Иванович. - Тамбов. - 2007. - 400 с.

2 Дерягин Б.В. Определение удельной поверхности пористых тел по скорости капиллярной пропитки // Коллоидный журнал. – 1946. - Т.VIII. - № 1-2. – С. 27-30.

3 Баранов, В.И. Практикум по коллоидной химии / В.И. Баранов. – М.: Химия, 1978. – 321 с.

4 Воюцкий, С.С. Физико-химические основы пропитывания и импрегнирования волокнистых систем водными дисперсиями полимеров / С.С. Воюцкий. – М.: Химия, 1969. – 226 с.

5 Аппен, А.А. Температуроустойчивые неорганические покрытия. – М.: Химия, 1976. – 295 с.

6 Адамсон, А. Физическая химия поверхностей. Перев. с англ. И.Г. Абидора / А. Адамсон. – М.: Мир, 1979. – 568 с.

7 Князева, Л.Г. Влагопроницаемость пленок масляных покрытий / Л.Г. Князева, А.И. Петрашев // Наука в центральной России. - 2013. - № 5. - С. 59-68.

8 Левина, Е.С. Нефтепродукты (справочник) / Е.С. Левина, К.Ф. Клейменов, Г.И. Коледова, И.А. Нечаев. – М.: Химия, 1966. -776 с.

9 Вигдорович, В.И. Антикоррозионные консервационные материалы / В.И. Вигдорович, И.Г. Насыпайко, В.Д. Прохоренков. – М.: Агропромиздат, 1987. – 128 с.

10 Воюцкий, С.С. Курс коллоидной химии / С.С. Воюцкий. – М.: Химия, 1975.– 512 с.

11 Киселев, М.Г. Определение краевого угла смачивания на плоских поверхностях / М.Г. Киселев, В.В. Савич, Т.П. Павич // Вестник БНТУ. – 2006. - № 1. – С. 38-41.

12 Зимон, А.Д. Адгезия жидкости и смачивание / А.Д. Зимон. – М.: Химия, 1974. – 412 с.

13 Петрашев, А.И. Смачивающие и защитные свойства консервационных материалов / А.И. Петрашев // Практика противокоррозионной защиты. – 2003. - № 1 (27). – С. 16-19.

14 Выгодский, М.Я. Справочник по элементарной математике / М.Я. Выгодский - М.: Наука, 1966. – 424 с.

15 Петрашев, А.И. Разработка ресурсосберегающей технологии консервации сельскохозяйственной техники (на примере машин для внесения органических удобрений): дис. …канд. техн. наук: 05.20.03. / Саратовский институт механизации и электрификации сельского хозяйства им. М.И. Калинина / Петрашев Александр Иванович. – Минск. – 1989. – 224 с.

16 Научные основы и практика создания антикоррозионных консервационных материалов на базе отработанных нефтяных масел и растительного сырья / В.И. Вигдорович, Л.Г. Князева, А.Н. Зазуля и др. – Тамбов, Изд-во Першина Р.В., 2012. – 324 с.

17 Локтионов, Н.В. Влияние ингибированных и загущенных аминами пленок алканов на коррозионно-электрохимическое поведение стали в нейтральных хлоридных средах: дис. …канд. хим. наук: 05.17.03. / Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина / Локтионов Николай Владимирович. – Тамбов. – 2006. – 199 с.

18 Conservation materials on the base of synthetic oils for protection of steel against atmospheric corrosion / L.E. Tsygankova, V.I. Vigdorovich, L.G. Knyazeva et al. // Farby i Lakiery (Paints and Varnishes). - 2015. - № 1. - Pp.10-13.

19 Бронштейн, И.Н. Справочник по математике / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. - М: Наука, 1965. - 274 с.

References

1 Petrashev, A.I. Sovershenstvovanie tekhnologicheskih processov i resursosberegayushchih sredstv konservacii sel'skohozyajstvennoj tekhniki pri hranenii: dis. …d-ra tekhn. nauk: 05.20.03. / Saratovskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. N.I. Vavilova / Petrashev Aleksandr Ivanovich. - Tambov. - 2007. - 400 s.

2 Deryagin B.V. Opredelenie udel'noj poverhnosti poristyh tel po skorosti kapillyarnoj propitki // Kolloidnyj zhurnal. – 1946. - T.VIII. - № 1-2. – S. 27-30.

3 Baranov, V.I. Praktikum po kolloidnoj himii / V.I. Baranov. – M.: Himiya, 1978. – 321 s.

4 Voyuckij, S.S. Fiziko-himicheskie osnovy propityvaniya i impregnirovaniya voloknistyh sistem vodnymi dispersiyami polimerov / S.S. Voyuckij. – M.: Himiya, 1969. – 226 s.

5 Appen, A.A. Temperaturoustojchivye neorganicheskie pokrytiya. – M.: Himiya, 1976. – 295 s.

6 Adamson, A. Fizicheskaya himiya poverhnostej. Perev. s angl. I.G. Abidora / A. Adamson. – M.: Mir, 1979. – 568 s.

7 Knyazeva, L.G. Vlagopronicaemost' plenok maslyanyh pokrytij / L.G. Knyazeva, A.I. Petrashev // Nauka v central'noj Rossii. - 2013. - № 5. - S. 59-68.

8 Levina, E.S. Nefteprodukty (spravochnik) / E.S. Levina, K.F. Klejmenov, G.I. Koledova, I.A. Nechaev. – M.: Himiya, 1966. -776 s.

9 Vigdorovich, V.I. Antikorrozionnye konservacionnye materialy / V.I. Vigdorovich, I.G. Nasypajko, V.D. Prohorenkov. – M.: Agropromizdat, 1987. – 128 s.

10 Voyuckij, S.S. Kurs kolloidnoj himii / S.S. Voyuckij. – M.: Himiya, 1975.– 512 s.

11 Kiselev, M.G. Opredelenie kraevogo ugla smachivaniya na ploskih poverhnostyah / M.G. Kiselev, V.V. Savich, T.P. Pavich // Vestnik BNTU. – 2006. - № 1. – S. 38-41.

12 Zimon, A.D. Adgeziya zhidkosti i smachivanie / A.D. Zimon. – M.: Himiya, 1974. – 412 s.

13 Petrashev, A.I. Smachivayushchie i zashchitnye svojstva konservacionnyh materialov / A.I. Petrashev // Praktika protivokorrozionnoj zashchity. – 2003. - № 1 (27). – S. 16-19.

14 Vygodskij, M.YA. Spravochnik po ehlementarnoj matematike / M.YA. Vygodskij - M.: Nauka, 1966. – 424 s.

15 Petrashev, A.I. Razrabotka resursosberegayushchej tekhnologii konservacii sel'skohozyajstvennoj tekhniki (na primere mashin dlya vneseniya organicheskih udobrenij): dis. …kand. tekhn. nauk: 05.20.03. / Saratovskij institut mekhanizacii i ehlektrifikacii sel'skogo hozyajstva im. M.I. Kalinina / Petrashev Aleksandr Ivanovich. – Minsk. – 1989. – 224 s.

16 Nauchnye osnovy i praktika sozdaniya antikorrozionnyh konservacionnyh materialov na baze otrabotannyh neftyanyh masel i rastitel'nogo syr'ya / V.I. Vigdorovich, L.G. Knyazeva, A.N. Zazulya i dr. – Tambov, Izd-vo Pershina R.V., 2012. – 324 s.

17 Loktionov, N.V. Vliyanie ingibirovannyh i zagushchennyh aminami plenok alkanov na korrozionno-ehlektrohimicheskoe povedenie stali v nejtral'nyh hloridnyh sredah: dis. …kand. him. nauk: 05.17.03. / Tambovskij gosudarstvennyj universitet im. G.R. Derzhavina / Loktionov Nikolaj Vladimirovich. – Tambov. – 2006. – 199 s.

18 Conservation materials on the base of synthetic oils for protection of steel against atmospheric corrosion / L.E. Tsygankova, V.I. Vigdorovich, L.G. Knyazeva et al. // Farby i Lakiery (Paints and Varnishes). - 2015. - № 1. - Rp.10-13.

19 Bronshtejn, I.N. Spravochnik po matematike / I.N. Bronshtejn, K.A. Semendyaev. - M: Nauka, 1965. - 274 s.

ГОРБАЧЕВ ИВАН ВАСИЛЬЕВИЧ

(05.07.1947 - 07.08.2018)

Редколлегия научно-производственного периодического журнала «Наука в центральной России» с глубоким прискорбием сообщает, что 7 августа 2018 г. на 72-м году жизни скоропостижно скончался член редколлегии нашего журнала со дня его основания, выдающийся ученый-механик в области технологии уборки и послеуборочной обработки полевых культур, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент Россельхозакадемии, член-корреспондент Российской академии наук, профессор кафедры «сельскохозяйственные машины» РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, талантливый руководитель, умелый организатор, яркий, замечательный человек – Человек с большой буквы – ГОРБАЧЕВ Иван Васильевич.

Отличительными чертами научного подхода Ивана Васильевича всегда были широта взглядов и комплексность оценок.

Трудно поверить, что оборвалась жизнь у такого энергичного и доброжелательного, полного надежд и оптимизма человека, каким навсегда запомнился нам Иван Васильевич.

Добрая память о человеке необыкновенной души, великом ученом и мудром наставнике, неустанном борце за повышение престижа Российской сельскохозяйственной науки и техники вечно будет жить в наших сердцах.

Глубоко скорбим вместе с родными и близкими.

Редколлегия журнала «Наука в центральной России»

Отпечатано ООО «Максимал информационные технологии»
398017, г. Липецк, ул. Ушинского, 8
Email: naukacr@yandex.ru. Тел. +7 (920) 246-20-64:
Подписано в печать 24.08.2018 Заказ № 60513-01
Формат 60х84/8. Бумага офсетная. Печать электрографическая.
Гарнитура Times. Объем – 9,46 усл. печ. л. Тираж 100 экз.