«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ» **«SCIENCE IN THE CENTRAL RUSSIA»**
Научно-производственный периодический журнал The research-and-production periodic magazine
№1 (13), 2015 г.
Основан в 2012 г. **It is based in 2012.**
Выходит 6 раз в год **There are 6 times a year**

Учредитель и издатель журнала:
государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов Российской академии сельскохозяйственных наук
(ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА

ЗАЗУЛЯ Александр Николаевич — главный редактор, д-р техн. наук, профессор, директор ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии

НАГОРНОВ Станислав Александрович — зам. главного редактора, д-р техн. наук, профессор, зам. директора по научной работе ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии

ГОЛУБЕВ Иван Григорьевич — д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки Московской области, зав. отделом ФГБНУ «Росинформагротех»

ГОРБАЧЕВ Иван Васильевич— член-корреспондент Россельхозакадемии, д-р техн. наук, профессор, академик-секретарь Отделения механизации, электрификации и автоматизации Россельхозакадемии

ЕРОХИН Михаил Никитьевич — академик Россельхозакадемии, заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук, профессор, лауреат премии Правительства РФ, Президент ФГБОУ ВПО «МГАУ им. В.П. Горячкина»

ЖАЛНИН Эдуард Викторович — д-р техн. наук, профессор, лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники; зав. отделом ГНУ ВИМ Россельхозакадемии

ЗАВРАЖНОВ Анатолий Иванович— академик Россельхозакадемии, д-р техн. наук, профессор, Президент ФГБОУ ВПО МичГАУ

КУШНАРЕВ Артур Сергеевич—д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент УААН, заслуженный работник народного образования, заведующий кафедрой теоретической механики и теории машин и механизмов Таврического государственного агротехнологического университета, Украина

ЛАРЮШИН Николай Петрович— д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный работник сельского хозяйства, профессор кафедры ФГБОУ ВПО «Пензенская ГСХА»

ЛЯЛЯКИН Валентин Павлович— д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, зам. директора по инновационной деятельности ГНУ ГОСНИТИ Россельхозакадемии

МИЩЕНКО Сергей Владимирович— д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, лауреат премии Правительства РФ в области образования, член Национального комитета по теплофизическим свойствам веществ РАН, ректор ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

ПОПОВ Владимир Дмитриевич— академик Россельхозакадемии, д-р техн. наук, профессор, президент Региональной областной организации "Санкт-Петербургская ассоциация инженеров сельского хозяйства – СПА-ИСХ", член Правления Ассоциации содействия полевым экспериментам и исследованиям, директор ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии

СТРЕБКОВ Дмитрий Семенович— академик Россельхозакадемии, действительный член Международной академии безопасности и РАЕН; д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, член Научного Совета РАН по проблеме «Методы прямого преобразования видов энергии в электрическую»; председатель Российской секции Международного общества Солнечной энергии, заместитель председателя Российского комитета по использованию возобновляемых источников энергии, председатель рабочей группы Европейского бюро ЮНЕСКО по образованию в области солнечной энергии, директор ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии

ФЕДОРЕНКО Вячеслав Филиппович— член-корреспондент Россельхозакадемии**,** д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, директор ФГБНУ «Росинформагротех»

AMBRISHAMBAF Reza — PhD, University of Minho, Campus of AzurémGuimarães, Portugal

HASHEMIPOUR Majid — prof., PhD Manufacturing Engineering, Vise Rector for Technical Administration and International Affairs of Eastern Mediterranean University, Turkey

Редакция

Адрес редакции: **392022, г. Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28, к. 21,** тел. 8(4752)440-241; e-mail: naukacr@yandex.ru
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», 2015

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

Научно-производственный периодический журнал The research-and-production periodic magazine

№1 (13), 2015 г.

Основан в 2012 г. **It is based in 2012.**

Выходит 6 раз в год **There are 6 times a year**

Учредитель и издатель журнала:

государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов Российской академии сельскохозяйственных наук

(ГНУ ВНИИТиНРоссельхозакадемии)

ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА

агропромышленные инновационные технологии (в животноводстве и растениеводстве)

КУРГУЗКИН Владимир Николаевич — д-р с.-х. наук, главный научный сотрудник лаборатории технологии производства молока и говядины ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии

ШУЛАЕВ Геннадий Михайлович — канд. с.-х. наук, зав. лабораторией технологии производства свинины ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии

моделирование и управление в технических системах

ДОРОВСКИХ Владимир Иванович – к-т техн. наук, зав. лабораторией управления качеством технологических процессов в животноводстве ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии

современные энергосберегающие технологии, в том числе нанотехнологии

ПЕТРАШЕВ Александр Иванович — д-р техн. наук, зав. лабораторией организации хранения и защиты техники от коррозии ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии

фундаментальные и прикладные приоритетные исследования

ТИШАНИНОВ Николай Петрович — д-р техн. наук, профессор, зав. лабораторией управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии

экология и рациональное природопользование

ПРОХОРЕНКОВ Вячеслав Дмитриевич — д-р техн. наук, ученый секретарь ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии

экономика сельскохозяйственного производства

САЗОНОВ Сергей Николаевич — д-р техн. наук, профессор, зав. лабораторией использования производственных ресурсов в фермерских хозяйствах ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии

эффективное использование нефтепродуктов

ОСТРИКОВ Валерий Васильевич — д-р техн. наук, зав. лабораторией использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии

эффективное использование альтернативных энергоносителей

ШУВАЛОВ Анатолий Михайлович — д-р техн. наук, профессор, зав. лабораторией использования альтернативных источников энергии взамен жидкого топлива ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии

эффективное использование отечественной и зарубежной сельскохозяйственной техники

ЕРОХИН Геннадий Николаевич — к-ттехн. наук, зав. Лабораторией эксплуатационных требований к сельхозтехнике ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии

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», 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВЕДИЩЕВ С.М., МИЛЮКОВ Н.О., ХОЛЬШЕВ Н.В.

УПРАВЛЕНИЕ ПОДАЧЕЙ БАРАБАННОГО ДОЗАТОРА 5

VEDISHCHEV S. M., MILIYKOV N.O., KHOLSHEV, N.V.

FEED CONTROL OF DRUM DISPENSER 5

ВОТАНОВСКАЯ Н.А., ЧЕРНОВ Д.С., ШУВАЛОВ А.М., ШУЛАЕВ Г.М., МАШКОВ А.Н.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗЕРНА СОИ В ПРОЦЕССЕ ТЕРМООБРАБОТКИ.....12

VOTANOVSKAYA N.A., CHERNOV D.S.,SHUVALOV A.M.,SHULAEV G.M.,MASHKOV A.N.

A STUDY OF QUALITY INDICATORS OF SOYBEANS DURING HEAT TREATMENT.....13

САЗОНОВА Д.Д., САЗОНОВ С.Н.

ДИНАМИКА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КРЕСТЬЯНСКИХ (ФЕРМЕРСКИХ) ХОЗЯЙСТВ.....18

SAZONOVA D.D., SAZONOV S.N.

DYNAMICS OF THE TECHNICAL EFFICIENCY OF PEASANT ECONOMY (FARM) 19

ТИШАНИНОВ Н.П., АНАШКИН А.В.

СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ ОПЕРЕЖЕНИЕМ ПОДАЧИ ЗЕРНОСМЕСИ В ТРИЕРНЫЕ БЛОКИ 27

TISHANINOV N.P., ANASHKIN A.V.

CONTROLS FLOW AHEAD GRAIN MIXTURE IN INDENTED BLOCKS 28

ОСЕТРОВ А.Ю., ЗАРАПИНА И.В., КУЗНЕЦОВА Е.Г.

ВЛИЯНИЕ СЕРНИСТОГО ГАЗА НА СКОРОСТЬ АТМОСФЕРНОЙ КОРРОЗИИ СТАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ 37

OSETROV A.YU., ZARAPINA I.V., KUZNECOVA E.G.

INFLUENCE OF SULFUR DIOXIDE ON SPEED OF ATMOSPHERIC CORROSION OF STEEL EQUIPMENT USED IN AGRICULTURE.....38

ТИШАНИНОВ Н.П., АНАШКИН А.В.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ВЫДЕЛЕНИЯ КОРОТКИХ ПРИМЕСЕЙ ИЗ ЗЕРНОСМЕСЕЙ ЯЧЕИСТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ.....45

TISHANINOV N.P., ANASHKIN A.V.

THE THEORETICAL ANALYSIS OF DYNAMICS OF RELEASE OF SHORT IMPURITY FROM GRAIN THE CELLULAR SURFACE 46

ТИШАНИНОВ Н.П., АНАШКИН А.В.

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КУКОЛЬНОГО ЦИЛИНДРА ТРИЕРНОГО БЛОКА 57

TISHANINOV, N. P., ANASHKIN, A. V.

THE INCREASING TECHNOLOGICAL CAPABILITIES OF SHORT GRAIN SEPARATION INDENTED CYLINDERS 58

ОСТРИКОВ В.В., КОРНЕВ А.Ю.

ПРОБЛЕМЫ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКЕ 65

OSTRIKOV V.V., KORNEV A.YU.

PROBLEMS OF EFFECTIVE USE PETROLEUM PRODUCTS IN FARM MACHINERY 65

МАРКОВ В.А., ДЕВЯНИН С.Н., НАГОРНОВ С.А., ЛЕВИНА Е.Ю.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНО-БИО-ТОПЛИВНОЙ ЭМУЛЬСИИ В АВТОТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЯХ 70

MARKOV V.A., DEVYANIN S.N., NAGORNOV S.A., LEVINA E.YU

USE OF WATER-BIO-FUEL EMULSIONS IN AUTOMOTIVE DIESEL ENGINES.....70

ТИШАНИНОВ К.Н.

ТЕОРИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧАСТИЦ ПОТОКА ЗЕРНА 77

TISHANINOV K.N.

THE THEORY OF INTERACTION PARTICLES OF GRAIN FLOW 78

УДК.636.084.7

ВЕДИЩЕВ С.М., МИЛЮКОВ Н.О., ХОЛЬШЕВ Н.В.

УПРАВЛЕНИЕ ПОДАЧЕЙ БАРАБАННОГО ДОЗАТОРА

Ведищев Сергей Михайлович,
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов,
E-mail: serg666_65@mail.ru
Милюков Никита Олегович,
аспирант, ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»
Хольшев Николай Васильевич,
ассистент, ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»
E-mail: serg666_65@mail.ru

Реферат. *Точность дозирования концентрированных кормов позволяет повысить продуктивность животных и снизить себестоимость продукции животноводства. Объемные дозаторы в сравнении с весовыми дешевле, универсальны в отношении дозируемых кормов, просты при изготовлении и эксплуатации. Для повышения точности дозирования в линиях приготовления и раздачи кормов нами предлагается использовать барабанный дозатор, имеющий возможность оперативного управления нормой выдачи и механической очисткой при выгрузке за счет установки в ячейках подвижных элементов со своим приводом. Дозатор состоит из цилиндрического корпуса с загрузочным и выгрузным окнами, внутри которого установлен лопастной барабан. В ячейках лопастного барабана размещены подвижные элементы со своим приводом. Управляя положением подвижных элементов в зоне загрузочного окна получают заданный объем ячейки. Подвижные элементы улучшают заполнение ячеек в зоне загрузки за счет эффекта всасывания и очищают их в зоне выгрузки. Теоретически обосновано влияние конструктивно-кинематических и режимных параметров дозатора и влияния положения подвижного полукольца на объем ячейки и подачу. Экспериментальные исследования по показателю удельных затрат энергии позволили установить конструктивно-кинематические параметры дозатора в зоне выгрузки. По критерию оптимизации неравномерности дозирования получена математическая модель влияния частоты вращения вала дозатора, длины подвижного полукольца и ширины загрузочного окна. Анализ результатов экспериментальных исследования позволил определить основные конструктивно-кинематические и режимные параметры барабанного дозатора. Зависимости изменения неравномерности дозирования и подачи от положения подвижного полукольца показали, что величины варьирования этих факторов находятся в пределах зоотехнических требований.*

Ключевые слова: *барабанный дозатор, кулачок, неравномерность, подача, подвижный элемент, ячейка.*

VEDISHCHEV S. M., MILIYKOV N.O., KHOLSHEV, N.V.

FEED CONTROL OF DRUM DISPENSER

Vedishchev, S. M.,
Ph.D., Leading Researcher. Federal State Budget Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Tambov, Russian Federation; e-mail: serg666_65@mail.ru
Miliykov, N.O.

Postgraduate, Tambov State Technical University
Kholshev, N.V.
Assistant Lecturer, Tambov State Technical University
E-mail: serg666_65@mail.ru

Summary. *The accuracy of concentrated feed dispensing can improve animal productivity and reduce the cost of livestock production. Volumetric dispensers compared with weight ones are cheaper, universal in respect of the feed to be weighed, simple in manufacture and operation.*

To improve the accuracy of dispensing in the lines of the preparation and distribution of feed, we propose to use a drum dispenser with a possibility of operational management of feed rate and mechanical cleaning when unloading by installing movable elements with their own drive in the cells.

The dispenser consists of a cylindrical body with loading and unloading windows inside which a bladed drum is mounted. The movable elements with their drive are placed in the cells of the bladed drum. Controlling the position of movable elements in the zone the loading window we can produce a predetermined volume of feed in the cell. Movable elements improve the filling of the cells in the loading zone by the effect of suction and clean them in the unloading zone.

We theoretically justified the effect of structural kinematic and operational parameters of the dispenser and that of the movable half-ring position on the cell volume and feed supply.

Experimental studies of specific energy consumption allowed establishing structural and kinematic parameters of the dispenser in the unloading area.

By the optimization criterion of the dispensing unevenness we obtained the mathematical model of the effect of rotation frequency of the dispenser, the length of the movable half-ring and the width of the loading window.

The analysis of the experimental studies results enabled to define the main structural kinematic and operating parameters of the drum dispenser.

The dependencies of changes in the dispensing and feeding unevenness on the position of the movable half-rings showed that the variation values of these factors are within the zootechnical requirements.

Keywords: *drum dispenser; cam; unevenness; feed; movable element; cell.*

Введение. Около 50 – 60 % в себестоимости продукции животноводства приходится на корма [1]. К наиболее питательным и дорогостоящим относятся концентрированные корма, а также корма, приготовленные на их основе. Управление процессом дозирования концентрированных кормов при приготовлении и раздаче позволяет повысить продуктивность животных и снизить затраты на получение продукции [2, 4, 6, 8].

Весовое дозирование решает задачу качественных показателей дозирования концентрированных кормов. Однако, весовые дозаторы дороги, сложны в устройстве и обслуживании. Объемные дозирующие устройства (шнековые, барабанные, скребковые и ряд других) просты в изготовлении и эксплуатации, универсальны к различающимся по составу и виду дозируемых кормов. К недостаткам объемных дозаторов, выпускаемых промышленностью, можно отнести невысокую точность дозирования, особенно при необходимости изменения величины подачи, возможность работы в дискретном и порционном режимах [2 - 6].

Результаты и обсуждение. Для устранения отмеченных недостатков предлагается барабанный дозатор с возможностью оперативного регулирования подачи изменением объема ячеек и имеющий улучшенные качественные показатели [2, 4].

Дозатор (рис.1) кормов содержит цилиндрический корпус 1 с загрузочным 17 и выгрузным 15 окнами, внутри которого установлен лопастной барабан. В ячейках, образованных лопастями 16,

диском 11 и корпусом дозатора размещены подвижные элементы 14, привод которых выполнен в виде установленных во втулках 12 штоков 13, одни из концов которых жестко соединены с подвижными элементами, а другие снабжены роликами 10, перекатывающимися по кольцевому копиру, состоящему из верхнего 2 и нижнего 9 полуколец. Нижнее полукольцо закреплено неподвижно и имеет наклон в сторону выгрузного окна.

Верхнее подвижное полукольцо 2 имеет наклон от загрузочного окна. Перемещение верхнего полукольца вдоль оси барабана осуществляется ручкой 5 с последующей ее фиксацией на указателе 4 объема ячеек.

Дозатор кормов работает следующим образом. При вращении барабана дозатора одна из ячеек подходит к загрузочному окну, ролик 10, установленный на штоке 13, взаимодействует с подвижным полукольцом 2 и перемещает подвижный элемент на расстояние, зависящее от положения подвижного полукольца, увеличивая объем ячейки. Заполнение ячейки кормом облегчается эффектом всасывания, осуществляемое от движения подвижного элемента. Доза задается по указателю 4 объема ячеек в нужном положении фиксирующей ручкой 5 или исполнительным механизмом. Таким образом можно оперативно управлять дозой корма в каждой ячейке и подачей дозатора.

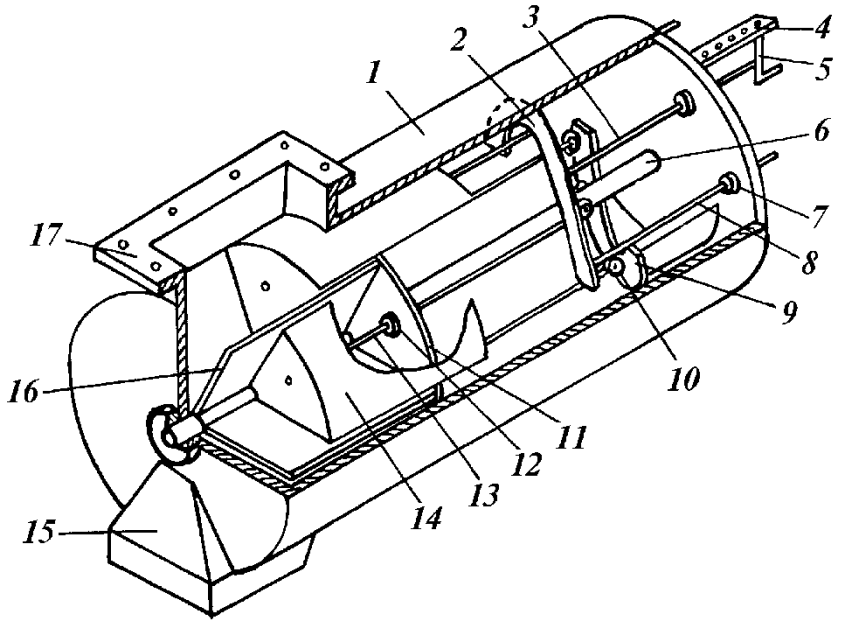


Рисунок 1 - Схема дозатора:
1 - корпус; 2 - подвижное полукольцо; 3 - шток; 4 - указатель; 5 - ручка;
6 - вал; 7 - втулка; 8 - направляющая; 9 - неподвижное полукольцо;
10 -ролик; 11 - диск; 12 - втулка; 13 - шток; 14 - подвижный элемент;
15 - выгрузное окно; 16 - лопасть; 17 - загрузочное окно

В зоне выгрузного окна ролик 10 взаимодействует с неподвижным полукольцом 9 и перемещает подвижный элемент к выгрузному окну 15. Происходит полное опорожнение ячейки от остатков корма как под действием сил гравитации, так и за счет выталкивания его подвижным элементом.

Подача барабанного дозатора определяется по формуле [3, 4]

$$Q = V_{яi} \cdot \rho \cdot n \cdot z \cdot \varphi, \quad (1)$$

где $V_{яi}$ - объем ячейки дозатора, м^3; ρ - плотность кормовой массы, кг/м^3; n - частота вращения дозатора, с$^{-1}$; z - количество ячеек в барабане, шт, (z=4÷6); φ -коэффициент заполнения.

Объем ячейки будет определяться дозой, которую необходимо выдать [2, 4. 5]

$$V_{яi} = \frac{q_i}{\rho \cdot \varphi}, \quad (2)$$

где q_i - доза корма в ячейке, $q_{\min} \le q_i \le q_{\max}$ кг.

Геометрический объем ячейки определяется из следующего выражения

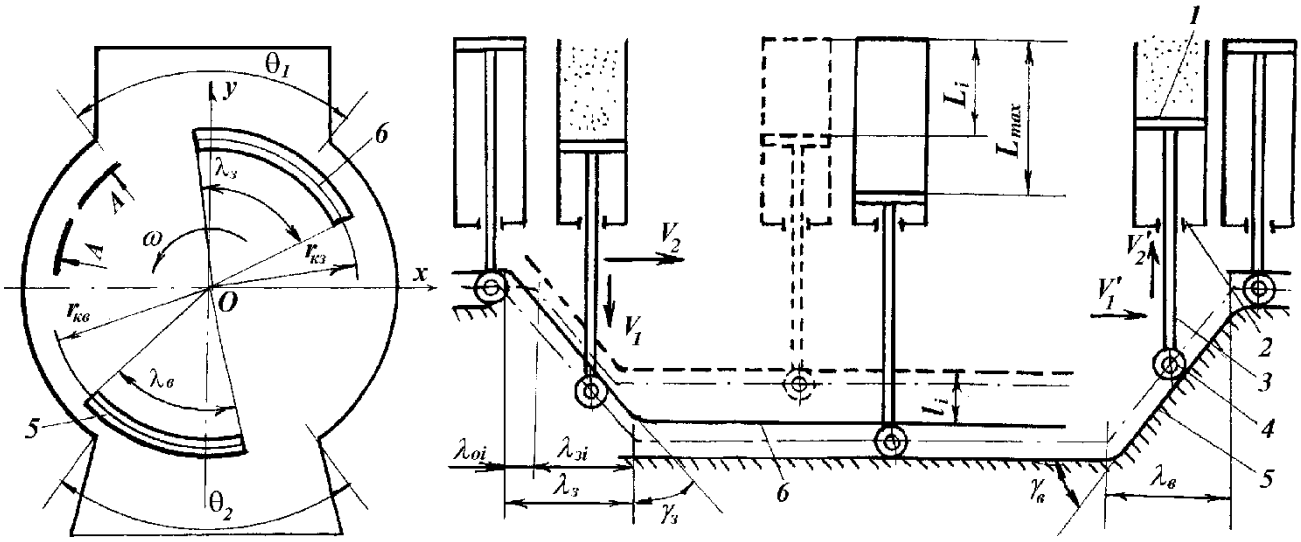
$$V_{яi} = \frac{\pi\left(R^2 - r^2\right) \cdot L_i}{z}, \quad (3)$$

где R - радиус барабана, м; r - радиус вала дозатора, м; L_i - переменная рабочей длины барабана, м.

Механизм, включающий в себя подвижные элементы 1 (рис.2), привод которых выполнен в виде установленных во втулках 2 штоков 3, одни из концов которых жестко соединены с подвижными элементами, а другие снабжены роликами 4, перекатывающимися по подвижному 5 и неподвижному 6 полукольцам, соответствует работе механизма, включающего неподвижный торцевой цилиндрический кулачек с роликовым толкателем [9]. Тогда для угла давления можно записать выражение

$$tg\gamma_з = \frac{v_1}{v_2}, \quad (4)$$

где $\gamma_з$ - угол давления в зоне загрузки, град; v_1 – осевая скорость толкателя (кулачка), м/с; v_2 – окружная скорость толкателя (кулачка), м/с.



а) б)

Рисунок 2 - Схема кулачкового механизма:
а) схема установки кулачка; б) разрез А-А;
1 - подвижный элемент; *2* - втулка; *3* - шток; *4* - ролик; *5* - кулачек

При формировании в ячейке *i*-ой дозы корма (рис. 2) можно записать

$$L_i = r_{кз} \cdot tg\gamma_з \cdot \lambda_{зi}, \quad (5)$$

где $r_{кз}$ - радиус расположения подвижного полукольца относительно оси барабана, м; $\lambda_{зi}$ - величина угла взаимодействия роликового толкателя с подвижным полукольцом при формировании в ячейке *i*-ой дозы корма.

Запишем следующее соотношение (рис.2)

$$\frac{L_{\max}}{\lambda_з} = \frac{\left(L_{\max} - l_i\right)}{\lambda_{зi}}, \quad (6)$$

где $L_{\max}$ - максимальная рабочая длина ячейки барабана, м; $\lambda_з$ - центральный угол, определяющий длину подвижного полукольца, м; l_i - положение подвижного полукольца, определяющее величину перемещения подвижного элемента, м.

Выразим из соотношения (6) $\lambda_{зi}$ и подставим в формулу (5). После преобразования получим выражение для определения величины перемещения подвижного элемента от положения подвижного полукольца

$$L_i = r_{кз} \cdot tg\gamma_з \cdot \lambda_з \cdot \left(1 - \frac{l_i}{L_{\max}}\right). \quad (7)$$

Подставим формулу (7) в выражение (3) и получим уравнение для определения объема ячейки в зависимости от основных конструктивных параметров дозатора и положения подвижного полукольца

$$V_{яi} = \frac{\pi \cdot \left(R^2 - r^2\right) \cdot r_{кз} \cdot tg\gamma_з \cdot \lambda_з \cdot \left(1 - \frac{l_i}{L_{\max}}\right)}{z}. \quad (8)$$

Подставим уравнение (8) в выражение (1) и получим аналитическое выражение для определения подачи, а также как влияет на подачу барабанного дозатора положение подвижного полукольца

$$Q = \pi \cdot \left(R^2 - r^2\right) \cdot r_{кз} \cdot tg\gamma_з \cdot \lambda_з \cdot \left(1 - \frac{l_i}{L_{\max}}\right) \cdot \rho \cdot n \cdot \varphi. \quad (9)$$

Для полной очистки ячеек от остатков корма подвижный элемент в зоне выгрузки должен перемещаться из одного крайнего положения до

На неравномерность подачи дозатора оказывает влияние полнота очистки ячеек при выгрузке. Для полной очистки ячейки необходимо, чтобы подвижный элемент в зоне выгрузного окна перемещался на всю длину ячейки до торцевой стенки. Величина этого перемещения из рисунка 2 запишется

$$L_{\max} = r_{кв} \cdot tg\gamma_в \cdot \lambda_в, \quad (10)$$

где $r_{кв}$ - радиус расположения неподвижного полукольца относительно оси барабана, м; $\gamma_в$ - угол давления в зоне выгрузки, град; $\lambda_в$ - центральный угол, определяющий длину неподвижного полукольца, рад.

На этапе выгрузки с целью предотвращения заклинивания ячейка должна выходить в зону выгрузного окна, определяемого углом θ_2 не менее чем на 30°, после чего ролик начинает взаимодействовать с выгрузным копиром. На основе экспериментальных исследований установлено, что величина угла $\lambda_в$ (рис.2) на этапе выгрузки должна быть в пределах 30...40°. При этом за критерий оптимизации были приняты удельные затраты энергии [5, 6, 8].

Для оптимизации параметров дозатора были проведены экспериментальные исследования, в которых критерием оптимизации являлась неравномерность дозирования, оцениваемая через относительную погрешность - коэффициент вариации ν_q. Наибольшее влияние на неравномерность дозирования оказывали частота вращения *n* вала дозатора, ширина загрузочного окна, определяемая центральным углом θ_1 (рис.2), и длина подвижного полукольца, определяемая центральным углом $\lambda_з$ [3].

По показателю оптимизации, согласно некомпозиционного плана второго порядка Бокса и Бенкина [7], была получена математическая модель процесса, описываемая уравнением регрессии второй степени

$$y = 3{,}863 + 0{,}61 \cdot x_1 + 0{,}25 \cdot x_2 - 0{,}83 \cdot x_3 + 1{,}198 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0{,}562 \cdot x_1 \cdot x_3 - \\ - 0{,}412 \cdot x_2 \cdot x_3 + 3{,}475 \cdot x_1^2 + 0{,}85 \cdot x_3^2, \quad (11)$$

где x_1, x_2, x_3 - кодированные значения соответственно частоты вращения вала дозатора и центральных углов, определяющих длину подвижного полукольца и ширину загрузочного окна.

Анализ уравнения регрессии (11) позволил выявить оптимальные конструктивно-режимные параметры дозатора, при которых неравномерность выдачи дозы корма остается в области оптимума: частота вращения вала дозатора n=0,322 с$^{-1}$; центральный угол, определяющий длину подвижного полукольца, $\lambda_з$=73°; центральный угол, определяющий ширину загрузочного окна, θ_1=82°.

Результаты исследований влияния положения l_i подвижного полукольца на неравномерность дозирования ν_q и подачу Q (рис.3) проводились на рассыпном комбикорме. Расчетные зависимости изменения подачи построены по формуле (9) при коэффициенте заполнения φ=1.

На основе анализа полученных зависимостей (рис.3) можно сделать вывод, что предлагаемый дозатор имеет улучшенные качественные показатели, может использоваться в технологических линиях приготовления и раздачи кормов. При этом качественные показатели (неравномерность выдаваемых доз и отклонение фактической нормы от заданной) отвечают зоотехническим требованиям [3, 4] и не превышают 5%, а величина коэффициента заполнения изменяется в пределах φ=0,75...0,9.

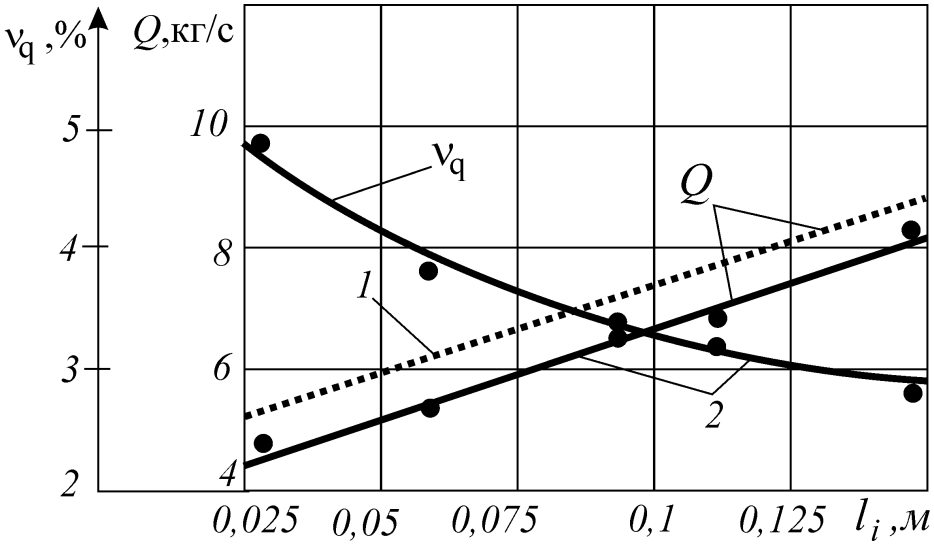


Рисунок 3 - Зависимости изменения подачи Q и неравномерности дозирования ν_q от положения фиксатора l_i: *1* - расчетная; *2* - экспериментальная

Выводы. Объемный барабанный дозатор с установленными в ячейках подвижными элементами позволяет управлять подачей сухих рассыпных кормосмесей от минимального уровня до максимального и обеспечивает качество технологического процесса в пределах зоотехнических требований. Получены аналитические выражения для определения объема ячейки и подачи в зависимости от конструктивно-кинематических и режимных параметров дозатора. Экспериментальные исследования позволили выявить оптимальные значения конструктивно-кинематических и режимных параметров дозатора по критериям оптимизации удельных затрат энергии и неравномерности выдаваемых доз.

Список литературы

1. Справочник фермера / В.Н. Кузьмин, В.Ф. Федоренко, С.Н. Сазонов. -М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. – 616 с.

2. Ведищев, С.М. Анализ дозаторов кормов / С.М. Ведищев, А.В. Прохоров, А.Ю. Глазков // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2014. №1 (50). С.103-108.

3. Ведищев, С.М. Дозатор кормов/С.М. Ведищев, В.Т. Щедрин/ Вестник ТГТУ. 1995. №5,6. С.15-17.

4. Ведищев, С.М. Кормораздатчик для доильных установок / С.М. Ведищев //Наука в Центральной России. 2014. №5. С.5-9.

5. Ведищев, С.М. Скребковый дозатор /С.М. Ведищев, А. В Прохоров//Тракторы и сельхозмашины. 2014. №4. С.12-13.

6. Ведищев, С.М. Управление подачей дозатора с изменяющимся шагом шнека / С.М. Ведищев, А.В. Прохоров //Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-27 [Текст]: сб. трудов XXVII Междунар. науч. конф: в 12 т. Т6. Секции 6, 7, 8 / под общ. ред. А.А. Большакова. Тамбов: Тамбовск. гос. техн. ун-т, 2014. С.25-28.

7. Спиридонов А.А., Васильев Н.Г. Планирование эксперимента при исследовании и оптимизации технологических процессов. Учебное пособие. Свердловск: Изд. УПИ им. С.М. Кирова, 1975. 140 с.

8. Тишанинов, Н.П. Обоснование конструктивно-технологической схемы делителя потока сыпучих материалов с изменяемым соотношением расходов отводимых потоков / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.Н. Тишанинов // Наука в центральной России. 2013. №6. С.15-21.

9. Юдин В.А., Петрокас Л.В. Теория механизмов и машин. Учебное пособие для втузов, М.: Высшая школа, 1977. 527с.

References

1. Vedishhev, S.M. Analiz dozatorov kormov / S.M. Vedishhev, A.V. Prohorov, A.Ju. Glazkov // Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo. 2014. №1 (50). S.103-108.

2. Vedishhev, S.M. Dozator kormov/S.M. Vedishhev, V.T. Shhedrin/ Vestnik TGTU. 1995. №5,6. S.15-17.

3. Vedishhev, S.M. Kormorazdatchik dlja doil'nyh ustanovok / S.M. Vedishhev //Nauka v Central'noj Rossii. 2014. №5. S.5-9.

4. Vedishhev, S.M. Skrebkovyj dozator /S.M. Vedishhev, A. V Proho-rov//Traktory i sel'hozmashiny. 2014. №4. S.12-13.

5. Vedishhev, S.M. Upravlenie podachej dozatora s izmenjajushhimsja shagom shneka / S.M. Vedishhev, A.V. Prohorov //Matematicheskie metody v tehnike i tehnologijah – MMTT-27 [Tekst]: sb. trudov XXVII Mezhdunar. nauch. konf.: v 12 t. T6. Sekcii 6, 7, 8 / pod obshh. red. A.A. Bol'shakova. Tambov: Tambovsk. gos. tehn. un-t, 2014. S.25-28.

6. Spiridonov A.A., Vasil'ev N.G. Planirovanie jeksperimenta pri issledovanii i optimizacii tehnologicheskih processov. Uchebnoe posobie. Sverdlovsk: Izd. UPI im. S.M.Kirova, 1975. 140 s.

7. Tishaninov, N.P. Obosnovanie konstruktivno-tehnologicheskoj shemy delitelja potoka sypuchih materialov s izmenjaemym sootnosheniem rashodov otvodimyh potokov / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, K.N. Tishaninov // Nauka v central'noj Rossii. 2013. №6. S.15-21.

8. Judin V.A., Petrokas L.V. Teorija mehanizmov i mashin. Uchebnoe po-sobie dlja vtuzov, M.: Vysshaja shkola, 1977. 527s.

УДК 631.017.3: 621.181

ВОТАНОВСКАЯ Н.А., ЧЕРНОВ Д.С., ШУВАЛОВ А.М., ШУЛАЕВ Г.М., МАШКОВ А.Н.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗЕРНА СОИ В ПРОЦЕССЕ ТЕРМООБРАБОТКИ

Вотановская Нина Александровна,

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, e-mail: vniti@mail.ru

Чернов Денис Серафимович,

научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, e-mail: vniti@mail.ru

Шувалов Анатолий Михайлович,

доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией, Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве.

Шулаев Геннадий Михайлович,

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией, Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, e-mail: vniti@mail.ru

Машков Алексей Николаевич,

кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, e-mail: vniti@mail.ru

Реферат. *Одной из наиболее важных проблем животноводства является обеспечение сельскохозяйственных животных и птицы питательными и сбалансированными кормами. Приготовление таких кормов возможно только при использовании специальных добавок. Основной составляющей любой добавки в корм помимо витаминов и минералов является белок. Однако белок растительного происхождения существенно удорожает добавку. Альтернативой использования белков животного происхождения является применение растительных белков. Исследования выявили наиболее ценные белковые культуры, одной из которых является соя. Но необработанную сою нельзя использовать в добавках из-за наличия в ней антипитательных веществ, которые могут навредить животным. Как показали экспериментальные исследования, удаление антипитательных веществ происходит лучше всего в случае термической обработки сои. Важным показателем, характеризующим количество антипитательных веществ в зерне сои, является активность уреазы. Также в процессе термообработки зерна сои необходимо контролировать питательную ценность зерна. Индекс дисперсности протеина является показателем питательности обработанного зерна сои, который характеризует количество водорастворимого белка в сое после обработки. В процессе термообработки сои важно контролировать активность уреазы и индекс дисперсности протеина, поскольку увеличение конечной температуры обработки ведет к уменьшению активности уреазы и индекса дисперсности протеина. Односторонняя термообработка зерна сои обладает существенным недостатком в виде неравномерности прогрева и необходимости увеличения температуры обработки. Двухсторонний нагрев зерна уменьшает время термообработки и позволяет снизить температуру обработки. При такой обработке качественные показатели зерна сои не превышают нормируемых значений и белок, содержащийся в*

зерне сои, может заменить белок животного происхождения в добавках в корм сельхоз животных и птицы.

Ключевые слова: *соя, антипитательные вещества, термообработка, инфракрасный нагрев, активность уреазы, индекс дисперсности протеина.*

VOTANOVSKAYA N.A., CHERNOV D.S., SHUVALOV A.M., SHULAEV G.M., MASHKOV A.N.

A STUDY OF QUALITY INDICATORS OF SOYBEANS DURING HEAT TREATMENT

Votanovskaya Nina Alexandrovna,
Ph.D. in biological sciences, senior researcher All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture
Chernov Denis Seraphimovich,
researcher, All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture.
Shuvalov Anatoliy Michailovich,
Full Doctor of Technical Sciences, professor, laboratory chief, All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture
Shulaev Gennadiy Michailovich,
Ph.D. in agricultural sciences, senior researcher, laboratory chief, All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture
Mashkov Alexey Nikolaevich,
Ph.D. (Technical), Senior Researcher, All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture

Summary. *One of the most important problems of livestock is provision of agricultural animals and poultry with nutritious and balanced forages. The preparation of such forages is possible only by using special additives. The main component of any forage additives except for vitamins and minerals is a protein. However, vegetable protein significantly increases the cost of the additive. An alternative to the use of animal protein is the use of vegetable proteins. The most valuable proteinaceous culture, one of which is a soybean, are determined by studies. But the raw soybean should not be used in additives due to the presence in it of anti-nutritional substances that can harm the animals. According to experimental studies, removal of anti-nutrients occurs best in the case of the heat treatment of soybean. An important indicator of the number of anti-nutritional substances in soybeans is urease activity. Also, during the heat treatment of soybeanis is necessary to control soybean nutritional value of the grain. The dispersion index is an indicator of nutritional of processed soybeans, which characterizes the amount of water-soluble protein in soybean after treatment. During the heat treatment of soybean, it is important to control urease activity and protein dispersibility index, because increasing the final temperature of treatment leads to a decrease of urease activity and protein dispersibility index. One-sided heat treatment of soybean has a significant disadvantage in the form of uneven heating and the need to increase the processing temperature. Double-sided heating of soybean reduces cooking time and reduces the processing temperature. In this processing quality, indicators of soybean grain do not exceed normalized values and the protein contained in corn soy can replace animal protein in forages additives in agricultural animals and poultry.*

Keywords: *soybean, anti-nutritional substances, heat treatment, infrared heating, urease activity, the protein dispersibility index.*

Введение. Одним из способов решения проблемы замены животных белков, используемых в

животноводстве в качестве кормовых добавок, является применение белков растительного происхождения.

Наукой и практикой доказано, что соя является наиболее перспективным заменителем животного белка. В зерне сои содержится 30 - 45 % протеина, до 20 % жира и сравнительно мало углеводов. Протеин сои характеризуется высокой растворимостью (80 %) и является наиболее полноценным из всех растительных протеинов. По этим показателям белок сои близок к животным белкам. Зерно сои богато витаминами А, В, С, D, Е, РР, протеиновой кислотой, холином. Имеется в нем также витамин К, обеспечивающий нормальное свертывание крови [1].

Однако, зерно сои нельзя скармливать животным без предварительной обработки, так как потребление ее моногастричными животными может оказаться опасным. В основном это происходит из-за содержания в зерне сои трипсина, геммагглютенинов, сапонинов, гликозидов, аллергенов, фитатов, уреазы и др. Самые опасные из них – ингибиторы трипсина и хемотрипсина, количество которых достигает 6-8% от общего содержания белка, а активность колеблется от 11 до 38 мг/г. [2]

В организме животного они блокируют пищеварительные ферменты и тем самым снижают перевариваемость белков, а также вызывают гипертрофию поджелудочной железы и задержку роста животных. [3]

Проведенные различными авторами исследования показали, что вредно действующие вещества вместе с легкорастворимыми полезными белками входят в состав зерна сои. Однако существуют показатели, по которым можно определить наличие вредного белка в сое.

О количестве вредного действующего белка в сое можно судить по косвенному показателю – степени активности уреазы. В нативном состоянии в зерне сои активность уреазы составляет 2 - 3 Δph, в обработанном зерне сои, безопасном для скармливания животным, активность уреазы не должна превышать 0.2 -0.3Δph. [2]

В производстве сои существует проблема ее обработки, так как необработанное зерно производители вынуждены продавать по низкой цене, а обработка его требует высоких дополнительных затрат из-за дорогостоящей и энергоемкой технологии.

Материалы и методы. Проведенные информационно-патентные исследования показали, что для удаления антипитательных веществ наилучшей эффективностью обладает тепловая обработка зерна при помощи различных способов получения тепла. Также многие авторы [3, 4] отмечают необходимость не просто нагревать зерно до определенной температуры, но и выдерживать его при этой температуре определенное время. Особенностью обработки зерна сои является необходимость поддержания определенной влажности перед ее обработкой, так как не увлажненное зерно перед термообработкой не дает качественные показатели. Также поддержание определенной влажности необходимо для увеличения теплопроводности и теплоемкости зерна. Кроме влажности параметрами, существенно влияющими на качество технологического процесса, являются температура обработки сои и продолжительность обработки. Существует несколько способов обработки зерна сои для инактивации вредно действующих веществ с сохранением ценного белка.

Классические методы снижения антипитательных веществ основаны на длительной высокотемпературной обработке соевых бобов, предварительно прошедших стадию увлажнения, измельчения, либо при использовании цельных бобов – паровой варки. [3]

В последнее время широкое распространение для тепловой обработки сои получает инфракрасный подогрев (микронизация). Однако, данному способу присущи недостатки: односторонний прогрев соевых бобов при движении их на транспортере, и как следствие – недогрев снизу и

перегрев сверху, вплоть до подгорания. В результате снижается качество обработанного зерна, обеспечивается низкая производительность из-за однослойной насыпной массы, а, следовательно, увеличивается время обработки и расход энергии. [1]

Наиболее эффективным можно считать такой нагрев, при котором температура на оболочке зерна сои и в центре зерна была бы равной. В этом случае антипитательные вещества удалялись бы одинаково во всем объеме зерна сои. Исследования показали, что односторонним мощным потоком лучистой энергии от ИК-излучателей (45 кВт/м2) можно быстро (70 сек.) разогреть оболочку сои почти до пригорания (160 °С). Однако это не значит, что при таком режиме будет достигнут максимальный эффект по удалению антипитательных веществ, так как из-за тепловой инерционности температура внутри зерна не достигнет величины, при которой уровень антипитательных веществ снизился бы до нормируемых значений. [3, 5- 7]

Вероятность равномерного прогрева внутренней части зерна сои при односторонней подаче теплоты (ИК-нагрев или поджаривание от электронагревательных поверхностей) всегда меньше, чем при двухстороннем нагреве сверху и снизу, то есть двухсторонний нагрев может быть более предпочтительным для однородного прогрева внутренней части зерна сои, а, следовательно, и для более эффективного удаления антипитательных веществ.

ФГБНУ ВНИИТиН разработан новый способ обработки сои на базе перспективного технического средства с комбинированной системой энергообеспечения, позволяющей осуществлять за счет перераспределения тепловых потоков двухсторонний нагрев сои и как следствие – повысить равномерность прогрева по объему зерна, качество обработки, производительность установки и снизить удельные затраты электроэнергии [5 - 8].

Целью настоящей работы являлось изучение влияния различных режимов обработки сои при комбинированном нагреве на качественные показатели термически обработанного зерна.

Для того, чтобы контролировать качество гидротермической обработки сои, необходимо использовать оперативную информацию об активности уреазы, показателе дисперсности протеина (снижение количества водорастворимого белка), который используется как индикатор масштаба возможного повреждения аминокислот, а именно, лизина.

Для оценки полноценности и достаточности тепловой обработки в образцах прогретой сои определяли следующие показатели качества зерна:

- активность уреазы (АУ), в качестве официального критерия уровня ингибирования антипитательных факторов в обрабатываемой сое в соответствие с ГОСТ 13979-уреаза. Об оптимальном уровне гидротермической обработки свидетельствует значение АУ 0,1- 0,3 Δ pH;

- индекс дисперсности протеина по воде (ИДП) [2]. ИДП является тестовым показателем достаточности гидротермической обработки сои, когда в ней инактивируются антипитательные вещества и при этом сохраняется высокая переваримость белка. Показатель ИДП выражается в процентах выделенной фракции водорастворимого белка к содержанию суммарного белка в образце. Известно, что значение ИДП в диапазоне 15 – 30 % свидетельствует об оптимальной обработке сырья. Значение ИДП выше этого предела говорит о недогреве сои и, следовательно, недостаточной инактивации антипитательных веществ в ней. Снижение показателя ИДП ниже 15 % говорит о перегреве сырья и чрезмерной денатурации белка.

Результаты и обсуждение. Установлено, что существенное влияние на снижение активности уреазы оказывает конечная температура нагрева, то есть при низкой температуре (щадящий режим) сохраняются витамины, аминокислоты и др., но активность уреазы не снижается до нормативного уровня, что снижает питательную ценность соевого белка. Нагрев сои до высокой температуры снижает уреазу до нормы, но «жесткий» режим нагрева приводит к снижению витаминов

и качества протеина. В этой связи нами решалась задача: при какой минимально допустимой температуре снизить уровень уреазы до нормы.

Из графика рисунок 1 следует, что нагрев сои достаточно доводить до 130 °С, при этой температуре активность уреазы не превышает нормы (0,2 ΔpH). При нагреве свыше 140 °С, уровень уреазы почти полностью удаляется, но такой «жесткий» режим снижает качество термически обработанного зерна.

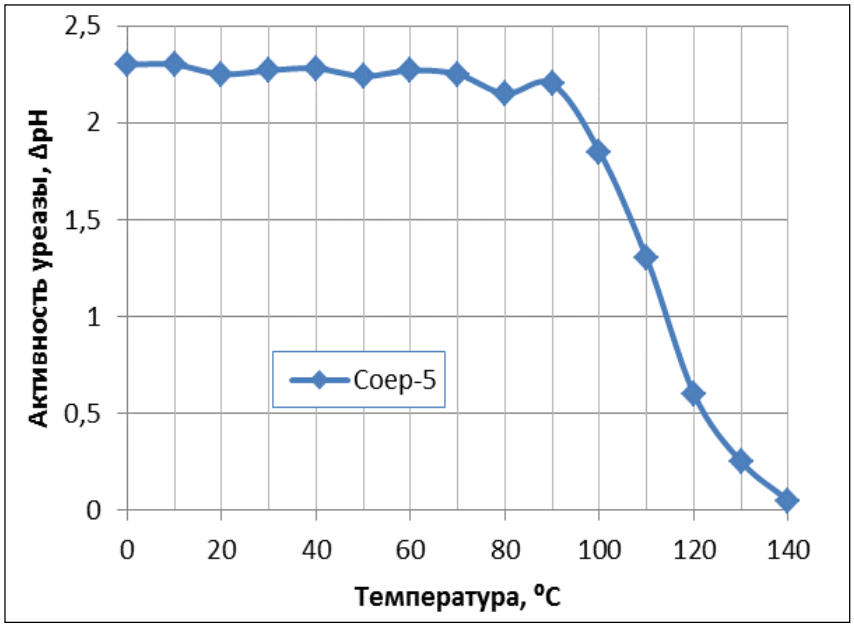


Рисунок 1. Зависимость активности уреазы от конечной температуры нагрева зерна

На рисунке 2 представлена динамика изменения индекса дисперсности протеина (ИДП) в сое в зависимости от времени высокотемпературного воздействия изучаемых способов гидротермической обработки сои.

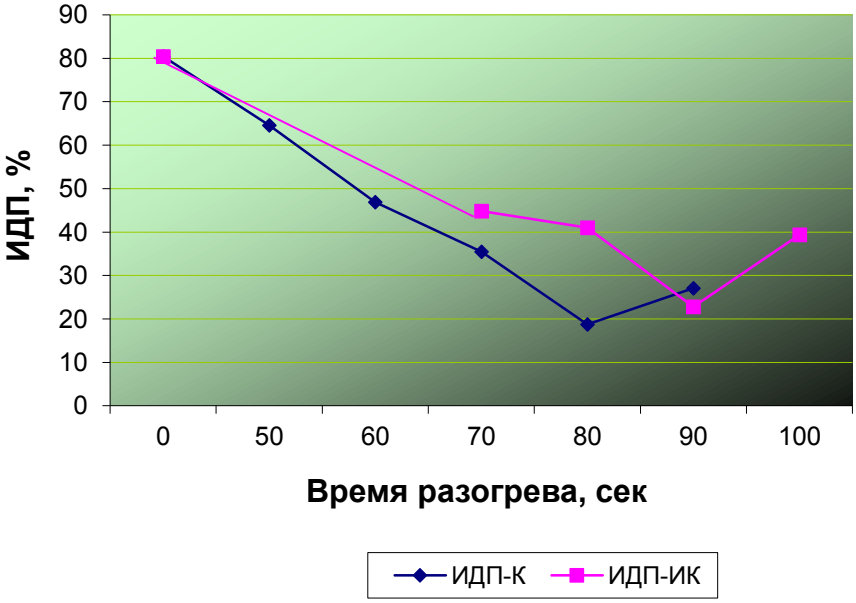


Рисунок 2. Влияние времени теплового воздействия на динамику индекса дисперсности протеина (ИДП) в полножирной сое

Как видно из рисунка 2, при одинаковой мощности энергоподвода в варианте опыта, где разогрев обеспечивали комбинированным способом, снижение ИДП происходило равномерно по мере нагревания. Этот показатель достиг оптимального значения - 18,57 % через 80 сек нагревания. В

то же время, в варианте, где основной разогрев осуществлялся только через ИК - лампы сверху, график зависимости ИДП от времени нагревания представлен ломаной линией. Это свидетельствует о том, что разогрев сои при обработке таким способом не обеспечивает равномерности процесса прогревания. А именно равномерность протекающих процессов способствует облегчению регулирования гидротермической обработки сои. Оптимального значения - 22,8 % ИДП в варианте с ИК - облучением достиг через 90 сек нагревания, что на 10 сек больше, чем в варианте с комбинированным теплоподводом. При дальнейшем нагревании (в варианте К - в течение 90 сек, а в варианте ИК – в течение 100 сек) денатурация белка в сое переходит, вероятно, из стадии изменения структуры белка в стадию непосредственно потери белка. Об этом свидетельствует вторичное повышение ИДП (в варианте К – до 27,08 %, а в варианте ИК – 39,4 %), что говорит о нарастании содержания низкомолекулярных азотистых веществ в обрабатываемой сое.

Выводы:

1. В результате исследований установлено, что при комбинированном нагреве сои верхний предел температуры равен 130°С.

2. Доказано, что исходная влажность зерна сои (перед началом термической обработки) должна быть 18 - 20%.

Список литературы

1. Шувалов А.М. Перспективы применения, комбинированного электронагрева зерна сои для удаления антипитательных веществ. / А.М. Шувалов, Д.С. Чернов, А.Н. Машков, В.Ф. Калинин. // Вестник ВИЭСХ. – 2014. – №3(16). – С. 75–77.

2. Шувалов А.М. Снижение антипитательных факторов в семенах микронизированной полножирной сои. / А.М. Шувалов, Г.М. Шулаев, Н.А. Вотановская, Р.К. Милушев, Д.С. Чернов. // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. Труды 8-й Международной научно-технической конференции (16-17 мая 2012 года, г. Москва, ГНУ ВИЭСХ). В 5-ти частях. Часть 2. Энергосберегающие технологии в растениеводстве и мобильной энергетике. – М.: ГНУ ВИЭСХ. – 2012. – С. 59-62.

3. Шувалов А.М. Технические средства для обработки сои. / А.М. Шувалов, А.Н. Зазуля, Г.М. Шулаев, Н.А. Вотановская, Д.С. Чернов // Наука в центральной России. – 2014, №1(7). – С. 55 - 60.

4. Справочник фермера / В.Н. Кузьмин, В.Ф. Федоренко, С.Н. Сазонов. -М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. – 616 с.

5. Шувалов А.М. Обоснование параметров саморегулируемой системы энергоподвода к варочным аппаратам. / А.М. Шувалов, К.А. Набатов, А.Н. Машков, Д.С. Чернов. // Вестник ВИЭСХ. – 2014. – №3(16). – С. 72–74.

6. Патент №2454911 Российская Федерация. МПК A47J27/17. Пищеварочная линия. / Шувалов А.М., Зазуля А.Н., Набатов К.А., Машков А.Н.; заявитель и патентообладатель ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии. – № 2011107747/12, заяв. 28.02.2011; опубл. 10.07.2012. Бюл. №19. – 5 с.: ил.

7. Шувалов А.М. Многоцелевой термоагрегат. / А.М. Шувалов, А.Н. Машков, К.А. Набатов, Д.С. Чернов. // Сельский механизатор. – 2014. – №3(16). – С. 10–11.

8. Шувалов А.М. Определение рациональных параметров гидротермической обработки полножирной сои на основе характера распределения тепла в зерне. / А.М. Шувалов, Г.М. Шулаев, Н.А. Вотановская, Д.С. Чернов. // Труды 9-ой международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». – Москва, ГНУ ВИЭСХ, ч.2. – 2014. –С. 181–185.

References

1. Shuvalov A.M. Perspektivy primeneniya kombinirovannogo ehlektronagreva zerna soi dlya udaleniya antipitatel'nyh veshchestv. / A.M. Shuvalov, D.S. Chernov, A.N. Mashkov, V.F. Kalinin. // Vestnik VIEHSKH. – 2014. – №3(16). – S. 75 – 77.

2. Shuvalov A.M. Snizhenie antipitatel'nyx faktorov v semenax mikronizirovannoj polnozhirnoj soi. / A.M. Shuvalov, G.M. Shulaev, N.A. Votanovskaya, R.K. Milushev, D.S. Chernov. // E'nergoobespechenie i e'nergosberezhenie v sel'skom xozyajstve. Trudy 8-j Mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj konferencii (16-17 maya 2012 goda, g. Moskva, GNU VIE'SX). V 5-ti chastyax. Chast' 2. E'nergosberegayushhie texnologii v rastenievodstve i mobil'noj e'nergetike. – M.: GNU VIE'SX. – 2012. – S. 59 - 62.

3. Shuvalov A.M. Tekhnicheskie sredstva dlya obrabotki soi. / A.M. Shuvalov, A.N. Zazulya, G.M. Shulaev, N.A. Votanovskaya, D.S. Chernov // Nauka v central'noj Rossii. – 2014, №1 (7). – S. 55-60.

4. Spravochnik fermera / V.N. Kuz'min, V.F. Fedorenko, S.N. Sazonov.-M.: FGBNU «Rosinforma-grotex», 2013. – 616 s.

5. Shuvalov A.M. Obosnovanie parametrov samoreguliruemoj sistemy ehnergopodvoda k va-rochnym apparatam. / A.M. Shuvalov, K.A. Nabatov, A.N. Mashkov, D.S. Chernov. // Vestnik VIEHSKH. – 2014. – №3 (16). – S. 72–74.

6. Patent №2454911 Rossijskaya Federaciya. MPK A47J27/17. Pishchevarochnaya liniya. / Shuva-lov A.M., Zazulya A.N., Nabatov K.A., Mashkov A.N.; zayavitel' i patentoobladatel' GNU VNIITiN Rossel'hozakademii. – №2011107747/12, zayav. 28.02.2011; opubl. 10.07.2012. Byul. №19. – 5 s.: il.

7. Shuvalov A.M. Mnogocelevoj termoagregat. / A.M. Shuvalov, A.N. Mashkov, K.A. Nabatov, D.S. Chernov. // Sel'skij mekhanizator. – 2014. – №3 (16). – S. 10–11.

8. Shuvalov A.M. Opredelenie racional'nyh parametrov gidrotermicheskoj obrabotki polnozhirnoj soi na osnove haraktera raspredeleniya tepla v zerne. / A.M. Shuvalov, G.M. Shulaev, N.A. Vota-novskaya, D.S. Chernov. // Trudy 9-oj mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii «EHnergoo-bespechenie i ehnergosberezhenie v sel'skom hozyajstve». – Moskva, GNU VIEHSKH, ch.2. – 2014. – S. 181–185.

УДК 631.3: 631.115

САЗОНОВА Д.Д., САЗОНОВ С.Н.

ДИНАМИКА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КРЕСТЬЯНСКИХ (ФЕРМЕРСКИХ) ХОЗЯЙСТВ

Сазонова Дамира Давидовна
кандидат экономических наук, доцент,
ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве,
E-mail: snsazon@mail.ru
Сазонов Сергей Николаевич
доктор технических наук, профессор,
заведующий лабораторией, Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве,
E-mail: snsazon@mail.ru

Реферат. *Представлен анализ эффективности использования производственных ресурсов в*

фермерских хозяйствах Тамбовской области. Цель исследования - установление динамики технической эффективности фермерских хозяйств. Для оценки изменения технической эффективности деятельности фермерских хозяйств относительно предшествующего периода использован индекс Малмквиста. Сравнения проведены по двенадцати периодам: 2001-2002гг, 2002-2003гг, 2003-2004гг, 2004-2005гг, 2005-2006гг, 2006-2007гг, 2007-2008гг, 2008-2009гг, 2009-2010гг., 2010-2011гг., 2011-2012гг., 2012-2013гг. Установлено, что до начала реализации национального проекта (2003-2005гг.) в фермерских хозяйствах сформировалась устойчивая негативная тенденция как в отношении эффективности использования ресурсов, так и в отношении выхода конечной продукции. Начиная с 2006г. ситуация стала изменяться в положительную сторону, и индекс Малмквиста в среднем за 2006-2007гг составил по эффективности использования ресурсов – 1,100, а по выходу товарной продукции – 1,153. В 2008 году индекс Малмквиста по ресурсным затратам и по валовой выручке опускается в 1,18 раза. В 2009г. рост индекса Малмквиста шел за счет роста общей технической эффективности, которая выросла на 8,4-8,7%. В 2010 году индекс Малмквиста в модели, ориентированной на минимизацию затрат, составил 1,049, а в модели, ориентированной на максимизацию валовой выручки, - 0,955. В 2011 году значения индексов Малмквиста в обеих моделях существенно возросли и составили соответственно 1,191 и 1,485. К сожалению, в 2012 г. индекс опустился, соответственно, до 0,979 и 1,096. В 2013 году индексы Малмквиста по обеим моделям возросли, но несущественно: 1,051 и 1,033. Полученные результаты указывают на необходимость разработки дифференцированных подходов, направленных на повышение эффективности использования производственных ресурсов в различных группах фермерских хозяйств, отличающихся не только наличием основных ресурсов производства, но и эффективностью их использования.

Ключевые слова. *Фермерские хозяйства, Тамбовская область, производственные ресурсы, индекс Малмквиста, динамика технической эффективности*

SAZONOVA D.D., SAZONOV S.N.

DYNAMICS OF THE TECHNICAL EFFICIENCY OF PEASANT ECONOMY (FARM)

Sazonova Damira Davidovna,
PhD (Economics), associate professor, leading research fellow, All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture.
E-mail: snsazon@mail.ru.
Sazonov Sergei Nikolaevich,
Full Doctor of Technical Sciences, professor, laboratory chief, All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture
E-mail: snsazon@mail.ru.

Summary. *Efficiency analysis using production resources in the farms of the Tambov region is represented. The purpose of the study is to establish the dynamics of the technical efficiency of farms. For evaluation of the changes in the technical efficiency of the farms relative to the previous period Malmkvista index is used. Comparisons were made by twelve periods: 2001-2002, 2002-2003, 2003-2004, 2004-2005, 2005-2006, 2006-2007, 2007-2008, 2008-2009, 2009-2010., 2010-2011., 2011- 2012, 2012-2013 gg. It was established that prior to the implementation of the national project (2003-2005 gg) a stable negative trend was formed in farms both in terms of resource efficiency, and in terms of the output of the final product. The situation began to change in a positive way since 2006 and*

Malmkvista index averaged per 2006-2007 for efficiency of resource using - 1,100, and for the output of commercial products - 1,153. In 2008, the index Malmkvista on resource costs and gross sales lowered

into the 1.18 times. In 2009 the increase of the Malmkvista index was due to the growth of overall technical efficiency, which increased by 8.4 - 8.7 %. In 2010, the Malmkvista index model oriented to minimizing costs, amounted to 1,049, and in the modeloriented to maximizing gross revenues - 0.955. In 2011 the values of Malmkvista index in both models increased significantly and were respectively 1,191 and 1,485. Unfortunately, in 2012 the index was dropped, respectively, to 0.979 and 1.096. In 2013, Malmkvista index on both models increased, but not significantly: 1,051 and 1,033. The results indicate the need for differentiated approaches aimed at improving efficiency in the use of productive resources in the different groups of farms that differ not only by the basic resources of production, but also the efficiency of their use.

Keywords. *Farms, Tambov region, production resources, Malmkvista index, dynamics of technical efficiency.*

Введение. Как известно, понятие технической эффективности подразумевает сравнение, в частности фермерских хозяйств, по степени использования ими своих ресурсов [1 - 3]. При этом в качестве «эталона» берутся наилучшие хозяйства, обеспечивающие максимум выхода продукции на единицу ресурса. Принято считать, что эталонные хозяйства лежат на кривой производственных возможностей, и отношение фактического выхода продукции к максимально возможному в них равно 1. Однако наибольший интерес представляет не локальная оценка технической эффективности, а ее динамика за достаточно продолжительный период. Исходя из этого, целью настоящей работы является установление динамики технической эффективности фермерских хозяйств.

Материалы и методы. Используя данные многолетнего мониторинга деятельности фермерских хозяйств Тамбовской области [4-17], нами получены оценки их технической эффективности на протяжении 2001-2013 гг. [18-23]. В этих расчетах использовался непараметрический метод анализа оболочки данных - Data Envelopment Analysis (DEA) для выпуклой модели, с постоянным и переменным эффектами масштаба, радиальным расстоянием, ориентированный на максимум выпуска продукции и минимум затрат ресурсов [1]

Для оценки изменения технической эффективности деятельности фермерских хозяйств относительно предшествующего периода нами использован индекс Малмквиста. Суть этого индекса состоит в следующем [1]. Для оценки изменения коэффициентов технической эффективности хозяйств в каком-то одном периоде (T_1) по сравнению с предшествующим (T_0) недостаточно просто разделить соответствующие коэффициенты друг на друга, поскольку оценка технической эффективности методом анализа оболочки данных (АОД) основана на сравнении показателей эффективности с передовыми, «эталонными» хозяйствами. В каждом из анализируемых периодов мы имеем не только различные входные и выходные показатели для каждого хозяйства, но и различные «эталонные» хозяйства. Поэтому при проведении анализа коэффициентов технической эффективности необходимо учесть и сдвиг оболочки «эталонных» хозяйств.

Пусть хозяйство P, используя ресурсы I_1 и I_2, производит продукцию Y. На рисунке 1 точка P_0 характеризует расходы ресурсов этого хозяйства в нулевой период, а точка P_1 – в первый. Каждой точке соответствует свой выход продукции (Y_0 и Y_1). Изокванты t=0 и t=1 отображают затраты ресурсов передовых («эталонных») хозяйств, которые производят продукцию в том же объеме: Y_0 в нулевой и Y_1 в первый период. Хозяйство P не является технически эффективным. В нулевом периоде имеется точка X_0, отвечающая некоторому передовому хозяйству, которое расходует меньшее количество ресурсов I_1 и I_2.

Техническая эффективность хозяйства P, ориентированная на снижение ресурсов, в нулевой период по отношению к изокванте t=0 может быть измерена как $te_0^0 = OX_0 / OP_0$, а, соответственно,

в первый период относительно изокванты t = 1 как $te_1^1 = OX_1 / OP_1$

Но, как было отмечено выше, для расчета индекса изменения технической эффективности в первый период по отношению к нулевому недостаточно рассчитать отношение te_1^1/te_0^0, необходимо учесть еще и сдвиг изокванты t=1 относительно изокванты t=0.

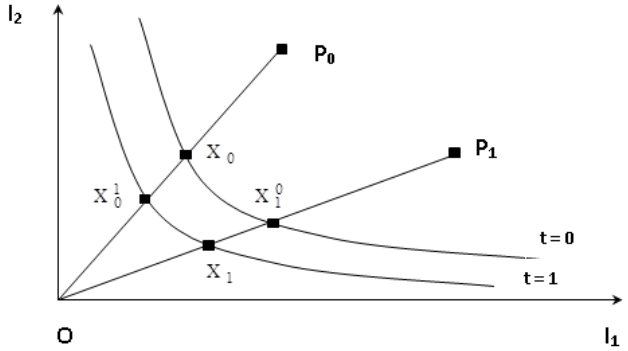


Рисунок 1 - Изменение технической эффективности, ориентированной на снижение затрат, во времени (input oriented)

Для хозяйства P в нулевой период по отношению к изокванте t=1 «эталонным» является хозяйство, изображаемое точкой X_0^1, которая лежит на кривой t=1. В первый период «эталонным» относительно изокванты t=0 для него будет хозяйство, изображенное точкой X_1^0, лежащей на кривой t=0.

Таким образом, сдвиг изокванты t=1 относительно изокванты t=0 можно измерить с помощью двух показателей.

Первый – это отношение отрезка OX_0 к отрезку OX_0^1. Умножив числитель и знаменатель на OP_0, получим:

$$\frac{OX_0}{OX_0^1} = \frac{OX_0 \cdot OP_0}{OX_0^1 \cdot OP_0} = \frac{te_0^0}{te_0^1}, \quad (1)$$

где te_0^0 -техническая эффективность хозяйства в период 0 по отношению к хозяйствам в период 0 (к изокванте t=0)

te_0^1 -техническая эффективность хозяйства в период 0 по отношению к хозяйствам в период 1 (к изокванте t=1)

Второй - отношение отрезка OX_1^0 к OX_1 . Умножив числитель и знаменатель на OP_1, получаем

$$\frac{OX_1^0}{OX_1} = \frac{OX_1^0 \cdot OP_1}{OX_1 \cdot OP_1} = \frac{te_1^0}{te_1^1}, \quad (2)$$

где te_1^1 -техническая эффективность хозяйства в период 1 по отношению к хозяйствам в период 1 (к изокванте t=1)

te_1^0 -техническая эффективность хозяйства в период 1 по отношению к хозяйствам в период 0 (к изокванте t=0)

Среднее геометрическое полученных показателей TCng (technical change) и будет показывать технический сдвиг изокванты (оболочки, образованной «эталонными» хозяйствами). Оно характеризует сдвиг производственной функции во времени, технологические изменения.

$$TCng = \sqrt{\frac{te_1^0}{te_1^1} \cdot \frac{te_0^0}{te_0^1}} \quad (3)$$

Таким образом, индекс Малмквиста, характеризующий изменение технической эффективности в первом периоде относительно нулевого периода, в итоге определится зависимостью:

$$MMинд = TCng \cdot \frac{te_1^1}{te_0^0} = \frac{te_1^1}{te_0^0} \cdot \sqrt{\frac{te_1^0}{te_1^1} \cdot \frac{te_0^0}{te_0^1}} \quad (4)$$

Результаты исследований. Исходя из принятых методических подходов, сравнения проводились по двенадцати периодам: 2001-2002гг, …, 2012-2013гг. За основу была взята выпуклая модель с переменным эффектом масштаба. Именно такая модель является более приближенной к действительности, поскольку она предопределяет, что увеличение количества ресурса необязательно ведет к росту его отдачи. Полученные значения индексов Малмквиста, рассчитанных и на максимум выхода продукции, и на минимум ресурсных затрат, представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 - Изменение показателей технической эффективности, ориентированной на минимизацию ресурсных затрат

Период сравнения	Средние значения показателей		
	Рост технической эффективности без учета сдвига оболочки данных (te_1^1/te_0^0)	Коэффициент технического прогресса *TCng*	Индекс Малмквиста (ММинд)
2002г относительно 2001г	0,927	1,059	0,971
2003г относительно 2002г	1,004	1,092	1,087
2004г относительно 2003г	1,027	1,026	1,055
2005г относительно 2004г	0,892	1,079	0,946
2006г относительно 2005г	1,132	1,003	1,135
2007г относительно 2006г	1,052	1,013	1,066
2008г относительно 2007г	0,909	1,037	0,929
2009г относительно 2008г	1,087	1,007	1,097
2010г относительно 2009г	1,022	1,025	1,049
2011г относительно 2010г	1,190	1,001	1,191
2012г относительно 2011г	0,958	1,030	0,98
2013г относительно 2012г	1,041	1,010	1,051

Таблица 2 - Изменения показателей технической эффективности, ориентированной на максимизацию валовой выручки

Период сравнения	Средние значения показателей		
	Рост технической эффективности без учета сдвига оболочки данных (te_1^1/te_0^0)	Коэффициент технического прогресса *TCng*	Индекс Малмквиста (ММинд)
2002г относительно 2001г	0,831	1,159	0,902
2003г относительно 2002г	1,012	1,106	1,109
2004г относительно 2003г	1,022	1,032	1,050
2005г относительно 2004г	0,867	1,118	0,934

2006г относительно 2005г	1,224	1,005	1,228
2007г относительно 2006г	1,059	1,025	1,078
2008г относительно 2007г	0,903	1,100	0,979
2009г относительно 2008г	1,084	1,008	1,098
2010г относительно 2009г	0,913	1,060	0,955
2011г относительно 2010г	1,365	1,127	1,485
2012г относительно 2011г	1,027	1,110	1,096
2013г относительно 2012г	1,007	1,027	1,033

Из полученных данных следует, что в течение трех лет до начала реализации национального проекта (2003-2005гг.) в фермерских хозяйствах сформировалась устойчивая негативная тенденция как в отношении эффективности использования ресурсов, так и в отношении выхода конечной продукции. Например, индекс Малмквиста по эффективности использования ресурсов составлял: в 2003г. - 1,087; в 2004г. – 1,055; в 2005г. – 0,946. За тот же период по выходу продукции он составил: в 2003г. – 1,109; в 2004г. – 1,050; в 2005г. – 0,934.

Начиная с 2006г. ситуация стала изменяться в положительную сторону, и индекс Малмквиста в среднем за 2006-2007гг составил по эффективности использования ресурсов – 1,100, а по выходу товарной продукции – 1,153. Это означает, что в 2006-2007гг. затраты ресурсов на выпуск того же количества продукции снизились в среднем на 10,0%, а увеличение объемов товарной продукции при тех же затратах ресурсов составило 15,3%. Никогда до начала реализации приоритетного национального проекта, в рамках проанализированного периода, мы не имели таких положительных сдвигов.

Следовательно, действительно за счет применяемых льготных кредитных схем, стали более доступны определенные виды ресурсов. В частности, в обследованных фермерских хозяйствах льготные кредиты были использованы на приобретение топливно-смазочных материалов, удобрений, семян и запасных частей. Это и позволило повысить эффективность их деятельности. Например, в 2006-2007гг. объем использованных на эти нужды кредитов составил 278% от объемов льготных кредитных средств, потраченных на эти же цели, за предыдущие четыре года. Одновременно в 2006-2007 гг. уровень цен на основные виды сельскохозяйственной продукции, реализуемой фермерами, был необычайно высок. Например, если принять фактические средние цены реализации фермерами пшеницы, ячменя и подсолнечника в 2005 году за 100%, то в среднем за 2006-2007 гг. они составили 210%.

Принципиально важным является вывод о том, что реализация в 2006-2007 гг. приоритетного национального проекта «Развитие АПК» позволила получить положительные сдвиги, прежде всего, за счет повышения эффективности использования ресурсов в слабых хозяйствах, о чем свидетельствует анализ коэффициента технического прогресса (сдвиг оболочки, образованной «эталонными» хозяйствами). Например, в соответствии с данными таблиц 1 и 2, за период до начала реализации национального проекта, передовые хозяйства опережали по эффективности общую совокупность хозяйств в среднем на 11% при использовании ресурсов и на 18% по выходу продукции. Кардинальные изменения произошли именно в 2006-2007гг., когда повышение эффективности в сравнении с 2002-2005гг. оказалось, соответственно, на 8,3 и 12,5 процента выше именно в малоэффективных хозяйствах. Следовательно, стратегические направления реализации приоритетного национального проекта «Развитие АПК» позволяли решать важнейшую социальную проблему, давая шанс повысить эффективность своей деятельности именно слабым хозяйствам, которые, к сожалению, в настоящее время преобладают в общей совокупности фермерских хозяйств.

Однако в 2008 году в связи с общим экономическим кризисом ситуация кардинально меняется. Индекс Малмквиста по ресурсным затратам опускается с 1,1005 (среднее за 2006-2007 гг.) до 0,929 или в 1,18 раза, а по валовой выручке с 1,153 (среднее за 2006-2007 гг.) до 0,979 или тоже в 1,18 раза.

Несмотря на то, что уровень государственной поддержки обследованных фермерских хозяйств в абсолютном измерении не изменился, но в условиях экономического кризиса этого оказалось явно недостаточно. Иными словами, эффективных адекватных антикризисных мер в отношении фермерских хозяйств в 2008 году применено не было. Возникшие проблемы решались за счет внутренних резервов самих фермерских хозяйств. Именно поэтому резко ухудшилась техническая эффективность именно слабых хозяйств, где этих резервов практически не было. В результате слабые хозяйства снизили показатели роста технической эффективности по ресурсным затратам с 1,092 (среднее за 2006-2007 гг.) до 0,909 или в 1,2 раза, а по валовой выручке с 1,1415 до 0,903 или в 1,26 раза. Следовательно, общее ухудшение показателей технической эффективности было предопределено именно слабыми хозяйствами.

К сожалению, положительный социальный эффект, накопленный в 2006-2007гг., когда шел опережающий рост показателей технической эффективности именно в слабых хозяйствах, в течение 2008 года был утрачен.

В 2009г. индекс Малмквиста по ресурсным затратам (в сравнении с 2008г) составил 1,097, а по валовой выручке - 1,098. Причем рост индекса в обеих моделях шел, в основном, за счет роста общей технической эффективности: она выросла на 8,7% и 8,4%, соответственно в моделях, ориентированных на минимум ресурсных затрат и максимум валовой выручки. А коэффициент технического прогресса увеличился только на 0,7 и 0,8%.

Объяснить увеличение индексов при том, что снизились и валовая выручка, и цены на сельскохозяйственную продукцию, можно только еще большим снижением ресурсных затрат. Так, в 2009 году в сравнении с 2008г выручка за реализованную сельскохозяйственную продукцию снизилась в 1,17 раза, а затраты, например, на приобретение запасных частей снизились в 1,4 раза, приобретение семян и удобрений - в 1,9 раза. И, в целом, если в 2008г на рубль средств, потраченных на привлечение таких ресурсов как топливно-смазочные материалы, запасные части, семена, удобрения и прочие материалы, оплата услуг сторонних организаций, было получено 1,13 руб. выручки, то в 2009г этот показатель составил 1,18 руб. То есть отдача ресурсных затрат возросла, хоть и незначительно. Это, безусловно, говорит о положительных сдвигах, произошедших за период 2008-2009гг.

В 2010 году значение индекса Малмквиста в модели, ориентированной на минимизацию затрат, составило 1,049, а в модели, ориентированной на максимизацию валовой выручки, - 0,955. То есть для получения той же валовой выручки, что и в предыдущем году, было использовано меньшее количество ресурсов. Но в то же время при использовании того же количества ресурсов, что и в 2009г., была получена меньшая выручка. Действительно, в 2010году выручка за реализованную сельскохозяйственную продукцию возросла на 16,8%. Это, естественно, следствие повышения в 2,7…3,1 раза цен на продукцию, так как вследствие засухи объем реализованной продукции в физическом весе снизился в 2,9 раза. Материальные расходы, связанные с приобретение топливно-смазочных материалов, запасных частей, семян, удобрений и прочих материалов, оплатой услуг сторонних организаций, выросли только на 10,8%, а площадь пашни снизилась на 5%.

В 2011 году значения индексов Малмквиста в обеих моделях возросли, и причем возросли существенно. Так, значение индекса по ресурсным затратам (в сравнении с 2010г) составило 1,191.

И такой высокий индекс обеспечен увеличением общего коэффициента технической эффективности, а коэффициент технического прогресса практически не изменился. Действительно, затраты на привлечение таких ресурсов как топливно-смазочные материалы, запасные части, семена, удобрения и прочие материалы, отнесенные на один рубль выручки, снизились с 0,8 руб. в 2010 году до 0,64 руб. в 2011г. Обусловлено это и увеличением урожайности в 1,7…2,8 раза по сравнению с 2010 засушливым годом, и увеличением объема приобретаемого дизельного топлива по льготным ценам (в 2011 году 51,2% приобретенного топлива было куплено по льготной цене, в 2010 году – только 27,3%).

Индекс Малмквиста в модели, ориентированной на максимизацию валовой выручки, составил в 2011 году 1,485 – это максимальное значение за весь анализируемый период. Отдача указанных выше ресурсов (выручка на рубль затрат) увеличилась в 1,24 раза (с 1,26 руб. до 1,56 руб.).

В 2012 году значение индекса Малмквиста по ресурсным затратам снизилось и составило только 0,979, обусловлено это снижением общего коэффициента технической эффективности, то есть фермеры в 2012г затратили большее количество ресурсов на получение продукта. Действительно, затраты на привлечение таких ресурсов как топливно-смазочные материалы, запасные части, семена, удобрения и прочие материалы, отнесенные на рубль выручки, возросли с 0,64 руб. в 2011г до 0,74 руб. в 2012г. Индекс Малмквиста по выходу продукции составил 1,096.

В 2013 году индексы Малмквиста по обеим моделям возросли, но рост несущественный: по ресурсным затратам индекс составил 1,051, а по выходу продукции – 1,033.

Выводы.

Полученные результаты указывают на необходимость разработки дифференцированных подходов, направленных на повышение эффективности использования производственных ресурсов в различных группах фермерских хозяйств, отличающихся между собой не только наличием основных ресурсов производства, но и эффективностью их использования. Оценка динамики технической эффективности использования производственных ресурсов позволяет объективно оценивать эффективность мер государственной поддержки фермерского сектора аграрной экономики страны, разрабатывать обоснованные прогнозы потенциала повышения эффективности деятельности фермерских хозяйств.

Список литературы

1. Farrel J. Michael. 1957: The measurement of Productive efficiency. Journal of the Royal Statistical Society. Series A, General 125 Part 2: 252-267.

2. Тиллак П., Эпштейн Д. Техническая эффективность сельскохозяйственных предприятий Ленинградской области. // Международный сельскохозяйственный журнал.- 2003. - №4.- С.33-46.

3. Russia’s Agriculture in Transition / Zvi Lerman, David Epshtein, Uzun V. et al - Maryland, 2008. – 387P.

4. Сазонова Д.Д. Результаты деятельности крестьянских (фермерских) хозяйств // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. -2001. -№ 5. – с. 44-46.

5. Сазонова Д.Д., Сазонов С.Н. Результаты мониторинга фермерских хозяйств – Тамбов: НЭАЦентр КФХ, 2005. – с.114

6. Sazonov S., Sazonova D. Development of peasant farms in central Russia // Comparative Economic Studies. – 2005. – Т.47. - №. 1. – Pp. 101-114.

7. Сазонова Д.Д. Ретроспективный экономический анализ деятельности фермерских хозяйств – М.:МОНФ, 2007. – 147 с.

8. Сазонова Д.Д., Сазонов С.Н. О соразмерности социальных платежей и результатов деятельности фермерских хозяйств//Человек и труд.-2013.-№7.-с.34-39

9. Сазонова Д.Д., Сазонов С.Н. Аллокативная эффективность использования производственных ресурсов в фермерских хозяйствах//Экономика: вчера, сегодня, завтра. -2013.-№3-4. -с.33- 54

10. Сазонов С.Н., Остриков В.В., Сазонова Д.Д. Доступность и повышение эффективности использования нефтепродуктов в фермерских хозяйствах // Вестник ЧГАА. – 2014.- №68. – с.76-83

11. Сазонова Д. Д., Сазонов С.Н. Влияние приоритетного национального проекта «Развитие АПК» на результаты деятельности фермерских хозяйств – Тамбов: НЭАЦентр КФХ, 2008. – 130 с.

12. Сазонов С.Н., Сазонова Д.Д., Попова О.Н. Обеспечение нефтепродуктами фермерских хозяйств //Наука в центральной России. -2013. -№1. -С.44-50

13. Сазонов С.Н., Сазонова Д.Д. Динамика землепользования и оснащения техникой фермерских хозяйств //Достижения науки и техники АПК. -2004. -№ 7. -С. 38-40.

14. Сазонов С.Н., Остриков В.В. Эффективность использования нефтепродуктов в фермерских хозяйствах//Сельский механизатор. -2012. -№10. -С.32-33.

15. Сазонов С.Н., Сазонова Д.Д. Динамика технического оснащения фермерских хозяйств // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. -2014. -№4. -С. 82-88

16. Кузьмин В.Н. и др. Справочник фермера – М., 2013. – 616 с.

17. Никитин А.В. и др. Учет и налогообложение в фермерских хозяйствах –Мичуринск, 2013. -54 с.

18. Сазонов С.Н., Сазонова Д.Д. Оценка технической эффективности фермерских хозяйств//Вестник ЧГАА. -2014. -Т. 69. -с. 117-125

19. Сазонова Д.Д., Сазонов С.Н. Аллокативная и техническая эффективности фермерских хозяйств. - М.:МОНФ, 2010. – 159с.

20. Сазонов С.Н., Сазонова Д.Д. Техническая эффективность использования производственных ресурсов в фермерских // Техника в сельском хозяйстве. – 2012. - №6. – с.25-27

21. Сазонова Д.Д., Сазонова Д.Д. Оценка технической эффективности использования производственных ресурсов в фермерских хозяйствах // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2012. - №3-4. – с.108-128

22. Сазонова Д.Д., Сазонов С.Н. Оценка эффективности использования производственно-технических ресурсов в фермерских хозяйствах // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. -2014. - №1. – с.96-103

23. Сазонов С.Н., Сазонова Д.Д. Техническая эффективность фермерских хозяйств // Наука и образование для устойчивого развития экономики, природы и общества – Тамбов, 2013, - с.115-123

References

1. Farrel J. Michael. 1957: The measurement of Productive efficiency. Journal of the Royal Statistical Society. Series A, General 125 Part 2: 252-267.

2. Tillak P., Jepshtejn D. Tehnicheskaja jeffektivnost` sel`skohozjajstvennyh predprijatij Leningradskoj oblasti. // Mezhdunarodnyj sel`skohozjajstvennyj zhurnal.- 2003. - №4.- S.33-46.

3. Russia's Agriculture in Transition / Zvi Lerman, David Epshtein, Uzun V. et al - Maryland, 2008. - 387P.

4. Sazonova D.D. Rezul`taty dejatel`nosti krest`janskih (fermerskih) hozjajstv // Jekonomika sel`skohozjajstvennyh i pererabatyvajushhih predprijatij. -2001. -№ 5. - s. 44-46.

5. Sazonova D.D., Sazonov S.N. Rezul`taty monitoringa fermerskih hozjajstv - Tambov: NJeACentr KFH, 2005. - s.114

6. Sazonov S., Sazonova D. Development of peasant farms in central Russia // Comparative Economic Studies. - 2005. - T.47. - №. 1. - Pp. 101-114.

7. Sazonova D.D. Retrospektivnyj jekonomicheskij analiz dejatel`nosti fermerskih hozjajstv - M.:MONF, 2007. - 147 s.

8. Sazonova D.D., Sazonov S.N. O sorazmernosti social`nyh platezhej i rezul`tatov dejatel`nosti fermerskih hozjajstv//Chelovek i trud.-2013.-№7.-s.34-39

9. Sazonova D.D., Sazonov S.N. Allokativnaja jeffektivnost` ispol`zovanija proizvodstvennyh resursov v fermerskih hozjajstvah//Jekonomika: vchera, segodnja, zavtra. -2013.-№3-4. -s.33- 54

10. Sazonov S.N., Ostrikov V.V., Sazonova D.D. Dostupnost` i povyshenie jeffektivnosti ispol`zovanija nefteproduktov v fermerskih hozjajstvah // Vestnik ChGAA. - 2014.- №68. - s.76-83

11. Sazonova D. D., Sazonov S.N. Vlijanie prioritetnogo nacional`nogo proekta «Razvitie APK» na rezul`taty dejatel`nosti fermerskih hozjajstv - Tambov: NJeACentr KFH, 2008. - 130 s.

12. Sazonov S.N., Sazonova D.D., Popova O.N. Obespechenie nefteproduktami fermerskih hozjajstv //Nauka v central`noj Rossii. -2013. -№1. -S.44-50

13. Sazonov S.N., Sazonova D.D. Dinamika zemlepol`zovanija i osnashhenija tehnikoj fermerskih hozjajstv //Dostizhenija nauki i tehniki APK. -2004. -№ 7. -S. 38-40.

14. Sazonov S.N., Ostrikov V.V. Jeffektivnost` ispol`zovanija nefteproduktov v fermerskih hozjajstvah//Sel`skij mehanizator. -2012. -№10. -S.32-33.

15. Sazonov S.N., Sazonova D.D. Dinamika tehnicheskogo osnashhenija fermerskih hozjajstv // Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. -2014. -№4. -S. 82-88

16. Kuz`min V.N. i dr. Spravochnik fermera - M., 2013. - 616 s.

17. Nikitin A.V. i dr. Uchet i nalogooblozhenie v fermerskih hozjajstvah -Michurinsk, 2013. -54 s.

18. Sazonov S.N., Sazonova D.D. Ocenka tehnicheskoj jeffektivnosti fermerskih hozjajstv//Vestnik ChGAA. -2014. -T. 69. -s. 117-125

19. Sazonova D.D., Sazonov S.N. Allokativnaja i tehnicheskaja jeffektivnosti fermerskih hozjajstv. - M.:MONF, 2010. - 159s.

20. Sazonov S.N., Sazonova D.D. Tehnicheskaja jeffektivnost` ispol`zovanija proizvodstvennyh resursov v fermerskih // Tehnika v sel`skom hozjajstve. - 2012. - №6. - s.25-27

21. Sazonova D.D., Sazonova D.D. Ocenka tehnicheskoj jeffektivnosti ispol`zovanija proizvodstvennyh resursov v fermerskih hozjajstvah // Jekonomika: vchera, segodnja, zavtra. - 2012. - №3-4. - s.108-128

22. Sazonova D.D., Sazonov S.N. Ocenka jeffektivnosti ispol`zovanija proizvodstvenno-tehnicheskih resursov v fermerskih hozjajstvah // Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. -2014. - №1. - s.96-103

23. Sazonov S.N., Sazonova D.D. Tehnicheskaja jeffektivnost` fermerskih hozjajstv // Nauka i obrazovanie dlja ustojchivogo razvitija jekonomiki, prirody i obshhestva - Tambov, 2013, - s.115-123

УДК 631.303

ТИШАНИНОВ Н.П., АНАШКИН А.В.

СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ ОПЕРЕЖЕНИЕМ ПОДАЧИ ЗЕРНОСМЕСИ В ТРИЕРНЫЕ БЛОКИ

Тишанинов Николай Петрович
доктор технических наук, профессор, руководитель отдела, ФГБНУ «Всероссийский

научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» г. Тамбов, e-mail: TishaninovKN@ rambler.ru

Анашкин Александр Витальевич

кандидат технических наук, заведующий лабораторией, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» г. Тамбов, e-mail: TishaninovKN@ rambler.ru

Реферат. *Цель исследований состояла в анализе области применения и сравнительной оценки различных средств управления опережением подачи зерносмеси в овсюжные цилиндры триерных блоков. Исследования и испытания триерных блоков в составе зерноочистительных агрегатов проводились по принципу «черного ящика» при отсутствии средств управления массовыми потоками и составом рабочей среды. В этих условиях исключалась возможность выявить динамику выделения примесных компонентов и зерновок основной культуры по длине ячеистой поверхности для обоснования резервов повышения качества технологического процесса. Выполненный нами анализ процесса разделения зерносмесей по размерному признаку и экспериментальные исследования с использованием специально разработанного стендового оборудования позволили установить, что повышенная подача зерносмеси в триерной блок относительно оптимальной приводит к необратимым потерям зерна основной культуры и неполному выделению коротких примесей в кукольном цилиндре, а недостаточная подача зерносмеси - не обеспечивает качественное выделение длинных примесей в овсюжном цилиндре. Процесс выделения зерновок основной культуры при недостаточной подаче обеспечивается частью длины ячеистой поверхности триерного цилиндра, а остальная часть ячеистой поверхности захватывает длинные примеси и выбрасывает их в выводной лоток, засоряя уже очищенный семенной материал. Устранение этого недостатка возможно при исключении из рабочего процесса части длины рабочей поверхности ячеистого цилиндра средствами опережения подачи зерносмеси в триерной блок. В статье представлены результаты исследований фактического уровня использования зерноочистительных агрегатов в производственных условиях, дана обобщающая оценка показателей качества партий зерна, поступающих на подработку, приведены результаты исследований качества процесса по основным показателям до и после подработки на зерноочистительных агрегатах, приведена оценка области применения средств управления опережением подачи зерносмеси в триерные блоки и их конструктивно-технологические решения.*

Ключевые слова: *зерноочистительный агрегат, триерный блок, ячеистый цилиндр, зерносмесь, показатели качества, засоренность, примесь.*

TISHANINOV N.P., ANASHKIN A.V.

CONTROLS FLOW AHEAD GRAIN MIXTURE IN INDENTED BLOCKS

Tishaninov, N. P.,

Doctor of Engineering, professor, the head of department, Federal State Budget Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Tambov, Russian Federation,
e-mail: TishaninovKN@ rambler.ru

Anashkin, A. V.,

Candidate of Technical Sciences, the head of the laboratory, Federal State Budget Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Tambov, Russian Federation,
e-mail: TishaninovKN@ rambler.ru

Summary. *The aim of research was to analyze the sphere of application and comparative assessment of different management tools ahead of filing of grain mixture in the cylinders, separating large impurities in indented blocks. Research and testing of indented blocks in the composition grain cleaning units were conducted according to the principle "black box" in the absence of control means of mass flows and the composition of the working environment. The ability to identify the dynamics of allocation of impurity components and the main crop grains along the length of the mesh surface to substantiate reserves of improvement of quality of the technological process was excluded in these conditions. Our analysis of the process of separation of grain mixes on the length basis and experimental studies using a specially designed stand equipment are allowed to establish that the increased relative to optimum supply of grain mixture in the indented block leads to grain loss of primary culture and to incomplete separation of shot impurities in the puppet cylinder and insufficient supply of grain mixture - do not provide a qualitative selection of impurities in the long ovsyuzhny cylinder. The process of allocating grains of the main crop in case of insufficient supply is provided of the length of the mesh surface indented cylinder, and the rest of the mesh surface are captured long impurities and throws them into the output tray, clogging up already purified seed material. To overcome this disadvantage is possible with the exclusion of the working process of the length portion of the working surface of the mesh cylinder by means for ahead of the curve filing of grain mixture in the indented block.*

The results of studies of the actual level of use of grain cleaning machines in a production environment are presented in the article, the summative evaluations of quality indicators of grain shipments incoming for processing are given, results of the research quality of the process on the basic parameters before and after treatment at grain cleaning units is given, evaluation of the application of controls ahead of filing grain mixture in indented blocks and their design and technological solutions is given.

Keywords: *grain cleaning machine, indented block, mesh cylinder, grain mixture, quality indicators, clogging, impurity.*

Введение. Существующие зерноочистительные агрегаты используются на крайне низком уровне [1 - 4]. При их использовании до 30% полноценного зерна уходит в фураж и отходы. Загрузка зерноочистительных агрегатов по производительности составляет 30…70 % от номинальной. Около 92 % зерноочистительных агрегатов эксплуатируются в течении 19…41 года, 58 % из них составляют агрегаты ЗАВ-20 с предельным износом. В 74 % технологий сохранены триерные блоки. Из них используются по назначению только 7%. Основная причина низкого уровня использования техники заключается в отсутствии средств управления технологическими процессами [6 - 8]. Специфика использования триерных блоков заключается в том, что без средств управления массовыми потоками они не могут обеспечить качество технологического процесса [9 - 11]. Поэтому создание средств управления опережением подачи зерносмеси в триерные блоки представляют собой актуальную задачу, позволяющую оптимизировать загрузку ячеистой поверхности триерных цилиндров при существенной вариации загрузки зерноочистительного агрегата в целом.

Цель исследования – обосновать области применения средств управления опережением подачи зерносмесей в триерные блоки и дать их сравнительную оценку.

Материалы и методы. Результаты исследований фактического уровня использования зерноочистительных агрегатов в производственных условиях, результаты исследований качества партий зерна, поступающих на подработку, результаты оценки фактического уровня качества технологического процесса подработки зерна, статистические методы обработки результатов исследований.

Результаты и обсуждение. Необходимость использования средств управления массовыми

потоками зерна в составе зерноочистительных технологий определяется не только спецификой протекания процессов очистки, но и существенной вариацией свойств партий зерна, поступающих на подработку. Их свойства по важнейшим показателям качества варьируют в широких пределах: влажность – 15 - 30 %; содержание сорных примесей – 2,7 - 40 %; содержание дробленого зерна – 7…25 %.

Без использования средств управления массовыми потоками зерна не удается получить качественное товарное зерно и семенной материал, таблица 1.

Таблица 1 - Изменение качества зерна до и после обработки

Марка агрегата	Показатели качества зерна, до/после			
	Влажность, %	Сорная примесь, %	Зерновая примесь, %	Натура, г/ч
ЗАВ – 20	18,9/18,7	4,03/1,9	8,65/5,3	696/720
ЗАВ – 25	18,5/16,0	4,26/2,01	7,28/3,04	748/766
ЗАВ – 40	17,5/16,1	2,83/1,33	9,78/4,63	702/717

При незначительном улучшении основных показателей качества зерна при обработке на агрегатах типа ЗАВ (таблица 1) исходный материал подвергается воздействию 4 - 6 транспортеров и 2 - 3 сепараторов. Зерно проходит суммарный путь по зернопроводам от 8 до 25м с 11 - 26 изменениями направления движения. На КЗС зерновой материал проходит по зернопроводам до 60 м, претерпевая до 80 изменений направлений потока.

С увеличением производительности агрегатов и комплексов травмирование зерна возрастает в прямо пропорциональной зависимости и доходит до 12 % за один пропуск, что снижает жизнеспособность зерна и соответственно, его хлебопекарные качества и посевную годность семенного материала [12].

Многообразие условий производства и особенностей технологического процесса определяют вариативность средств его управления. Для перерабатывающих линий, не имеющих жестких объемно-планировочных ограничений, нами разработан питатель триеров [13], рисунки 1…3.

Питатель триеров содержит кожух 1 с выпускной щелью 2, подвешенный на гибких тягах 3, соединенный с эксцентриковым виброприводом 4 тягой 5, шибер 6 с рукояткой 7, перемещаемый в направляющих 8.

Работает питатель для триеров следующим образом. Перед началом процесса разделения зерносмеси включают эксцентриковый вибропривод 4, который посредством тяги 5 приводит в колебательное движение кожух 1. Затем в кожух 1 подают зерносмесь, которая под действием колебательных движений при наличии угла наклона кожуха 1 к горизонту (α) начинает перемещаться к выпускной щели 2 и ссыпаться в триерный цилиндр 9. При уменьшении подачи зерносмеси в кожух 1 рукояткой 7 смещают шибер 6 по направляющим 8 вправо (рисунок 1). Это позволяет увеличить величину перемещения зерносмеси по кожуху 1 – сократить фронт загрузки триерного цилиндра 9. Величину перемещения шибера 6 выбирают такой, чтобы для заданной подачи зерносмеси наблюдался допустимый сход зерна основной культуры из триерного цилиндра 9. При этом в триерном цилиндре 9 будет отсутствовать свободный участок рабочей поверхности, что исключит возможность захвата ячеями связных примесных частиц и их попадание в очищенное зерно. Использование эксцентрикового вибропривода исключает активное воздействие рабочих органов при перемещении зерносмеси в триер, что снижает травмирование зерна в сравнении с прототипом.

Предложенный питатель триеров (рисунки 1…3) сложно использовать в составе технологических комплексов типа ЗАВ, КЗС по условиям компоновки. Задача управления опережением подачи зерносмеси в триер может быть решена за счет гибких вставок внутрь цилиндров.

Этот вариант управления (исключение части рабочей поверхности ячеистого цилиндра из процесса) обеспечивает упрощение конструкции триера и не создает дополнительные трудности в компоновке технологических линий в сравнении с вариантами использования специальных питателей.

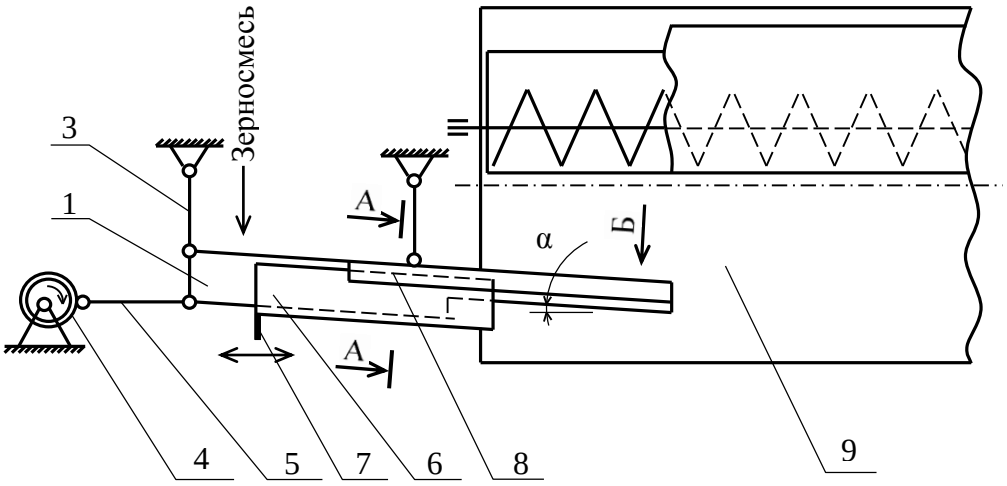


Рисунок 1 – Общий вид питателя для триеров

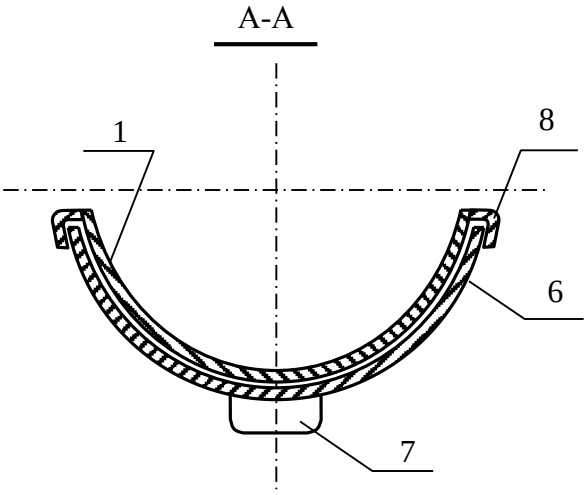


Рисунок 2 – Разрез А - А на рисунке 1

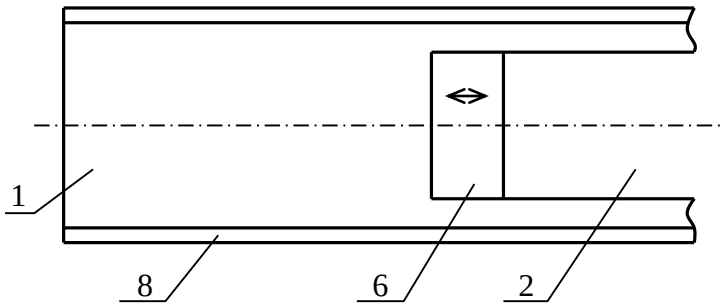


Рисунок 3 – Вид Б на рисунке 1

Триер (рисунки 4…6) содержит питатель 1, ячеистый цилиндр 2 с продольным пазом 3, к кромке 4 которого прикреплена планка 5 с ответными прорезями 6 для пружинных фиксаторов 7, опорную обечайку 8, сменную упругую вставку 9 с направляющим отгибом 10 и присоединительным отгибом 11 с прорезями 12, желоб 13 с выводным шнеком 14, заглушку 15, лоток 16 для отвода чистого зерна, лоток 17 для отвода длинных примесей, приводные ролики 18 с валом 19, опорные ролики 20, привод 21, раму 22, цепной контур 23.

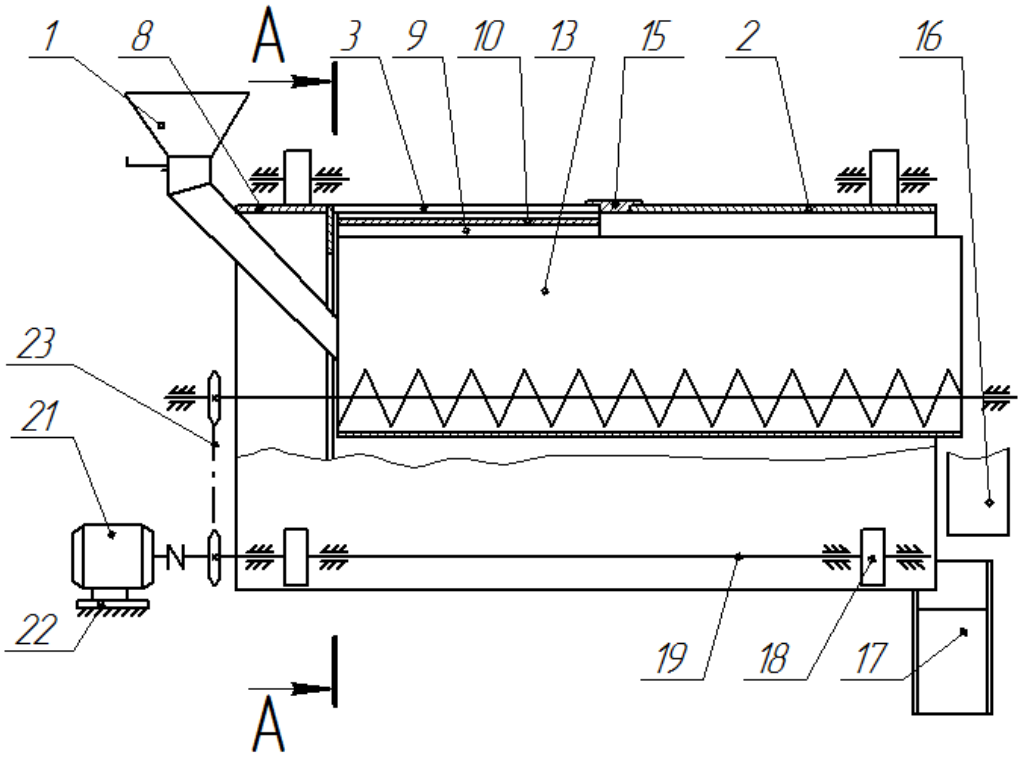


Рисунок 4 – Общий вид триера со сменными вставками

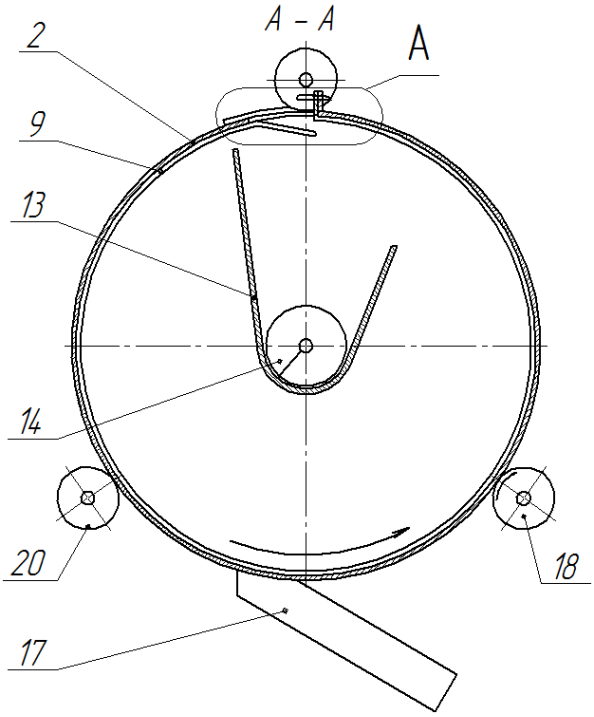


Рисунок 5 – Разрез А – А на рисунке 4

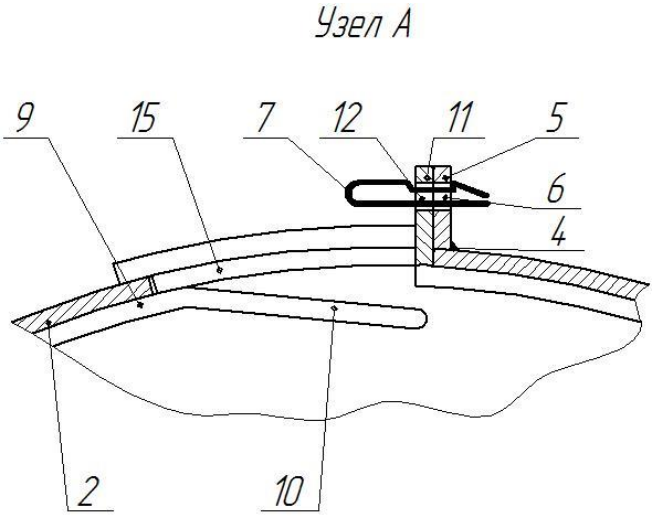


Рисунок 6 – Узел А на рисунке 5

Триер работает следующим образом.

Перед началом работы триера для заданной величины подачи зерносмеси питателем 1 в ячеистый цилиндр 2 выбирают сменную упругую вставку 9 соответствующего размера и заглушку 15. Сменную упругую вставку 9 вставляют в продольный паз 3 ячеистого цилиндра 2 направляющим отгибом 10 вперед и постепенно проталкивают в него до упора присоединительного отгиба 11 в планку 5, прикрепленную к кромке 4 паза 3. В совмещенные прорези 6 и 12 вставляют пружинные фиксаторы 7. Оставшуюся длину паза 3 закрывают заглушкой 15, которая также фиксируется на планке 5. Затем включают привод 21, установленный на раме 22, который посредством приводных роликов 18, размещенных на валу 19 и ценного контура 23 приводит во вращательное движение ячеистый цилиндр 2 и выводной шнек 14. Далее питателем 1 направляют зерносмесь в ячеистый цилиндр 2 на сменную упругую вставку 9. Зерносмесь под действием статического и динамического давления перемещается в осевом направлении по сменной упругой вставке 9 без подъема частиц зерносмеси и сходит с нее. Затем ячеистый цилиндр 2 захватывает зерновки основной культуры и выбрасывает их в желоб 13 с выводным шнеком 14, который направляет их в лоток 16 для отвода чистого зерна, а длинные примеси сходом выводятся из ячеистого цилиндра 2 и попадают в лоток 17 для отвода длинных примесей. Процесс выделения зерновок основной культуры завершается в конце ячеистого цилиндра 2 при обоснованном выборе размера сменной упругой вставки 9, что предотвращает потери полноценного зерна и возможное попадание длинных примесей в желоб 13 с чистым зерном. Решение задачи управления процессом очистки зерносмесей от длинных примесей на малых подачах использованием сменных упругих вставок 9 не требует специальных питателей, что упрощает конструкцию триеров и не создает дополнительные трудности в компоновке триера с другими зерноочистительными машинами. Направляющий отгиб 10 исключает заедание сменной упругой вставки 9 при ее проталкивании в ячеистый цилиндр 2. Присоединительный отгиб 11 с прорезями 12 обеспечивает снижение оперативной трудоемкости фиксации сменной упругой вставки 9 на планке 5 ячеистого цилиндра 2 посредством пружинных фиксаторов 7. Заглушка 15 исключают выброс частиц зерносмеси через свободную часть паза 3 в процессе ее очистки. Опорная обечайка 8 позволяет вплотную к входному торцу ячеистого цилиндра 2 размещать сменную упругую вставку 9 с присоединительным отгибом 11, исключая его контакт с опорными и приводными роликами 20 и 21.

Предложенный триер с гибкими вставками обеспечивает компактность решения, но требует существенных конструктивных изменений базового варианта триерного блока. Возможность со-

кращения длины ячеистой поверхности овсюжного цилиндра может быть обеспечена блокированием доступа выделенных из сегмента зерновок основной культуры в отводящий лоток за счет сменных крышек.

Сменные крышки лотка перекрывают определенную его часть, когда выделенные ячеями частицы, скатываясь по крышке, вновь возвращаются в зерносмесь. То есть обеспечивается тот же эффект исключения из рабочего процесса части дины ячеистой поверхности. Длину крышки можно заказывать под конкретную технологию с частичной подачей зерносмеси в ячеистый цилиндр. При этом обеспечивается упрощение конструкции в сравнении с предыдущим техническим решением.

Триер (рисунки 7 и 8) содержит ячеистый цилиндр 1, желоб 2, выводной шнек 3, приводные 4 и опорные 5 ролики, привод 6, раму 7, сменную крышку 8, продольную планку 9, фиксатор 10, вертикальные стенки 11, питатель 12.

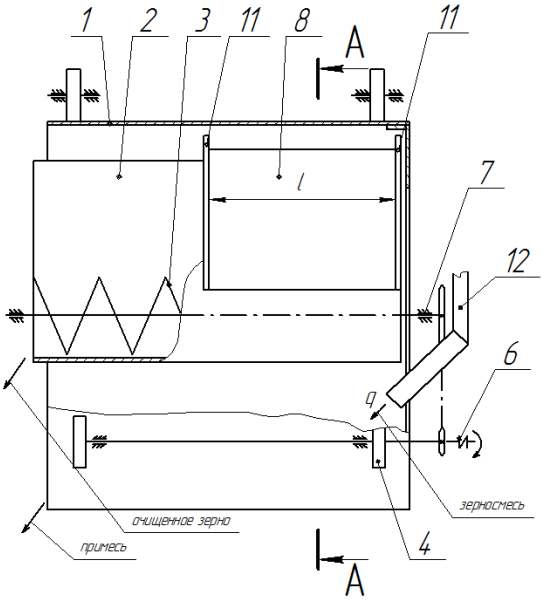


Рисунок 7 – Общий вид триера со сменной крышкой лотка

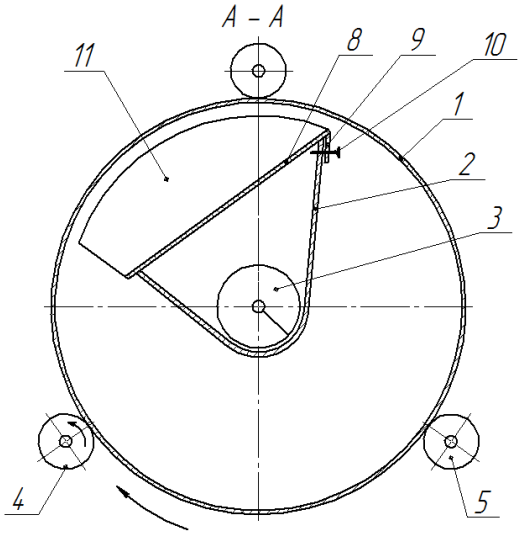


Рисунок 8 – Разрез А – А на рисунке 7

Триер работает следующим образом.

Перед началом работы триера для заданной величины (q) подачи зерносмеси в ячеистый цилиндр 1 устанавливают сменную крышку 8 так, что продольная планка 9 охватывает желоб 2 с выводным шнеком 3 с внешней стороны и фиксируют ее фиксатором 10. Затем включают привод

6 и питатель 12, ячеистый цилиндр 1, установленный на приводных 4 и опорных роликах 5, приводится во вращательное движение. При этом он захватывает зерновки основной культуры и на рабочей длине, равной длине (*l*) сменной крышки 8, направляет зерновки на нее. Зерновки основной культуры скатываются по сменной крышки 8 и вновь опускаются на рабочую поверхность ячеистого цилиндра 1. Таким образом, на начальном участке (*l*) поверхности ячеистого цилиндра 1 предотвращается процесс выделения из зерносмеси зерновок основной культуры. При дальнейшем перемещении зерносмеси в осевом направлении ячеистого цилиндра 1 зерновки основной культуры захватываются его ячейками и направляются в желоб 2, из которого они отводятся выводным шнеком 3, а длинные примеси сходом удаляются из ячеистого цилиндра. Вертикальные стенки 11 предотвращают вынос зерновок основной культуры на участке длинной (*l*) из ячеистого цилиндра 1 и в желоб 2. Продольная планка 9 исключает скольжение сменной крышки 8 в поперечном направлении. Фиксатор 10 предотвращает осевое смещение сменной крышки 8 от вибрации и в случае наклона ячеистого цилиндра 1 под некоторым углом к горизонту. Использование сменной крышки 8 обеспечивает расширение диапазона управления и не препятствует использованию триера в составе технологических линий подработки зерна.

Выводы. Использование средств управления опережением подачи зерносмеси в триерный блок позволяет повысить качество технологического процесса на частичных загрузках. При этом, исключение части рабочей поверхности овсюжного цилиндра предотвращает засорение семенного материала в нем сходом длинных примесей, а частичная загрузка кукольного цилиндра, работающего в последовательной технологической цепи, улучшает условия выделения коротких частиц за счет уменьшения толщины сегмента и увеличения кратности выделения примеси из него. Изложенные выше направления модернизации триерных блоков позволяет вернуть в эксплуатацию значительную долю существующих зерноочистительных агрегатов и эффективно эксплуатировать их.

Список литературы

1. Дринча В.М. Проблемы и перспективы использования агрегатов ЗАВ и КЗС / В.М. Дринча, В.С. Стягов // Тракторы и с.-х. машины. – 2002. – № 3. – С. 31…33.

2. Авдеев А.В. Современный технический уровень машин для послеуборочной обработки зерна // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2002. – № 6. – С. 20…22.

3. Тишанинов Н.П. Вариантный метод оценки эффективности использования технологий подработки зерна / Н.П. Тишанинов, В.А. Ветров, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2013. – № 1. – С. 24…30.

4. Стрикунов Н.И. Эффективность послеуборочной обработки семян на модернизированном агрегате / Н.И. Стрикунов, С.В. Леканов, И.Н. Стрикунов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2008. – № 5 (43). – С. 53…56.

5. Тишанинов Н.П. Модернизация технологий подработки зерна на базе средств управления массовыми потоками / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2014. – №2(8). – С. 35…41.

6. Тишанинов Н.П. Обоснование конструктивно-технологической схемы делителя потока сыпучих материалов с изменяемым соотношением расходов отводимых потоков / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.А. Растюшевский // Наука в центральной России. – 2013. – № 6. – С. 15…21.

7. Тишанинов Н.П. Классификация и анализ перспектив создания делителей потока сыпучих материалов / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2013. – № 5. – С. 75…83.

8. Тишанинов Н.П. Новые делители потока сыпучих материалов / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.Н. Тишанинов // Наука в центральной России. – 2013. – № 1. – С. 30…36.

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

10. Тишанинов Н.П. Теоретические предпосылки поиска резервов управления процессами триерной очистки зерносмесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2014. – № 6. – С. 28…38.

11. 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.

12. Тарасенко А.П. Пути реконструкции и совершенствования зерноочистительных агрегатов // Тракторы и с.-х. машины. – 2001. – № 4. – С. 34.

13. Патент на Полезную модель № 138333 Питатель для триеров. / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // опубл. 10.03.2014 г. Бюл. №7.

References

1. Drincha V.M. Problemih i perspektivih ispoljzovaniya agregatov ZAV i KZS / V.M. Drincha, V.S. Styagov // Traktorih i s.-kh. mashinih. – 2002. – № 3. – S. 31 - 33.

2. Avdeev A.V. Sovremennihyj tekhnicheskiyj urovenj mashin dlya posleubo-rochnoyj obrabotki zerna // Mekhanizaciya i ehlektrifikaciya seljskogo khozyayjstva. – 2002. – № 6. – S. 20 - 22.

3. Tishaninov N.P. Variantnihyj metod ocenki ehffektivnosti ispoljzo-vaniya tekhnologiyj podrabotki zerna / N.P. Tishaninov, V.A. Vetrov, A.V. Anash-kin // Nauka v centraljnoyj Rossii. – 2013. – № 1. – S. 24 - 30.

4. Strikunov N.I. Ehffektivnostj posleuborochnoyj obrabotki semyan na modernizirovannom agregate / N.I. Strikunov, S.V. Lekanov, I.N. Strikunov // Vestnik Altayjskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2008. – № 5 (43). – S. 53 - 56.

5. Tishaninov N.P. Modernizaciya tekhnologiyj podrabotki zerna na baze sredstv upravleniya massovihmi potokami / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin // Nauka v centraljnoyj Rossii. – 2014. – №2(8). – S. 35 - 41.

6. Tishaninov N.P. Obosnovanie konstruktivno-tekhnologicheskoyj skhemih delitelya potoka sihpuchikh materialov s izmenyaemihm sootnosheniem raskhodov otvodimihkh potokov / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, K.A. Rastyushevskiyj // Nauka v centraljnoyj Rossii. – 2013. – № 6. – S. 15 - 21.

7. Tishaninov N.P. Klassifikaciya i analiz perspektiv sozdaniya delite-leyj potoka sihpuchikh materialov / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin // Nauka v centraljnoyj Rossii. – 2013. – № 5. – S. 75 - 83.

8. Tishaninov N.P. Novihe deliteli potoka sihpuchikh materialov / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, K.N. Tishaninov // Nauka v centraljnoyj Rossii. – 2013. – № 1. – S. 30 - 36.

9. Tishaninov N.P. Rezuljtatih issledovaniyj processa triernoyj separa-cii zernosmeseyj / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin // Nauka v centraljnoyj Ros-sii. – 2013. – № 6. – S. 37 - 45.

10. Tishaninov N.P. Teoreticheskie predposihlki poiska rezervov uprav-leniya processami triernoyj ochistki zernosmeseyj / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin // Nauka v centraljnoyj Rossii. – 2014. – № 6. – S. 28- 38.

11. Tishaninov N.P. Obosnovanie parametrov stenda dlya issledovaniya yacheistihkh poverkhnosteyj / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, K.A. Rastyushevskiyj // Tekhnika v seljskom khozyayjstve. – 2013. – № 2. – S. 18 - 21.

12. Tarasenko A.P. Puti rekonstrukcii i sovershenstvovaniya zernoochi-stiteljnihkh agregatov //

Traktorih i s.-kh. mashinih. – 2001. – № 4. – S. 34.

13. Patent na Poleznuyu modelj № 138333 Pitatelj dlya trierov. / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin // opubl. 10.03.2014 g. Byul. №7.

УДК 620.193.26

ОСЕТРОВ А.Ю., ЗАРАПИНА И.В., КУЗНЕЦОВА Е.Г.

ВЛИЯНИЕ СЕРНИСТОГО ГАЗА НА СКОРОСТЬ АТМОСФЕРНОЙ КОРРОЗИИ СТАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Осетров Александр Юрьевич,
кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия и химические технологии» ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов; e-mail: ksanset@list.ru

Зарапина Ирина Вячеславовна,
кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия и химические технологии» ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов; e-mail: irina-zarapina@mail.ru

Кузнецова Екатерина Геннадиевна,
кандидат химических наук, старший научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов, e-mail: vitin-10@mail.ru

Реферат. *Сернистый газ широко применяется в сельском хозяйстве, поэтому проблема защиты стальных конструкций, имеющих контакт с воздухом, его содержащим, является весьма актуальной. Целью настоящей работы является изучение раздельного влияния изменения pH коррозионной среды и присутствия серосодержащих соединений на скорость коррозии металлоизделий. Исследования проведены на углеродистой стали Ст3. Для поляризационных измерений использован электрод, покрытый отработанным моторным маслом (ММО) или ММО, осветленным карбамидом, содержащим 10 мас. % ИФХАН-29А. Вспомогательный электрод – гладкая платина, сравнения – насыщенный водный хлорсеребряный. Рабочий раствор – 0,5 М NaCl, подкисленный HCl до заданной величины pH. Исходная концентрация сернистого газа в жидкой фазе – 5 об. %. Поляризационные измерения проведены в потенциостатическом режиме. В отсутствии диоксида серы в газовой фазе ток коррозии при переходе от среды с pH = 4 к раствору с pH = 2 возрастает в 4,7 раза, в то время как введение оксида серы при pH = 4 увеличивает ток коррозии в 14,3 раза. Одновременно, в сернистогазосодержащей среде подобный переход в том же интервале pH ведет к повышению тока коррозии только в 3,7 раза. Кинетика катодной реакции на стали при нанесении масляного покрытия качественно не отличается от наблюдаемой на незащищенном металле. Чтобы выяснить, насколько общий характер носит влияние сернистого газа на скорость коррозии стали в присутствии масляной защитной пленки, использовано покрытие на базе осветленного моторного масла, ингибированного 10 масс. % ИФХАН-29А, при этом присадка одновременно выступает и в роли загустителя. Введение диоксида серы в газовую фазу приводит к повышению кислотности среды и скорости коррозии углеродистой стали, как незащищенной, так и защищенной масляными покрытиями. Основной вклад в рост коррозионного разрушения вносит собственно влияние оксида серы на кинетику парциальных электродных реакций. Косвенное влияние, связанное с понижением pH, существенно ниже.*

Ключевые слова: *сернистый газ, отработанные моторные масла, сталь, атмосферная коррозия.*

OSETROV A.YU., ZARAPINA I.V., KUZNECOVA E.G.

INFLUENCE OF SULFUR DIOXIDE ON SPEED OF ATMOSPHERIC CORROSION OF STEEL EQUIPMENT USED IN AGRICULTURE

Osetrov, A.Yu.
Ph. D., Associate Professor of Department "Chemistry and chemical technology" Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation; e-mail: ksanset@list.ru
Zarapina, I.V.
Ph. D., Associate Professor of Department "Chemistry and chemical technology" Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation; e-mail: irina-zarapina@mail.ru
Kuznetsova, E.G.
Ph. D., Senior Researcher Associate, Federal State Budget Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Tambov, Russian Federation; e-mail: vitin-10@mail.ru

Summary. *Sulphur dioxide is widely used in agriculture, which is why the problem of protection of steel structures having contact with air containing it is very urgent. The aim of this work is to study the separate effect of pH changes of the corrosive environment and the presence of sulfur compounds on the rate of corrosion of metal products. Investigations were carried out on carbon steel St3. For polarization measurements electrode coated with used motor oil (IMO), or MMO, clarified urea containing 10 wt. % IFHAN-29A are used. The auxiliary electrode is smooth platinum, the reference electrode is a saturated aqueous silver chloride electrode. Working solution - 0.5 M NaCl, acidified with HCl to a predetermined value pH. The initial concentration of sulfur dioxide in a liquid phase - 5 vol. %. Polarization measurements were carried out in potentiostatic regime. In the absence of sulfur dioxide in the gas phase, the corrosion current increases 14.3 times at the transition from a medium with pH = 4 to solution with pH = 2 with a 4.7 times increase, while the introduction of the sulfur oxide at pH = 4. Simultaneously, in a medium containing sulfur dioxide, a similar transition in the same pH range leads to an increase in the corrosion current is only 3.7 times. The kinetics of the cathodic reaction on steel during the application of the oil coating is not qualitatively different from that observed in the bare metal. To see how general effect of sulfur dioxide is the rate of steel corrosion in the presence of a protective oil film coating on the base used motor oil clarified inhibited by 10 wt. % IFHAN-29A, with the additive at the same time act as a thickener. Introduction of sulfur dioxide in the gaseous phase leads to an increase in acidity and the corrosion rate of carbon steel, as the unprotected and protected by oil coatings. The main contribution to the growth of corrosion damage makes its influence on the kinetics of sulfur oxide partial electrode reactions. Indirect effect associated with a decrease in pH, significantly lower.*

Keywords: *sulfur dioxide, used motor oil, steel, atmospheric corrosion.*

Введение. Сернистый газ широко применяется в сельском хозяйстве при консервировании фруктов, ягод, для предохранения вин от скисания, для дезинфекции помещений овощехранилищ, поскольку диоксид серы обладает мощным бактерицидным действием [1]. Однако, сернистый газ достаточно коррозионно-активен, поэтому проблема защиты стальных конструкций, имеющих контакт с воздухом, содержащим SO_2 является весьма актуальной. Оксид серы (IV) является эффективным катодным деполяризатором, способствующим резкому возрастанию атмосферной

коррозии металлов в определенном интервале относительной влажности воздуха Н, большей некоторой $H_{крит.}$ [2, 3]. Вместе с тем, атмосферная коррозия металлических материалов протекает с формированием на их поверхности пленки влаги, в которой растворяется SO_2 с последующим взаимодействием с водой, и электролитической диссоциацией образующихся продуктов. В связи с этим предложена методика и рассчитаны равновесные концентрации SO_2, содержание H_2SO_3, HSO_3^-, SO_3^{2-} и pH образующих растворов [4], как функция исходной $C_{оксида}$ в газовой фазе, и соотношения $V_г/V_ж$, где V_i – объем газовой и жидкой фаз, находящихся в равновесии. Показано, что pH раствора, находящегося в равновесии с газовой фазой, содержащей SO_2 при постоянной исходной концентрации оксида серы (IV) (закрытые системы), снижается по мере возрастания отношения $V_г/V_ж$. Так, с повышением величины $V_г/V_ж$ от 1,5 до 80 ΔpH равно 1,9 ($C_{SO_2,равн.} = 5\cdot10^{-2}$ об. %) – 1,7 ($C_{SO_2,равн.} = 5\cdot10^{-3}$ об. %). Таким образом, рост скорости коррозии в присутствии SO_2 в атмосфере может быть обусловлен рядом причин:

1. Повышением скорости катодной реакции за счет увеличения концентрации H_3O^+ (снижается pH) и появлением новых параллельных процессов восстановления, в частности [4]:

$$2HSO_3^- + 2H^+ + 2e \rightarrow S_2O_4^{2-} + 2H_2O,$$

$$2H_2SO_3 + 2H^+ + 4e \rightarrow S_2O_3^{2-} + 3H_2O.$$

2. Изменением скорости анодной ионизации металлов, в которых могут принимать участие серосодержащие продукты.

Пока практически не изучены методы защиты стали от коррозии в SO_2-содержащей атмосфере. Имеются лишь данные, характеризующие влияние пленок масляных защитных покрытий, содержащих ТВК-1, на кинетику парциальных электродных реакций в хлоридных растворах [5, 6].

Целью настоящей работы являются распространение проведенных ранее нами исследований на другие защитные материалы и изучение раздельного влияния изменения pH коррозионной среды и собственно присутствие серосодержащих соединений.

Методы и материалы. Схема установки для проведения поляризационных измерений проведена в [5 - 13]. Отношение $V_г/V_ж$ составляет 1,4. Оксид SO_2 получали по реакции:

$$Na_2SO_3 + H_2SO_4 \rightarrow Na_2SO_4 + SO_2 + H_2O$$

Исследования проведены на углеродистой стали Ст3 состава, мас. % : C – 0,20; Mn – 0,50; Si – 0,15; P – 0,04; S – 0,05; остальное Fe.

Для поляризационных измерений использован электрод с рабочей поверхностью 0,66 см^2, вмонтированный в оправку из эпоксидной смолы ЭД-6 с отвердителем полиэтиленполиамином. Вспомогательный электрод – гладкая платина, сравнения – насыщенный водный хлорсеребряный, отделенный от рабочего шлифом. Поляризационные измерения проведены в потенциостатическом режиме, посредством потенциостата П-5827м. Потенциалы пересчитаны на н.в.ш. Рабочий электрод покрывали отработанным моторным маслом ММО или ММО, осветленным карбамидом, содержащими 10 масс. % ИФХАН-29А, представляющим собой продукт взаимодействия талового пека с высшими алифатическими аминами на специальном катализаторе. Толщина барьерной пленки – 15…20 мкм (гравиметрическая оценка). Рабочий раствор – 0,5 М NaCl, подкисленный HCl до заданной величины pH (2, 3 или 4). Исходная концентрация SO_2 в жидкой фазе – 5 об. %, что соответствует его равновесной величине 0,02 об. % (при используемом в работе отношении $V_г/V_ж$) [4 - 6]. В этом случае pH раствора без специального подкисления составляет 2,6; $C_{H_2SO_3}$ –

$3{,}6\cdot10^{-1}$ ммоль/л, $C_{HSO_3^-}$ – 2,5 ммоль/л, $C_{SO_3^{2-}}$ – $6{,}2\cdot10^{-5}$ ммоль/л. Таким образом, основным серосодержащим продуктом является гидросульфит-анион.

Результаты и обсуждение. В хлоридном растворе с 29 г/л NaCl, подкисленном соляной кислотой, скорость анодной реакции стали увеличивается с ростом pH, т.е. $dlgi_a/dpH > 0$, что согласуется с литературными данными [7].

Скорость катодной реакции, обусловленная разрядом ионов H_3O^+, напротив, возрастает с понижением pH ($dlgi_к/dpH < 0$). Величина скорости коррозии стали $i_{кор.}$ как функции pH приведена в таблице 1, где, кроме того, присутствует графа, характеризующая изменения плотности тока коррозии ($\Delta i_{кор.}$) при переходе от растворов с pH=2 к средам с водородным показателем 3 или 4. Знак «минус» указывает на понижение величины $i_{кор.}$ в этом направлении.

Таблица 1. - Влияние pH и присутствия SO_2 на скорость коррозии и электрохимические характеристики незащищенной стали Ст3 в 0,5 М растворах NaCl

pH	Наличие SO_2, равн. в газовой фазе, об.%	$-E_{кор.}$, В	$i_{кор.}$, А/м^2	$-\Delta i_{кор.}$, А/м^2 относительно растворов с pH=2	$B_к$, В	$B_а$, В
4	–	0,500	0,07	0,26	0,140	0,40
3	–	0,440	0,10	0,23	0,140	0,40
2	–	0,315	0,33	–	0,140	0,40
4	0,02	0,420	1,00	2,70	–	0,045-0,050
3	0,02	0,410	1,90	1,60	–	0,045-0,050
2	0,02	0,320	3,70	–	–	0,045-0,050

Кроме того, из этой таблицы следует, что величины тафелевских наклонов катодной и анодной поляризационных кривых (ПК) (рисунок 1) удовлетворительно согласуется с литературными данными [7]. При введении в газовую фазу SO_2 картина частично изменяется (рисунок 2). Прежде всего, на катодных ПКотсутствуют линейные тафелевы участки. Начиная с определенной величины внешнего поляризующего катодного тока поляризуемость стали резко возрастает, на кривой появляется участок предельного катодного тока.

Можно было бы предположить, что это предельный ток по ионам водорода. Однако величина $dlgi_{к\ пред}/dlg\ C_{H^+}$ существенно меньше 1, что должно иметь место, если исходить из наличия диффузионных ограничений. Вероятно, это связано с тем, что значительный вклад в величину предельного катодного тока вносит разряд серосодержащих частиц.

Но одно ясно – именно они являются дополнительным катодным деполяризатором. Наклон тафелева участка анодной поляризационной кривой в присутствии SO_2 изменяется незначительно. Но это не означает, что не меняется механизм анодной ионизации, хотя его постоянство и в первом приближении подтверждается неизменностью величины $dlgi_a/dpH$. Однако детальное изучение этого процесса не являлось целью этой работы.

В отсутствии SO_2 в газовой фазе ток коррозии при переходе от среды с pH = 4 к раствору с pH = 2 возрастает в 4,7 раза (таблица 1), в то время как введение оксида серы при pH = 4 увеличивает $i_{кор.}$ в 14,3 раза. Одновременно, в SO_2-содержащей среде подобный переход в том же интервале pH ведет к повышению $i_{кор.}$ только в 3,7 раза. Таким образом, опосредованный вклад изменения pH за счет присутствия SO_2 в возрастание скорости коррозии стали многократно ниже, чем непосредственное влияние оксида (таблица 1).

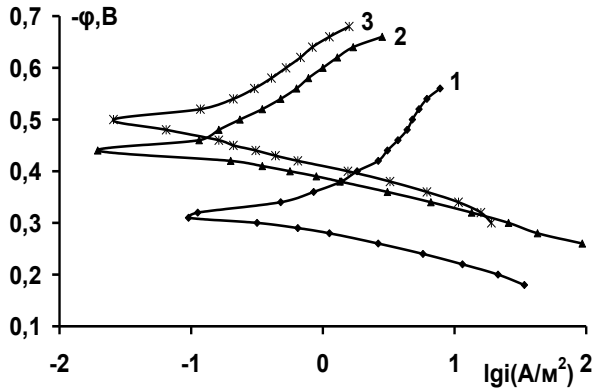


Рисунок 1. - ПК на стали Ст3 без покрытия в 0,5 М растворе NaCl с различным значением pH: 1 – 2; 2 – 3; 3 – 4.

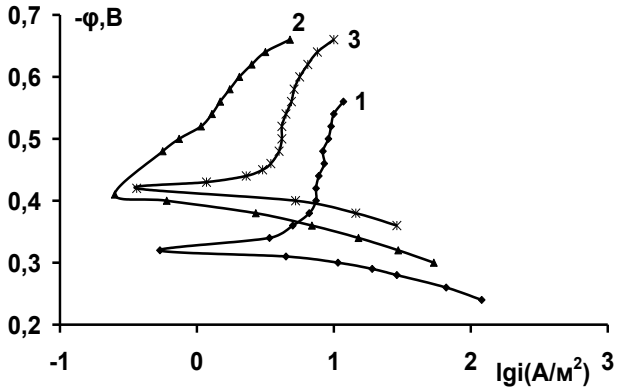


Рисунок 2. - ПК на стали Ст3 без покрытия в 0,5 М растворе NaCl в присутствии 0,02 об. % SO_2 с различным значением pH: 1 – 2; 2–3; 3 – 4.

Важно было выяснить, наблюдается ли подобное соотношение, при защите стали ингибированными масляными пленками. В отсутствие SO_2 в газовой фазе величина $i_{кор.}$ существенно снижается (таблица 2). При pH = 4 уменьшение $i_{кор.}$ достигает 7 раз, при pH = 2 – почти 11 раз. Защитное действие, рассчитанное по формуле

$$Z = 100\ (i_{кор.} - i_{кор.зац}) / i_{кор.},$$

где $i_{кор.}$ и $i_{кор.зац}$ – соответственно токи коррозии в отсутствие и при нанесении защитной пленки, составляет 86 и 91 %.

Таблица 2. - Влияние pH и присутствия SO_2 на скорость коррозии и электрохимические характеристики стали Ст3, защищенной пленкой отработанного моторного масла, содержащего ИФХАН-29А в 0,5 М растворе NaCl

pH	Наличие $SO_{2равн.}$, в газовой фазе, об.%	$-E_{кор.}$, В	$i_{кор.}$, А/м^2	$-\Delta i_{кор.}$, А/м^2 относительно растворов с pH=2	$B_к$, В	$B_а$, В
4	–	0,360	0,010	0,018	0,130	0,030
3	–	0,345	0,019	0,009	0,130	0,030
2	–	0,280	0,028	–	0,130	0,030
4	0,02	0,420	0,63	0,93	–	0,040
3	0,02	0,400	0,83	0,47	–	0,040
2	0,02	0,320	1,30	–	–	0,040

Скорость катодной реакции при постоянном потенциале вновь возрастает со снижением pH, анодной практически не зависит от величины pH раствора (рисунок 3). Величина $B_к$, равная 0,130 В, близка к обычно наблюдаемым значениям, тафелевский наклон анодной поляризационной кривых $B_а$ понижено до 0,03 В, что характерно для механизма Хойслера [7]. Протяженные тафелевские участки с низким $B_а$ указывают, что при наличии масляной пленки отсутствует омическая составляющая потенциала, либо, точнее $\Delta E_{ом}$ существенно ниже ошибки эксперимента.

С введением в газовую фазу оксида серы скорость коррозии стали, защищенной масляной композицией, резко возрастает (таблица 2). При pH = 4, 3 и 2 эта величина составляет соответственно 63, 44 и 46 раз.

Можно считать, что на стимулирующее действие серосодержащих частиц в изученном интервале не влияет величина pH растворов. Одновременно переход от наименее к наиболее кислой среде, увеличивает $C_{кор.}$ защищенной стали всего в 2 раза.

Защитный эффект масляного покрытия, по данным таблиц 1 и 2, значительно понижен и составляет в присутствии SO_2 37 и 64 %. Причем при его наличии не удается довести скорость коррозии до допустимых пределов. Одновременно вновь защитный эффект заметно не зависит от величины pH среды.

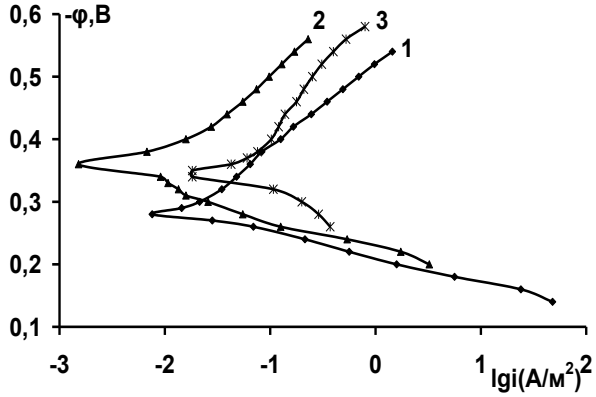


Рисунок 3. ПК на стали Ст3 покрытой ММО с 10 мас. % ИФХАН в 0,5 М растворе NaCl с различным значением pH: 1 – 2; 2 – 3; 3 – 4.

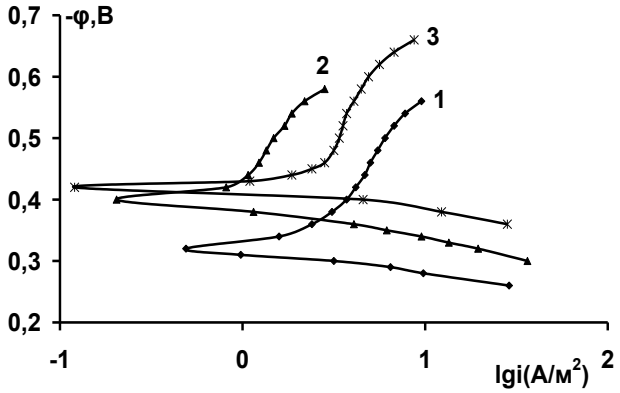


Рисунок 4. - ПК на стали Ст3 покрытой ММО с 10 мас. % ИФХАН в 0,5 М растворе NaCl в присутствии 0,02 об. % SO_2 с различным значением pH: 1 – 2; 2 – 3; 3 – 4.

Кинетика катодной реакции на стали при нанесении масляного покрытия качественно не отличается от наблюдаемой на незащищенном металле (рисунок 2 и 4) [8 - 10]. Как и ранее при отсутствии тафелевых участков видна область перехода к предельному катодному току, а величина $dlgi_{к\ пред}/dlg\ C_{H+} < 1$. Следовательно, велик вклад деполяризующего действия реакции восстановления серосодержащих частиц. Анодные поляризационные кривые вновь характеризуются наличием протяженных тафелевых участков с B_a порядка 0,040 В, а величина $dlgi_a/dpH > 0$.

Чтобы выяснить, насколько общий характер носит влияние SO_2 на скорость коррозии стали в присутствии масляной защитной пленки, использовано покрытие на базе осветленного моторного масла, ингибированного 10 мас. % ИФХАН-29А. Причем присадка одновременно выступает и в роли загустителя. Предварительно отметим, что само осветленное масло обладает меньшим защитным эффектом, чем ММО.

В отсутствие SO_2 $i_{кор.}$ стали в этом случае систематически возрастает со снижением кислотности (таблица 3). С переходом от pH = 4 к pH = 3 и 2 ток коррозии повышается соответственно в 1,9 и почти 3 раза.

Одновременно увеличивается и потенциал коррозии, что указывает на преимущественно облегчение катодного процесса. Такой вывод следует из данных рисунок 5. Но характер поляризационных кривых в отсутствии SO_2 при замене ММО на ММО осветленное практически не изменяется (рисунок 3 и 5). Принципиально важно, что скорость анодной реакции вновь слабо зависит от pH, т.е. вероятно ее механизм масляная пленка заметно меняет.

В присутствии оксида серы (IV) кинетика электродных реакций на стали, защищенной пленкой на базе осветленного масла, практически тождественна наблюдаемой в присутствии ММО (рисунок 4 и 6). По существу, рисунок. 6 не несет дополнительной информации, помимо указаний на то, что природа масла не играет какой-либо роли.

Таблица 3. - Влияние pH и присутствия SO_2 на скорость коррозии и электрохимические характеристики стали Ст3, защищенной пленкой осветленного отработанного моторного масла, содержащего 10 мас.% ИФХАН-29А в 0,5 М растворе NaCl

pH	Наличие $SO_{2равн.}$, в газовой фазе, об.%	$-E_{кор.}$, В	$i_{кор.}$, А/м^2	$-\Delta i_{кор.}$, А/м^2 относительно растворов с pH=2	$B_к$, В	$B_а$, В
4	–	0,385	0,007	0,035	0,140	0,040
3	–	0,360	0,020	0,022	0,140	0,040
2	–	0,290	0,042	–	0,140	0,040
4	0,02	0,315	1,70	2,80	–	0,055
3	0,02	0,390	3,00	1,50	–	0,055
2	0,02	0,315	4,50	–	–	0,055

Вновь переход от pH = 4 к растворам с pH = 3 и 2 в отсутствии SO_2 в газовой фазе, т.е. исключительно за счет повышения кислотности, ведет к росту $i_{пред.}$ в 2,8 и 6 раз соответственно (таблица 3). Однако введение SO_2 в газовую фазу вновь существенно меняет картину. Величина $i_{пред.}$ при pH = 4, 3 и 2 возрастает, несмотря на наличие защитной пленки, в 243, 150 и 107 раз, а защитный эффект масляной пленки вообще отсутствует.

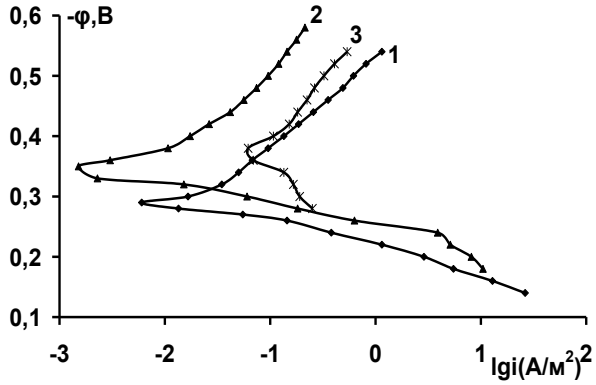


Рис. 5. ПК на стали Ст.3 покрытой $ММО_{осветл.}$ с 10 мас. % ИФХАН в 0,5 М растворе NaCl с различным значением pH: 1 – 2; 2 – 3; 3 – 4.

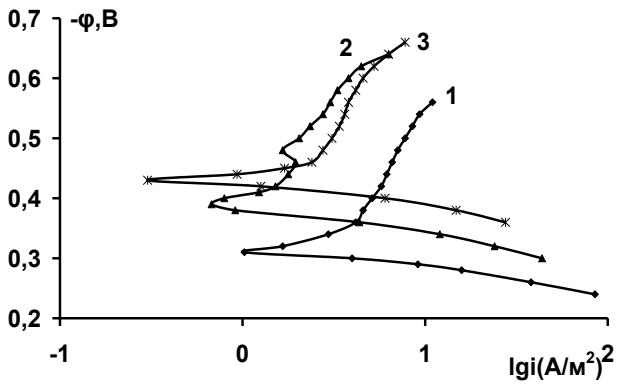


Рис. 6. ПК на стали Ст.3 покрытой $ММО_{осветл.}$ с 10 мас. % ИФХАН в 0,5 М растворе NaCl в присутствии 0,02 об. % SO_2 с различным значением pH: 1 – 2; 2 –3; 3 – 4.

Выводы.

1. Введение SO_2 в газовую фазу приводит к повышению кислотности среды и скорости коррозии углеродистой стали, как незащищенной, так и защищенной масляными покрытиями. Основной вклад в рост коррозионного разрушения вносит собственно влияние оксида серы на кинетику парциальных электродных реакций. Косвенное влияние, связанное с понижением pH, существенно ниже.

2. Основное действие SO_2 оказывает на ускорение катодной реакции. Изменение скорости ионизации металла невелико и не играет существенной роли.

3. Присутствие SO_2 в атмосфере снижает на 25 – 30 % защитное действие масляной пленки (на базе ММО), либо оно вообще подавляется (осветленное ММО).

Список литературы

1. Справочник фермера / В.Н. Кузьмин, В.Ф. Федоренко, С.Н. Сазонов.-М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. – 616 с.

2. Томашов, Н.Д. Теория коррозии и защиты металлов / Н.Д. Томашов – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 592 с.

3. Розенфельд, И.Л., Перманцева В.П. Ингибиторы коррозии металлов / И.Л. Розенфельд, В.П. Перманцева – М.: Наука, 1965. – 278 с.

4. Шель, Н.В. Влияние концентрации SO_2 в газовой фазе на состав и pH контактирующей водной среды при атмосферной коррозии стали / Н.В. Шель, А.Ю. Осетров // Коррозия: материалы, защита. – 2005. – № 6. – С. 2 – 6.

5. Шель, Н.В. Кинетика электродных процессов на углеродистой стали под пленками композиций трансформаторного масла и ТВК-1 в растворе NaCl, насыщенном SO_2 / Н.В. Шель, А.Ю. Осетров, А.С. Вервекин, Е.Ю. Шель, В.И. Вигдорович // Практика противокоррозионной защиты. – 2006. – № 4(42). – С. 43 – 50.

6. Вигдорович, В.И. Научные основы и практика создания антикоррозионных консервационных материалов на базе отработанных нефтяных масел и растительного сырья: монография /В.И. Вигдорович, Л.Г. Князева, А.Н. Зазуля[и др.]. – Тамбов: Изд - во Першина Р.В. 2012. – 325 с.

7. Вигдорович, В.И. Кинетика и механизм электродных реакций в процессах коррозии металлов / В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова – Тамбов: Изд-во ТГУ, 1999. – 124 с.

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

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

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

11. Кузнецова, Е.Г. Обоснование выбора ингибитора для противокоррозионной защиты сельскохозяйственной техники по данным ускоренных коррозионных исследований / Е.Г. Кузнецова, Л.Г. Князева, В.Д. Прохоренков // Наука в центральной России. – 2014. - № 6 (12). – С. 60 – 68.

12. Князева, Л.Г. Противокоррозионная защита сельскохозяйственной техники пленками нефтяных и синтетических масел / Л.Г. Князева, Е.Г. Кузнецова, В.Д. Прохоренков // Наука в центральной России. – 2014. - № 5. – С. 72 – 80.

13. Князева, Л.Г. Проницаемость поверхностных пленок, самоорганизующихся на твердых фазах / Л.Г. Князева, Е.Г. Кузнецова, В.В. Остриков и др. / Наука в центральной России. – 2014. - № 2 (8). – С. 10 - 17.

References

1. Spravochnik fermera / V.N. Kuz'min, V.F. Fedorenko, S.N. Sazonov.-M.: FGBNU «Rosinformagrotex», 2013. – 616 s.

2. Tomashov, N.D. Teoriya korrozii i zashchity metallov / N.D. Tomashov – M.: Izd-vo AN SSSR, 1959. – 592 s.

3. Rozenfel'd, I.L., Permantseva V.P. Ingibitory korrozii metallov / I.L. Rozenfel'd, V.P. Permantseva – M.: Nauka, 1965. – 278 s.

4. Shel', N.V. Vliyanie kontsentratsii SO_2 v gazovoy faze na sostav i pH kontaktiruyushchey vodnoy sredy pri atmosfernoy korrozii stali / N.V. Shel', A.Yu. Osetrov // Korroziya: materialy, zashchita. – 2005. – № 6. – S. 2 – 6.

5. Shel', N.V. Kinetika elektrodnykh protsessov na uglerodistoy stali pod plenkami kompozitsiy transformatornogo masla i TVK-1 v rastvore NaCl, nasyshchennom SO_2 / N.V. Shel', A.Yu. Osetrov, A.S. Vervekin, E.Yu. Shel', V.I. Vigdorovich // Praktika protivokorrozionnoy zashchity. – 2006. – № 4(42). – S. 43 – 50.

6. Vigdorovich, V.I. Nauchnye osnovy i praktika sozdaniya antikorrozionnyx konservacionnyx materialov na baze otrabotannyx neftyanyx masel i rastitel'nogo syr'ya: monografiya /V.I. Vigdorovich, L.G. Knyazeva, A.N. Zazulya[i dr.]. – Tambov: Izd - vo Pershina R.V. 2012. – 325 s.

7. Vigdorovich, V.I. Kinetika i mekhanizm elektrodnykh reaktsiy v pro-tsessakh korrozii metallov / V.I. Vigdorovich, L.E. Tsygankova – Tambov: Izd-vo TGU, 1999. – 124 s.

8. Knyazeva, L.G., Zashchita sel'skokhozyaystvennoy tekhniki ot atmosfernoy korrozii ingibirovannymi maslyanymi pokrytiyami v usloviyakh vlagonasyshcheniya / Knyazeva L.G., Prokhorenkov V.D., Kuznetsova E.G. // Nauka v Tsentral'noy Rossii. - 2014. - № 1 (7). - S. 4 – 11.

9. Knyazeva, L.G. Antikorrozionnaya effektivnost' poverkhnostnykh i za-shchitnykh plenok tovarnykh i otrabotannykh sinteticheskikh masel na primere produkta Mobil-1. /Knyazeva L.G., Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Shel' N.V., Kuznetsova E.G., Prokhorenkov V.D. // Praktika protivokorrozionnoy zashchity. - 2014. - № 2 (72). - S. 59 – 66.

10. Knyazeva L.G., Antikorrozionnaya kharakteristika plenok neftyanykh i sinteticheskikh masel i ikh fiziko-khimicheskie kharakteristiki / Knyazeva L.G., Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E. i dr. // Korroziya: materialy, zashchita. – 2014. - № 9. - S. 31 – 37.

11. Kuznetsova, E.G. Obosnovanie vybora ingibitora dlya protivikorrozionnoy zashchity selskokhozyaystvennoy tekhniki po dannym uskorennykh korrozionnykh issledovaniy / E.G. Kuznetsova, L.G. Knyazeva, V.D. Prochorenkov // Nauka v Central'noj Rossii. - 2014. - № 6 (12). - S. 60 – 68.

12. Knyazeva, L.G.Protivokorrozionnaya zashchita selskokhozyaystvennoy tekhniki plenkami neftyanykh I sinteticheskikh masel / L.G. Knyazeva, E.G. Kuznetsova, V.D. Prochorenkov // Nauka v Central'noj Rossii. - 2014. - № 5. - S. 72 – 80.

13. Knyazeva, L.G. Pronitsaemost poverkhnostnykh plenok, samoorganizuyushchikhsya na tverdykh fazakh / L.G. Knyazeva, E.G. Kuznetsova, V.V. Ostrikov // Nauka v Central'noj Rossii. - 2014. - № 2 (8). - S. 10 - 17.

УДК 631.303

ТИШАНИНОВ Н.П., АНАШКИН А.В.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ВЫДЕЛЕНИЯ КОРОТКИХ ПРИМЕСЕЙ ИЗ ЗЕРНОСМЕСЕЙ ЯЧЕИСТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Тишанинов Николай Петрович
доктор технических наук, профессор,
руководитель отдела, Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве
Анашкин Александр Витальевич
кандидат технических наук,
заведующий лабораторией, Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве

Реферат. *Цель исследований состояла в обосновании резервов повышения качества триерной очистки зерносмесей. Анализ процесса выделения коротких примесей из зерносмесей проводился на основе классической теории триеров. Установлено, что в классической теории отсутствует физическая модель для оценки динамики выделения примесных компонентов аналитическим путем. Кроме того, нет базы данных по количественной определенности контактирующего слоя зерновок основной культуры с ячеями, содержанию в нем примесного компонента и степени разуплотнения сегмента в ячеистом цилиндре при его осевом перемещении. Недостаток базы данных восполнен опытным путем. Количество зерновок основной культуры в контактирующем слое определяли по плотности их размещения на единице площади. Количество частиц примесного компонента в контактирующем слое в первом цикле их выделения определяли по исходной засоренности и соотношению масс 1000 частиц основной культуры и примесного компонента. Степень разуплотнения сегмента зерносмеси рассчитывали по соотношению насыпной плотности зерновок и плотности одного слоя их размещения на плоскости. Для расчета показателей динамики выделения примесных частиц из зерносмеси был разработан алгоритм. В качестве исходных данных для расчета были приняты граничные условия формирования сегмента, скорость его скольжения по ячеистой поверхности, подача, насыпная плотность, частота вращения цилиндра и динамический угол трения зерна. В результате расчета показателей динамики выделения примесного компонента установлено: при исходной засоренности 3 % остаточная засоренность в 1 % достигается за 22 цикла выделения; 5 % — за 33 цикла; 7 % — за 40 циклов. Требуемый уровень исходной засоренности в 0,4 % не обеспечивается существующими триерными блоками во всем диапазоне исходной засоренности — 3… 7 %. Резервы повышения качества процесса выделения примесных компонентов заключаются в уменьшении скорости осевого перемещения сегмента, обеспечивающем увеличение кратности выделения и уменьшении толщины сегмента.*

Ключевые слова: *зерносмесь, ячеистая поверхность, анализ, динамика выделения, короткие примеси, засоренность, качество.*

TISHANINOV N.P., ANASHKIN A.V.

THE THEORETICAL ANALYSIS OF DYNAMICS OF RELEASE OF SHORT IMPURITY FROM GRAIN THE CELLULAR SURFACE

Tishaninov Nikolay Petrovich
Doctor of Engineering, professor,
the head of department, the All-Russian research institute of use of equipment and oil products in agriculture
Anashkin Alexander Vitalyevich
Candidate of Technical Sciences,
the head of the laboratory, the All-Russian research institute of use of equipment and oil products in agriculture

Summary. *The purpose of researches consisted in justification of reserves of improvement of quality of purification of mixes of grain by means of cellular surfaces. The analysis of process of release of short impurity of mixes of grain was carried out on the basis of the classical theory of cellular cylinders. It is established that in the classical theory there is no physical model for an assessment of dynamics of allocation of impurity components in the analytical way. Besides, there is no database on quantitative definiteness of the contacting layer of particles of grain of the main culture from a yacheyama, to the contents in it an impurity component and extent of depression of a segment in the cellular cylinder at its axial movement. The lack of a database is filled by practical consideration. Quantity of particles of grain of*

the main culture in the contacting layer determined by density of their placement on unit of area. Quantity of particles of an impurity component in the contacting layer in the first cycle of their allocation determined by an initial contamination and a ratio of mass of 1000 particles of the main culture and an impurity component. Extent of depression of a segment of mix of grain was counted on a ratio of bulk density of particles of grain and density of one layer of their placement on the planes. The algorithm was developed for calculation of indicators of dynamics of allocation of impurity particles from mix of grain. As basic data for calculation boundary conditions of formation of a segment, speed of its sliding on a cellular surface, giving, bulk density, frequency of rotation of the cylinder and a dynamic corner of friction of grain were accepted. As a result of calculation of indicators of dynamics of allocation of an impurity component it is established: at an initial contamination of 3% the residual contamination in 1% is reached for 22 cycles of allocation; 5% — for 33 cycles; 7% — for 40 cycles. The demanded level of an initial contamination of 0,4% isn't provided with the existing blocks of cellular cylinders in all range of an initial contamination — 3 ... 7%. Reserves of improvement of quality of process of allocation of impurity components consist in the reduction of speed of axial movement of a segment providing increase in frequency rate of allocation and reduction of thickness of a segment.

Keywords: *grain mix, cellular surface, analysis, dynamics of allocation, short impurity, contamination, quality.*

Введение. Исследованиями и практическим опытом эксплуатации триерных блоков установлено, что качество триерной очистки зерносмесей по показателям остаточной засоренности не удовлетворяет существующим требованиям [1…7] . Наиболее жесткие требования к семенному материалу предъявляются по содержанию в основной культуре семян сорняков. Технологические возможности существующих триерных блоков ограничены в части выделения поликомпонентных коротких частиц, содержащих семена сорняков. Сложность выделения коротких частиц из зерновой массы основной культуры объясняется тем, что одни из них склонны к осаждению, а другие – к всплытию [3, 5].

Динамика выделения коротких примесей из зерносмесей ячеистыми поверхностями зависит от величины подачи, свойств примесных компонентов, исходной засоренности, режима работы триера и других факторов. Авторами работ [8…14] создана общая теория триеров, однако в ней отсутствует физическая модель для оценки динамики выделения примесных компонентов аналитическим путем, нет достаточной базы данных для установления количественной определенности контактирующего слоя зерновок основной культуры с ячейками, содержания примесных частиц в нем, степени разуплотнения сегмента зерносмеси, перемещаемого в осевом направлении ячеистого цилиндра. Без анализа динамики выделения коротких частиц из зерносмеси ячеистыми поверхностями невозможно изыскать резервы повышения технологических возможностей кукольного цилиндра и повысить качество технологического процесса.

Цель исследования – обосновать резервы повышения качества триерной очистки зерносмесей.

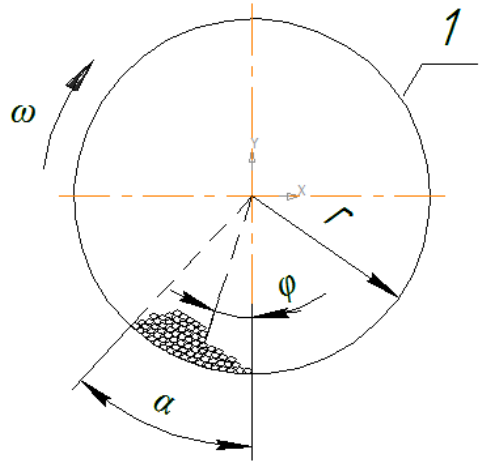
Материалы и методы. Классическая теория триеров [8…14], результаты исследований физико-механических свойств компонентов зерносмесей [15…18], методы теоретической механики и математического анализа.

Результаты и обсуждение. В анализе использованы теоретические и эмпирические зависимости М.Л. Летошнева и Д.Н. Мироненко [8, 9].

Число слоев зерна внутри триерного цилиндра определяли по формуле:

$$n = q/\gamma \cdot b \cdot l \cdot \nu_x \text{ , } (1)$$

где q - секундная подача зерносмеси в триерный цилиндр, кг/с; γ - насыпная плотность зерносмеси ($\gamma = 750 кг/м^3$), кг/м³; b - средняя толщина зерновок основной культуры (для пшеницы $b = 0{,}003 м$), м; l - длина дуги триерного цилиндра, занимаемой первым слоем зерновок, м; ν_x - скорость осевого перемещения сегмента вороха, м/с.



1 – триерный цилиндр; ω – частота вращения триерного цилиндра, рад/с; α – угол подъема зерносмеси, рад; φ – угловое расстояние до неподвижного ядра, рад; r – радиус триерного цилиндра

Рисунок 1 – Расчетная схема триерного цилиндра

Величину l определяли из уравнений:

$$l = \alpha \cdot r \cdot \pi/180; \quad (2)$$

$$\alpha = \varphi + arcSin\left(\frac{\omega^2 \cdot r}{g} Cos\varphi\right).$$

Для $\varphi = 30^0$, $r = 0{,}3 м$, $g = 9{,}8 м/с^2$ и $\omega = 4 рад/с$ угол подъема зерносмеси будет:

$$\alpha = 30 + arcSin\left(\frac{16 \cdot 0{,}3}{9{,}8} \cdot 0{,}85\right) \approx 55^0.$$

Тогда с учетом уравнения (2) величина дуги будет:

$$l = 55 \cdot 0{,}3 \cdot 3{,}14/180 = 0{,}288 м.$$

Величины дуги (l) для диапазона углов $\varphi = 30^0 ... 90^0$ представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Взаимосвязь длины дуги (l) с углом (φ)

Величина угла (φ), град	30	35	40	45	50	60	80	90
Величина угла (α), град	55	59	62	65	68	74	85	90
Величина дуги (l), м	0,288	0,309	0,324	0,34	0,356	0,387	0,444	0,471

Увеличение φ и α при прочих равных условиях позволяет сократить длину кукольного цилиндра. Другая возможность (более продуктивная) увеличение дуги (l) обеспечивается с ростом радиуса (r) триерного цилиндра при сохранении кинематического режима ($\kappa = \omega^2 \cdot r/g = const$).

Время перемещения зерновок по дуге длиной (l) определяется по формуле:

$$t = \alpha \cdot \pi/180 \cdot \Omega, \quad (3)$$

где Ω - угловая скорость перемещения зерновок по поверхности триерного цилиндра $\Omega = (0{,}34...0{,}51)\omega$, рад/с [9].

Результаты расчетов величин t при вариантных значениях α и Ω представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Зависимость времени t от α и Ω

Скорость перемещения зерновок, рад/с	Время перемещения зерновок (t) по дуге длиной (l), с						
	$\alpha = 55^0$	$\alpha = 59^0$	$\alpha = 62^0$	$\alpha = 65^0$	$\alpha = 68^0$	$\alpha = 80^0$	$\alpha = 90^0$
$\Omega = 1{,}36$	0,705	0,757	0,80	0,836	0,872	1,026	1,154
$\Omega = 1{,}6$	0,6	0,643	0,676	0,74	0,741	0,872	0,981
$\Omega = 1{,}8$	0,533	0,572	0,0602	0,631	0,66	0,776	0,873
$\Omega = 2{,}04$	0,47	0,505	0,53	0,556	0,565	0,684	0,77

Время t линейно связано с величинами Ω и α. С ростом угловых скоростей перемещение зерновок по дуге длиной (l) время t снижается на 33% при $\alpha = 55...68^0$. С ростом α в том же диапазоне время t возрастает на 24%.

Скорость осевого смещения сегмента зерносмеси определяли по формуле М.Н. Летошнева [9]:

$$v_x = \frac{h_r \cdot \Omega}{tg\beta} Sin\sqrt{1 - tg^2\beta}, \quad (4)$$

где $\beta = 38...40^0$ - динамический угол трения зерна в поперечном сечении триерного цилиндра, град; h_r - толщина слоя зерна в сегменте, отсчитываемая от поверхности цилиндра до нижней границы неподвижного ядра, м.

$$h_r = \sqrt[5]{\frac{0{,}125}{\Omega^2 \cdot r}\left(\frac{q \cdot tg\beta}{\gamma \cdot Sin\sqrt{1 - tg^2\beta}}\right)^2} \quad (5)$$

Для принятых значений $\gamma = 750\,кг/м^3$, $\beta = 40^0$, $\omega = 4\,рад/с$ и различных скоростей зерновок $\Omega = (0{,}34...0{,}51) \cdot \omega$ *рад/с* и $q = 0{,}5...1{,}0\,кг/с$ результаты расчета сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Толщина слоя зерна в сегменте $h_r = f_1(\Omega, q)$

Подача, кг/с	Толщина слоя, м			
	$\Omega = 1{,}36\,рад/с$	$\Omega = 1{,}6\,рад/с$	$\Omega = 1{,}8\,рад/с$	$\Omega = 2{,}04\,рад/с$
$q = 0{,}5\,кг/с$	0,0483	0,0453	0,0432	0,0410
$q = 0{,}75\,кг/с$	0,0568	0,0532	0,0508	0,0483
$q = 1{,}0\,кг/с$	0,0637	0,0597	0,0570	0,0542

Из таблицы 3 видно, что при увеличении подачи (q) от 1,8 до 3,6 *т/ч* (в 2 раза) во всем диапазоне Ω толщина слоя увеличивается на 32%. При одинаковых подачах (q) во всем диапазоне роста угловых скоростей зерна в контактном слое толщина сегмента снижается на 15%.

Для заданных выше условий и рассчитанных значений h_r по формуле (4) определяли скорость осевого смещения сегмента зерносмеси, таблица 4.

Таблица 4 – Скорость осевого смещения сегмента зерносмеси - $v_x = f_2(\Omega, q)$

Подача, кг/с	Скорость осевого смещения, м/с			
	$\Omega = 1{,}36 рад/с$	$\Omega = 1{,}6 рад/с$	$\Omega = 1{,}8 рад/с$	$\Omega = 2{,}04 рад/с$
$q = 0{,}5 кг/с$	0,0406	0,0447	0,0480	0,0516
$q = 0{,}75 кг/с$	0,0477	0,0527	0,0564	0,0608
$q = 1{,}0 кг/с$	0,0535	0,0591	0,0633	0,0682

Из таблицы 4 видно, что с увеличением подачи в диапазоне $q = 0{,}5...1{,}0$ кг/с для значений угловых скоростей контактирующего слоя $\Omega = 1{,}36...2{,}04$ рад/с скорость осевого смещения сегмента зерносмеси увеличивается на 32%. То есть, взаимосвязь $v_x = f_2(\Omega, q)$ аналогична взаимосвязи $h_r = f_1(\Omega, q)$. Однако, при одинаковых подачах ($q = const$) величина v_x изменяется на 27%, так как она пропорциональна произведению $h_r \cdot \Omega$, но Ω возрастает интенсивнее, что снижает h_r с ростом Ω.

Далее по величине времени (t) перемещения зерновок по дуге (l) и значениям осевой скорости v_x определяли величину осевого смещения (x). При этом приняли $\alpha = 90^0$ по двум причинам. Эта величина подтверждена нами экспериментально для реального диапазона $q = 0{,}5...1{,}0 кг/с$. Во-вторых, эта величина является лимитирующей рабочую длину ячеистой поверхности, когда кратность выделения примесных частиц из контактирующих слоев наименьшая, а смещение слоев сегмента зерносмеси в осевом направлении – наибольшее. При $\alpha = 90^0$ величина $\varphi \approx \alpha$ - неподвижное ядро отсутствует, а смешивание слоев сохраняется.

Величину осевого смещения сегмента зерносмеси при однократном выделении примеси из контактирующего слоя определяем по формуле:

$$x = v_x \cdot t. \quad (6)$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Величина осевого смещения сегмента зерносмеси - $x = f_3(\Omega, q)$ при $\alpha = 90^0$

Подача, кг/с	Величина осевого смещения, м			
	$\Omega = 1{,}36 рад/с$	$\Omega = 1{,}6 рад/с$	$\Omega = 1{,}8 рад/с$	$\Omega = 2{,}04 рад/с$
$q = 0{,}5 кг/с$	0,0469	0,0439	0,0419	0,0397
$q = 0{,}75 кг/с$	0,0550	0,0517	0,0491	0,0468
$q = 1{,}0 кг/с$	0,0617	0,0580	0,0553	0,0525

Из таблицы 5 видно, что величина осевого смещения сегмента зерносмеси возрастает с увеличением подачи (q) и снижением угловой скорости (Ω) контактирующего слоя. Поэтому в дальнейшем анализе динамики выделения примесного компонента необходимо использовать величину $x = 0{,}0617 м$. При этом значении x кратность выделения примеси на 1 погонном метре ячеистой поверхности будет $\kappa_B = 1/0{,}0617 \approx 16 раз$ с убывающей концентрацией примеси в зерносмеси. Во всех остальных случаях кратность выделения примеси будет возрастать, что снижает

требования (необоснованно) к длине рабочей поверхности ячеистого цилиндра при заданной исходной засоренности зерносмеси и сохранении требований к остаточной.

Для оценки динамики убывания концентрации примесного компонента в сегменте по длине ячеистой поверхности необходимо определить число слоев в нем. При этом целесообразно использовать два варианта расчета, сравнение результатов которых позволит обеспечить сопоставимость оценок. В первом варианте необходимо использовать соотношение h_r/b, а во втором рассчитывать по уравнению (1).

$$n' = h_r/b, \quad (7)$$

где b – средняя толщина частиц (зерновок), м.

По первому варианту применительно к зерновкам пшеницы с величиной $b = (b_Ш + b_Т)/2$ будем иметь (при $q = 1{,}0 кг/с$ и $\Omega = 1{,}36 рад/с$, $h_r = 0{,}0637 м$):

$$n' = 2h_r/(b_Ш + b_Т) = 2 \cdot 0{,}0637/(0{,}00318 + 0.00296) = 20{,}7 шт. \quad (8)$$

По второму варианту для тех же критических условий выделения примеси из рассмотренных выше:

$$n'' = 1{,}0/750 \cdot 0{,}00307 \cdot 0{,}471 \cdot 0{,}0535 = 17{,}2 шт.$$

Сходимость результатов расчета числа слоев (n) по двум вариантам следует считать приемлемой. Однако в дальнейших этапах оценки динамики выделения примеси нужно использовать верхнюю границу диапазона n = 17,2…20,7, так как содержание примесного компонента в контактирующем слое будет меньшим (более критическая ситуация для анализа) при равной исходной засоренности. Целочисленное число слоев принимать нет необходимости.

Дополнительным основанием для выбора n = 20,7 является то, что авторы [8, 9] включили в формулу (1) величину γ = 750 кг/м^3, характерную для состояния покоя зерносмеси. В динамическом процессе величина насыпной плотности будет меньше, а слоев больше.

Определим число частиц примеси в сегменте при различной исходной засоренности для наиболее критичных условий их выделения из зерносмеси. На первом этапе определяли площадь сегмента (S_c), эквивалентную одному циклу осевого смещения (одному циклу выделения примесного компонента из контактирующего слоя):

$$S_c = x \cdot l = 0{,}0617 \cdot 0{,}471 = 0{,}02906 м^2. \quad (9)$$

Объем одного слоя равен:

$$V_c = S_c \cdot b = 0{,}02906 \cdot 0{,}00307 = 8{,}922 \cdot 10^{-5} м^3. \quad (10)$$

Число зерновок в слое определяли с учетом однослойного размещения зерновок пшеницы на площади в 1м^2 экспериментальным путем:

$$n_{З_{ПШ}} = 44840 шт/м^2.$$

Поэтому число зерновок основной культуры в контактирующем слое сегмента будет:

$$n_{сл} = S_c \cdot n_{З_{ПШ}} = 0{,}02906 \cdot 44840 \approx 1303 шт. \quad (11)$$

Для расчета массы слоя основной культуры необходимо использовать показатель массы тысячи зерновок вместо показателя γ, так как объемное и плоскостное размещение частиц отличаются друг от друга:

$$m_{сл} = n_{сл} \cdot m_{1000}/1000 = 1303 \cdot 40/1000 = 52{,}12 г. \quad (12)$$

По величинам $m_{сл}$ и V_c возможно определить реальную плотность зерносмеси в сегменте:

$$\gamma' = m_{сл}/V_c = 52{,}12 \cdot 10^{-3}/8{,}922 \cdot 10^{-5} = 584 \ кг/м^3.$$

Полученное значение γ' объективно отражает «однослойную насыпную плотность» зерносмеси. Она ниже обычной насыпной (многослойной) плотности, когда в статическом состоянии вышележащий слой частично проникает в пространство нижележащего.

Величина γ' на 22% ниже насыпной плотности пшеницы – γ =750 кг/м^3:

$$\delta = (\gamma - \gamma')/\gamma \cdot 100\% = 22\%.$$

Данные, полученные профессором М.Н. Летошневым, существенно отличаются от нашей оценки – δ = 27,4…31,2%. Результаты М.Н. Летошнева получены на основе расчетов с недостаточно обоснованными допущениями. Для расчетов принят профиль сегмента, наблюдаемый в триере длиной 0,15 м и радиусом 0,204 м через прозрачные стенки. В этом эксперименте пристенные эффекты увеличивают разницу *(γ - γ')*. Данные ЧИМЭСХ, на которые ссылается М.Н. Летошнев, еще выше - δ = 45…30%. Они также получены на основе интерпретации геометрии сечения сегмента в лабораторных условиях.

Величина δ чрезвычайно важна для анализа динамики выделения примесных частиц. От нее зависит толщина сегмента и число слоев, а следовательно, - расчетное значение примесных частиц в слое и число циклов их выделения – рабочая длина ячеистой поверхности.

Расчетные показатели контактирующего слоя пшеницы с примесью (просом) для различных уровней исходной засоренности представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Показатели контактирующего слоя зерносмеси и сегмента

Показатели слоя и сегмента зерносмеси	Исходная засоренность ($З_и$), %				
	3	5	7	9	11
Масса основной культуры, г	50,56	49,5	48,47	47,43	46,39
Масса примеси, г	1,56	2,62	3,65	4,69	5,73
Число частиц примеси в слое, шт	223	374	521	670	819
Число зерновок основной культуры в слое, шт	1264	1238	1212	1186	1160
Число частиц примеси в сегменте (P), шт	4616	7742	10785	13869	16953
Число зерновок основной культуры в сегменте, шт	26165	25627	25088	24545	24007

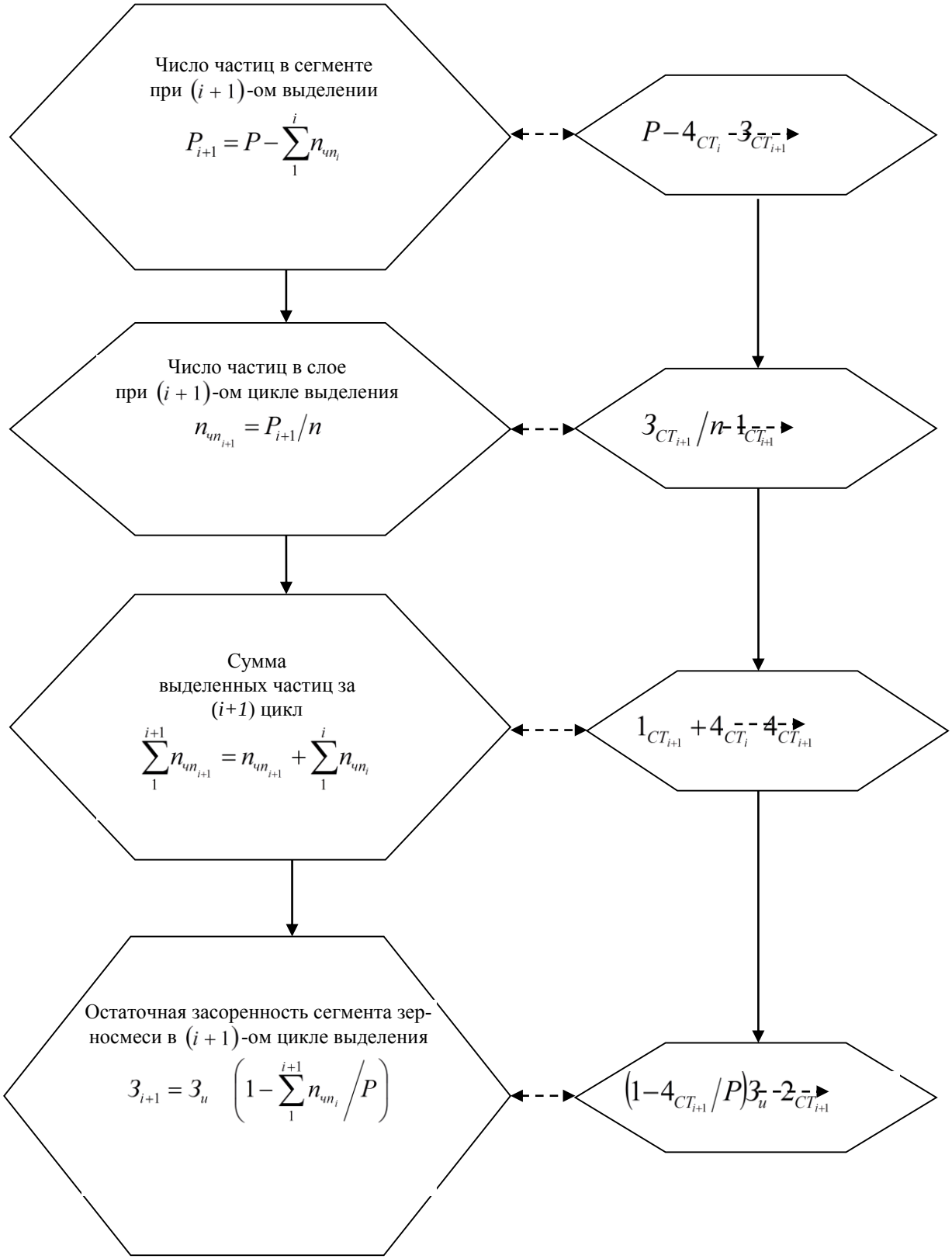
Использование данных таблиц 1…6 позволило выбрать для анализа граничные условия протекания процесса, а в дальнейшем позволит сократить алгоритм расчета показателей процесса и вариативность анализа.

Авторы работ [8…12] допускают равномерное распределение частиц примеси в сегменте в исходном состоянии (до первого цикла выделения) и после каждого цикла – перемещения частиц по дуге и осевого смещения на величину x.

При этом (см. таблицу 6) для первого цикла выделения справедливо [8…12]:

$$n_{чп1} = P/n, \quad (13)$$

где $n_{чп1}$ - число частиц примеси, выделенных в первом цикле, шт; P - исходное число частиц в сегменте размером (l x h_r x x) шт; n - число слоев в сегменте, шт.



а) б)

а) - в символьной форме

б) - табличный аналог

Рисунок 2 – Алгоритмы расчета остаточной засоренности зерносмеси

Число слоев в сегменте в процессе выделения примесей не изменяется. Поэтому во втором цикле выделится:

$$n_{чп2} = \left(P - n_{чп1}\right)/n = \frac{P}{n} - \frac{P}{n^2}. \quad (14)$$

За время третьего цикла выделится [8, 9]:

$$n_{чп3} = \frac{P - \left(n_{чп1} + n_{чп2}\right)}{n} = \frac{P}{n} - 2\frac{P}{n^2} + \frac{P}{n^3}. \quad (15)$$

То есть для оценки числа выделенных частиц в каждом последующем цикле необходимо из исходного числа (P) вычесть сумму выделенных частиц во всех предыдущих циклах, а затем разницу разделить на число слоев (n). При этом засоренность сегмента после i-го цикла выделения примеси определяли по формуле:

$$З_{i+1} = З_И\left(1 - \sum_{1}^{i+1} n_{чпi}/P\right). \quad (16)$$

Алгоритмы расчета остаточной засоренности зерносмеси по длине ячеистой поверхности при интервальной оценке по циклам выделения примесного компонента из сегмента представлены на рисунке 2.

Фрагмент результатов расчета динамики выделения примесного компонента из зерносмеси представлен на рисунке 3.

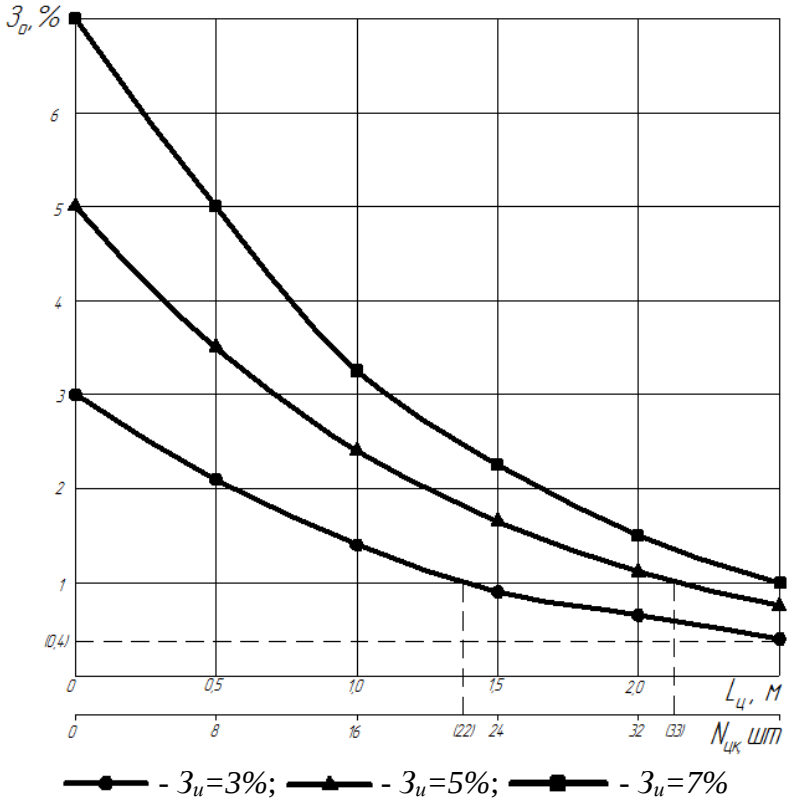


Рисунок 3 – Зависимость остаточной засоренности от исходной засоренности, рабочей длины ячеистого цилиндра и числа циклов выделения – $З_o = f\left(З_И, L_Ц, N_{ЦК}\right)$ для r =0,3 м

Выводы. Из рисунка 3 видно, что интенсивность выделения примесных частиц с ростом исходной засоренности ($З_и$) возрастает. Уровень остаточной засоренности в 1% обеспечивается: при $З_и$=3% за 22 цикла выделения; при $З_и$=5% за 33 цикла выделения; при $З_и$=7% за 40 циклов выделения. При этом рабочие длины ячеистого цилиндра составляют соответственно: 1,42м, 2,04м, 2,47м. Требуемый уровень $З_о$=0,4% не обеспечивается существующими цилиндрами при $З_и$ = 3…7%.

Из изложенного выше следует, что требование к качеству процесса по остаточной засоренности $З_0$=1% не может быть обеспеченно при исходной засоренности $З_и$=7%, так как реальная длина ячеистой поверхности существующих триерных блоков $L_ц$=2,2м (2,2<2,47).

Допуск по остаточной засоренности $З_о$=0,5% может быть обеспечен только при $З_и$=3% из рассмотренных уровней концентрации примесного компонента ($З_0$=0,54%) с некоторым допущением, которое можно отнести на погрешность расчетов.

Длина ячеистого кукольного цилиндра $L_ц$=2,2м позволяет реализовать ≈36 циклов выделения примесного компонента. При $\varphi=90^0$, ω=4рад/с, r=0,3м, q=1,0 кг/с, Ω=1,36 рад/с, x=0,0617м за 36 циклов выделения примесного компонента для указанных уровней исходной засоренности остаточная засоренность составляет: 0,54%; 0,89%; 1,24%.

То есть, использование всей длины ячеистой поверхности ячеистых цилиндров существующих триеров не обеспечивает достаточного уровня качества процесса. Причем увеличение подачи (q) и снижение показателей φ, ω и r понижают результативные показатели по качеству процесса. Влияние факторов Ω и x на качество процесса – производное и разнонаправленное.

Из формулы (4) видно, что скорость осевого смещения сегмента зерносмеси (ϑ_x) зависит от ее свойств, которые определяют динамический угол трения (β) и величину скольжения зерносмеси, а также – от толщины сегмента (h_r). Чем меньше h_r тем меньше ϑ_x. При уменьшении ϑ_x увеличивается кратность выделения примесного компонента, приходящаяся на единицу длины ячеистого цилиндра ($L_ц$).

Анализ формулы (5) показывает, что величину h_r можно уменьшить, увеличивая радиус (r) ячеистого цилиндра. Что будет способствовать росту интенсивности выделения примесного компонента. Кроме того, уменьшение h_r и числа слоев зерна в сегменте будет способствовать росту осаждения выделяемых частиц в сегменте.

Список литературы

1. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Амельянц А.Г., Тишанинов К.Н., Растюшевский К.А. Стенд для испытаний ячеистых поверхностей. Патент на изобретение RUS 2492940 20.09.2013.

2. Тишанинов Н.П., Амельянц А.Г., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н., Растюшевский К.А. Стенд для испытаний ячеистых поверхностей. Патент на изобретение RUS 2492941 20.09.2013.

3. 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.

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

5. Тишанинов Н.П. Новые резервы управления качеством очистки зерна / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. Материалы международной научно-технической конференции 16 – 17 октября 2013 г. – Минск. – НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства. – Т.1. – С. 266…272.

6. Тишанинов Н.П. Модернизация технологий подработки зерна на базе средств управления массовыми потоками / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2014. – №2(8). – С. 35…41.

7. Тишанинов Н.П. Теоретические предпосылки поиска резервов управления процессами триерной очистки зерносмесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2014. – №6. – С. 28…38.

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

9. Летошнев М.Н. Теория триера // Сборник научно-технических работ ЛИМЭСХ. – М.: Л.: ОГИЗ Сельхозгиз, 1948. – т.4.

10. Летошнев М.Н. Очистка и сортирование семенного материала и зерноочистительные машины. – Л.: Гос. институт опытной агрономии, 1929. – 28 с.

11. Летошнев М.Н. О движении зерна внутри горизонтального вращающегося цилиндра // Сборник научно-технических работ Ленинградского института механизации сельского хозяйства. – Сельхозгиз, 1950. – Вып.7.

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

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

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

15. Амельянц А.Г., Тишанинов М.А., Анашкин А.В. Прибор для определения коэффициента силы трения покоя. Патент на изобретение RUS 2247360 31.03.2003.

16. Тишанинов Н.П., Амельянц А.Г., Анашкин А.В., Растюшевский К.А. Прибор для определения коэффициента силы трения покоя. Патент на изобретение RUS 2488094 20.07.2013.

17. Тишанинов Н.П. Исследование коэффициента силы трения покоя с помощью новых приборов / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: Сборник научных докладов XVII Международной научно-практической конференции, 24 – 25 сентября 2013 года, г. Тамбов. – Тамбов: Изд-во Першина Р.В. – С. 127…131.

18. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Прибор для определения коэффициента силы трения покоя. Патент на изобретение RUS 2511615 10.04.2014.

References

1. Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Ameljyanc A.G., Tishaninov K.N., Ras-tyushevskiyj K.A. Stend dlya ispihtaniyj yacheistihkh poverkhnosteyj. Patent na izo-bretenie RUS 2492940 20.09.2013.

2. Tishaninov N.P., Ameljyanc A.G., Anashkin A.V., Tishaninov K.N., Ras-tyushevskiyj K.A. Stend dlya ispihtaniyj yacheistihkh poverkhnosteyj. Patent na izo-bretenie RUS 2492941 20.09.2013.

3. Tishaninov N.P. Obosnovanie parametrov stenda dlya issledovaniya yacheistihkh poverkhnosteyj / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, K.A. Rastyushevskiyj // Tekhnika v seljskom khozyayjstve. – 2013. – № 2. – S. 18…21.

4. Tishaninov N.P. Rezuljtatih issledovaniyj processa triernoyj separa-cii zernosmeseyj / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin // Nauka v centraljnoyj Ros-sii. – 2013. – №6. – S. 37…45.

5. Tishaninov N.P. Novihe rezervih upravleniya kachestvom ochistki zerna / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin // Nauchno-tekhnicheskiyj progress v seljskokho-zyayjstvennom proizvodstve. Materialih mezhdunarodnoyj nauchno-tekhnicheskoyj konferencii 16 – 17 oktyabrya 2013 g. – Minsk. – NPC NAN Belarusi po mekha-nizacii seljskogo khozyayjstva. – T.1. – S. 266…272.

6. Tishaninov N.P. Modernizaciya tekhnologiyj podrabotki zerna na baze sredstv upravleniya massovihmi potokami / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin // Nauka v centraljnoyj Rossii. – 2014. – №2(8). – S. 35…41.

7. Tishaninov N.P. Teoreticheskie predposihlki poiska rezervov uprav-leniya processami triernoyj

ochistki zernosmeseyj / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin // Nauka v centraljnoyj Rossii. – 2014. – №6. – S. 28…38.

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

9. Letoshnev M.N. Teoriya triera // Sbornik nauchno-tekhnicheskikh rabot LIMEhSKh. – M.: L.: OGIZ Seljkhozgiz, 1948. – t.4.

10. Letoshnev M.N. Ochistka i sortirovanie semennogo materiala i zer-noochistiteljnihe mashinih. – L.: Gos. institut opihtnoyj agronomii, 1929. – 28 s.

11. Letoshnev M.N. O dvizhenii zerna vnutri gorizontaljnogo vrathayu-thegosya cilindra // Sbornik nauchno-tekhnicheskikh rabot Leningradskogo insti-tuta mekhanizacii seljskogo khozyayjstva. – Seljkhozgiz, 1950. – Vihp.7.

12. Letoshnev M.N. Seljskokhozyayjstvennihe mashinih, teoriya, raschet, pro-ektirovanie i ispihtanie. – M.: L.: Seljkhozgiz, 1955. – 856s.

13. Listopad G.E. Seljskokhozyayjstvennihe i meliorativnihe mashinih. – M.: Agropromizdat, 1986. – 687s.

14. Lurje A.B. Raschet i konstruirovanie seljskokhozyayjstvennihkh mashin. – L.: Mashinostroenie, 1997. – 526s.

15. Ameljyanc A.G., Tishaninov M.A., Anashkin A.V. Pribor dlya oprede-leniya koehfficienta silih treniya pokoya. Patent na izobretenie RUS 2247360 31.03.2003.

16. Tishaninov N.P., Ameljyanc A.G., Anashkin A.V., Rastyushevskiyj K.A. Pribor dlya opredeleniya koehfficienta silih treniya pokoya. Patent na izobre-tenie RUS 2488094 20.07.2013.

17. Tishaninov N.P. Issledovanie koehfficienta silih treniya pokoya s pomothjyu novihkh priborov / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin // Povihshenie ehf-fektivnosti ispoljzovaniya resursov pri proizvodstve seljskokhozyayjstvennoyj produkcii – novihe tekhnologii i tekhnika novogo pokoleniya dlya rastenievodst-va i zhivotnovodstva: Sbornik nauchnihkh dokladov XVII Mezhdunarodnoyj nauch-no-praktich-eskoyj konferencii, 24 – 25 sentyabrya 2013 goda, g. Tambov. – Tam-bov: Izd-vo Pershina R.V. – S. 127…131.

18. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Pribor dlya opredeleniya koehffici-enta silih treniya pokoya. Patent na izobretenie RUS 2511615 10.04.2014.

УДК 631.303

ТИШАНИНОВ Н.П., АНАШКИН А.В.

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КУКОЛЬНОГО ЦИЛИНДРА ТРИЕРНОГО БЛОКА

Тишанинов Николай Петрович,
доктор технических наук, профессор, руководитель отдела, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» г. Тамбов, e-mail: TishaninovKN@ rambler.ru

Анашкин Александр Витальевич,
кандидат технических наук, заведующий лабораторией, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» г. Тамбов, e-mail: TishaninovKN@ rambler.ru

Реферат. *Цель исследований состояла в обосновании средств интенсификации динамики выделения коротких примесей из зерносмеси кукольным цилиндром. Установлено, что классическая теория триеров не обеспечивает инвариантность анализа процесса в триерных цилиндрах относительно их геометрических размеров. В то же время, факторный анализ процесса выделения коротких примесей ячеистыми поверхностями показывает, что с уменьшением толщины слоя сегмента зерносмеси обеспечиваются лучшие условия для выделения коротких примесей, так как сокращается время осаждения примесных частиц в зерносмеси и увеличиваются параметры контактирующего слоя в каждом условном цикле выделения частиц. Из анализа следует, что увеличение диаметра кукольного цилиндра позволит использовать указанные положительные эффекты для повышения интенсификации динамики выделения коротких примесей из зерносмеси. Для анализа процесса выделения примесного компонента в кукольном цилиндре большего диаметра уточнены базовые положения классической теории триеров в части корректировки параметров сегмента зерносмеси и динамики его движения в цилиндре. На основе выполненной корректировки разработан алгоритм расчета остаточной засоренности зерносмеси примесным компонентом, установлена ее взаимосвязь с числом циклов выделения при различной исходной засоренности, определенно соотношения длин рабочих поверхностей стандартного и предлагаемого цилиндров для равных исходных и конечных результатов рабочего процесса. Предложен метод корректировки параметров сегмента на основе материального баланса с учетом соотношения линейных скоростей движения ячеистых поверхностей сравниваемых цилиндров, определены соотношения циклов выделения примесного компонента для различных уровней исходной и остаточной засоренности зерносмеси.*

Ключевые слова: *зерносмесь, триерный блок, ячеистая поверхность, режимы, параметры, процесс выделения, короткие примеси, засоренность, качество.*

TISHANINOV, N. P., ANASHKIN, A. V.

THE INCREASING TECHNOLOGICAL CAPABILITIES OF SHORT GRAIN SEPARATION INDENTED CYLINDERS

Tishaninov, N. P.,
Doctor of Engineering, professor, the head of department, Federal State Budget Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Tambov, Russian Federation;
Anashkin, A. V.,
Candidate of Technical Sciences, the head of the laboratory, the All-Russian research institute of use of equipment and oil products in agriculture

Summary. *The aim of the research was the justification of means for intensification of the dynamics of the allocation of short impurities from grain mixture by using the puppet cylinder. It is established that the classical theory of indented cylinders does not provide invariance of analysis process of indented cylinders concerning their geometrical dimensions. At the same time, a factor analysis of the allocation process of short impurities by using cellular surfaces shows that with decreasing the thickness of the segment grain mixture provides the best conditions for the allocation of short impurities, because it reduces the deposition time of impurity particles in the grain mixture and increase parameters of contacting layer in each conditional cycle of allocation of particles. From the analysis it follows that the increase in the diameter of puppet cylinder will allow you to use these positive effects for the intensification of the dynamics of the allocation of short impurities from the grain mixture. For analyze the process of allocating the impurity component in the larger diameter cylinder doll the basic provisions of the classical theory*

of Trier are updated to adjust the parameters of the segment grain mixture and the dynamics of its movement in the cylinder. The algorithm for calculating the residual debris population grain mixture by using impurity components are developed on the base of adjustments, its relationship with the number of cycles of allocation at different initial debris population are installed, the ratio of the lengths of the working surfaces of the standard and the proposed cylinders for equal initial and final outcome of working process is determined.

The adjusting method of the segment parameters based on material balance, taking into account the ratio of linear velocities of the cellular surfaces compared cylinder is proposed, the ratio of cycles of allocation of the impurity component for different levels of initial and residual debris population of grain mixture are defined.

Keywords: *grain mixture, indented cylinders, porous surface, modes, options, allocation process, short impurities, defacement, quality.*

Введение. Наиболее жесткие требования к работе триерных блоков предъявляются по показателям остаточной засоренности в основной культуре семенами сорняков. От их содержания в значительной мере зависит класс семян их цена и последующая урожайность. Особенность выделения коротких примесей из зерносмесей заключается в том, что короткие частицы обладают физико-механическими свойствами, склонны к разновекторной сегрегации в зерновой массе основной культуры – часть из них склонна к «всплытию». Это замедляет динамику выделения коротких частиц из зерносмеси и требует поиска решений по расширению технологических возможностей кукольных цилиндров триерных блоков.

Цель исследований – обоснование средств интенсификации динамики выделения коротких примесей из зерносмеси кукольного цилиндра.

Материалы и методы. Классическая теория триеров [1 - 7], результаты исследований физико-механических свойств компонентов зерносмесей, методы теоретической механики и математического анализа.

Результаты и обсуждение. Использование всей длины ячеистых цилиндров существующих триеров не обеспечивает достаточного уровня качества процесса [8 - 11]. Причем увеличение подачи (q), снижение угла подъема зерносмеси (α), частоты вращения цилиндра (ω) и его радиуса (r) понижают результативные показатели по качеству процесса. Влияние факторов скольжения (Ω) и смещения (x) сегмента на качество процесса – производное и разнонаправленное.

Из теории триеров [1 - 7] следует, что скорость осевого смещения сегмента зерносмеси (ϑ_x) зависит от ее свойств, которые определяют динамический угол трения (β) и величину скольжения зерносмеси, а также – от толщины сегмента (h_r). Чем меньше h_r тем меньше ϑ_x. При уменьшении ϑ_x увеличивается кратность выделения примесного компонента, приходящаяся на единицу длины ячеистого цилиндра ($L_ц$).

Анализ показывает, что величину h_r можно уменьшить, увеличивая радиус (r) ячеистого цилиндра. Что будет способствовать росту интенсивности выделения примесного компонента. Кроме того, уменьшение h_r и числа слоев зерна в сегменте будет способствовать росту осаждения выделяемых частиц в сегменте.

Поэтому, вариант увеличения интенсивности выделения примесных частиц за счет роста r требует детального рассмотрения.

Сохранение условия выпадения частиц из ячеек при изменении диаметра цилиндра обеспечи-

вается условием $\omega^2 r = const$. Из этого условия следует, что с переходом от принятых в сравнительном анализе параметров ω=4рад/с и r=0,3м на r'=0,6м величина угловой скорости большего цилиндра ω'=2,83рад/с.

Угловая скорость перемещения сегмента в большем цилиндре (r'= 0,6м) будет:

$$\Omega' = 0{,}34\omega' = 0{,}34 \cdot 2{,}83 = 0{,}96 \ \ c^{-1}.$$

Величина коэффициента (0,34) принята наименьшей из диапазона (0,34…0,51) [1], так как она соответствует наибольшей скорости скольжения сегмента зерносмеси относительно ячеистой поверхности. Эти условия приняты нами как наиболее критические. При r'=0,6 они не изменятся, так как линейная скорость ячей даже увеличится:

$$\omega' \cdot r' > \omega \cdot r;$$

1,7м/с>1,2м/с.

Для большего (r'=0,6) цилиндра при подаче q=1кг/с и плотности зерносмеси γ=750кг/м^3 получим величину $h_{r'}$=0,0638м. То есть результат расчета противоречит приведенным выше ожиданиям – $h_{r'}>h_r$. Это связано с существенным снижением Ω'.

Скорость осевого смещения сегмента зерносмеси будет:

$$\vartheta'_x = \frac{0{,}0638 \cdot 0{,}96 \cdot 0{,}518}{0{,}839} = 0{,}0378 \ \ м/с$$

Сравнение ϑ'_x с величиной v_x в кукольном цилиндре радиусом 0,3 м показывает, что:

$$\frac{\vartheta'_x}{\vartheta_x} = \frac{0{,}0378}{0{,}0535} = 0{,}7.$$

То есть скорость осевого смещения сегмента зерносмеси уменьшилась на 30%.

Далее необходимо установить изменение числа примесных частиц в контактирующем слое и сегменте при различных уровнях исходной засоренности. Для этого необходимо произвести расчеты по алгоритму, рисунок 1.

В результате анализа процесса выделения примесного компонента расчетным путем получены следующие данные для различной исходной засоренности ($З_и$) зерносмеси:

$$l' = \frac{90 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}6}{180} = 0{,}942 \ \ м;$$

$$t' = \frac{3{,}14 \cdot 90}{180 \cdot 0{,}96} = 1{,}64 \ \ с;$$

$$x' = 0{,}0378 \cdot 1{,}64 = 0{,}062 \ \ м;$$

$$S'_c = 0{,}062 \cdot 0{,}942 = 0{,}0584 \ \ м^2;$$

$$n' = 0{,}0584 \cdot 44840 = 2619 \ \ шт;$$

$$m'_{сл} = \frac{2649 \cdot 40}{1000} = 105 \ \ г;$$

$$m'_{пр} = \frac{105 \cdot З_и}{100} = 3{,}15;\ 5{,}85;\ 7{,}35 \ \ г \ \ при \ \ З_и = 3;\ 5;\ 7\%;$$

$$n'_{чп} = \frac{m'_{пр} \cdot 1000}{7} = 450;\ 750;\ 1050 \ \ шт. \ \ при \ \ З_и = 3;\ 5;\ 7\%;$$

$$n = \frac{2 \cdot 0{,}0638}{0{,}00318 + 0{,}00296} = 20{,}8 \ \ шт;$$

$P' = n'_{чп} \cdot 22 = 9360;\ 15600;\ 21840\ \textit{шт}\ \textit{при}\ З_и = 3;\ 5;\ 7\%.$

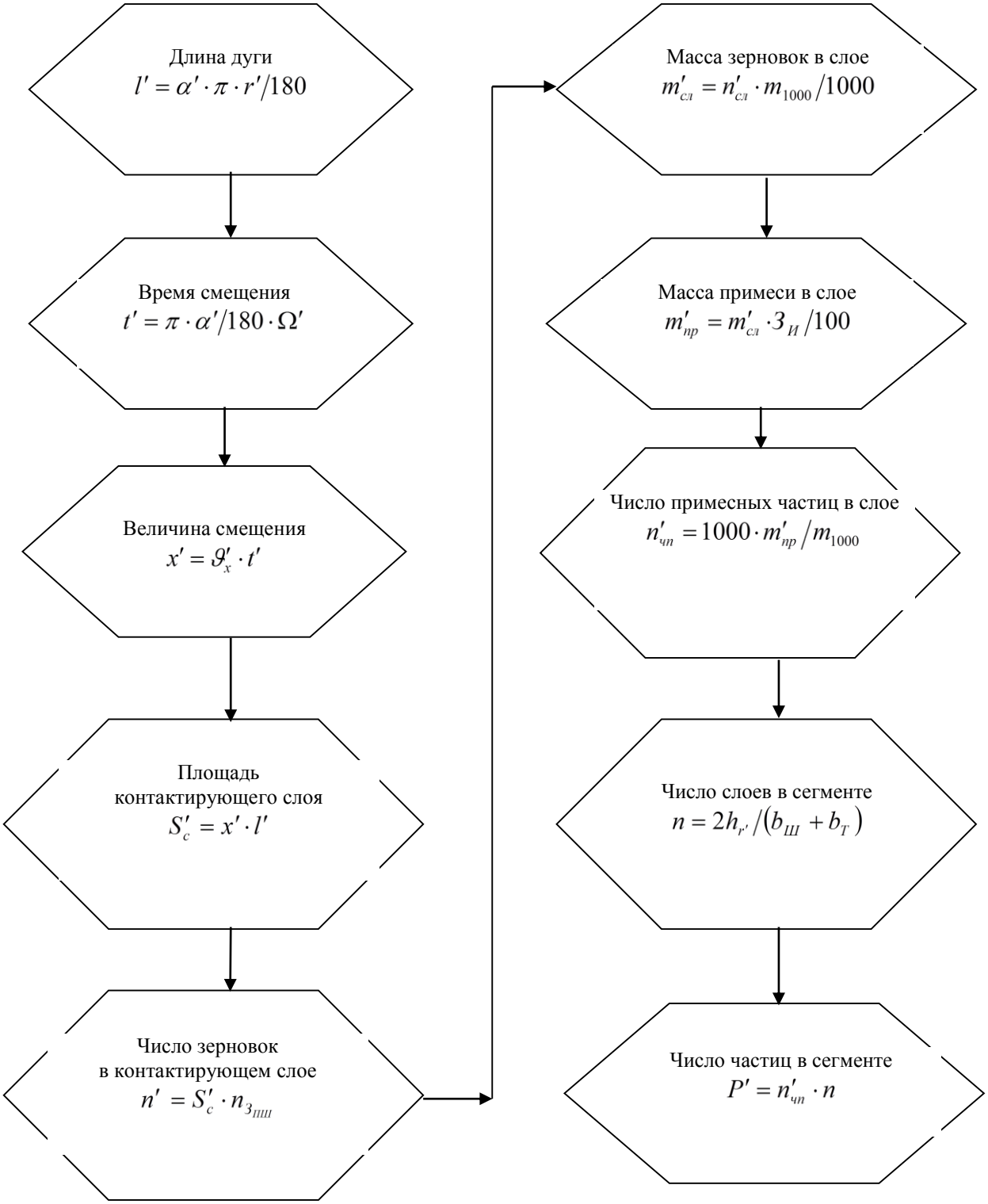


Рисунок 1 − Алгоритм расчета числа примесных частиц в слое и сегменте зерносмеси

Анализ расчетных данных показывает, что для заданной в двух сравниваемых вариантах (r=0,3м и r'=0,6м) величины q=1,0 кг/с параметры сегментов существенно отличаются. По этим параметрам возможно и необходимо проверить реальную величину подачи, принимая во внимание тот факт, что классическая теория триеров не обладает инвариантностью относительно условий протекания процесса.

Для первого варианта (r=0,3м) и других, выше указанных параметров протекания процесса,

реальная подача зерносмеси (q_p) будет:

$$q_p = q_p(l, h_r, \vartheta_x, \gamma) = l \cdot h_r \cdot \vartheta_x \cdot \gamma = 0{,}471 \cdot 0{,}0637 \cdot 0{,}0535 \cdot 750 = 1{,}2 \text{ кг/с. (1)}$$

То есть $q \neq q_p (1 \neq 1{,}2)$, но это допустимое расхождение для аналитического описания процесса с использованием эмпирических уравнений. Поэтому необходимо считать, что в анализе динамики выделения примесного компонента реальный уровень подачи составлял q=1,2 кг/с (4,32 т/ч).

Для второго варианта:

$$q'_p = q'_p(l', h_{r'}, \vartheta'_x, \gamma) = l' \cdot h_{r'} \cdot \vartheta'_x \cdot \gamma = 0{,}942 \cdot 0{,}0638 \cdot 0{,}0378 \cdot 750 = 1{,}7 кг/с \text{ (2)}$$

Из уравнения (2) видно, что q_p' существенно отличается от заданного значения q=1,0кг/с. Возникает вопрос – по какому варианту необходимо корректировать расчетные параметры? Ответ очевиден – второй вариант (r'=0,6м) необходимо приводить к сопоставимости с первым, так как существующая теория адаптирована применительно к существующим триерным блокам (r=0,3м).

Принимая во внимание условие механического подобия подъема и выброса частиц во всех ячеистых цилиндрах – $\omega^2 r = const$ можно утверждать, что параметры (α, β, υ_x) не требуют корректировки. Тогда сопоставимость условий протекания процесса в двух вариантах (r=0,3м и r'=0,6м) может быть обеспечена только за счет корректировки $h_{r'}$.

Обоснование этому варианту корректировки расчетных значений параметров следующее. Получены данные, когда $h_{r'} > h_r$, (0,0638>0,0637), противоречат логике протекания процесса. На ячеистой поверхности большого диаметра, движущейся с большой линейной скоростью, при ровной подаче зерносмеси не может формироваться слой большой высоты.

Поэтому величину $h_{r'}$ необходимо откорректировать по материальному балансу (q_p/q_p'), что обеспечит равенство расходных характеристик, которое должно быть безусловно обеспечено. Следовательно:

$$h_{r'y} = h_{r'} \cdot \frac{q_p}{q'_p} = 0{,}0638 \cdot \frac{1{,}2}{1{,}7} = 0{,}045 м.$$

Тогда уточненное число слоев в сегменте зерносмеси будет:

$$N_{слу} = 20{,}8 \cdot \frac{1{,}2}{1{,}7} = 14{,}7 шт.$$

Уточненные значения чисел примесных частиц в сегменте при различных $З_и$ будут:

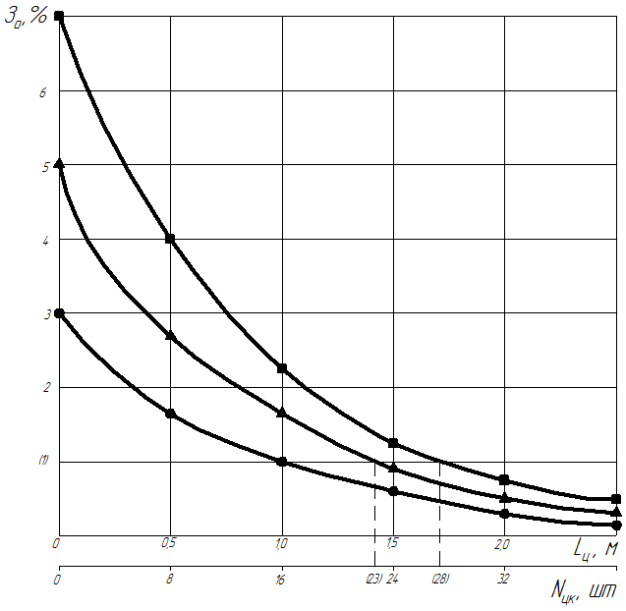
$$P'_y = n'_{чп} \cdot 14{,}7 = 6615;\ 11025;\ 15435 шт.\ при\ \ З_и = 3;\ 5;\ 7\%.$$

По уточненным исходным параметрам сегмента выполнена оценка динамики выделения примеси из зерносмеси ячеистым цилиндром большего диаметра (r'=0,6м). Обоснованность выполненной корректировки подтверждается тем, что в существующей теории триеров условие $\omega^2 r = const$ соблюдено, а разница линейных скоростей не учтена. Их соотношение равно принятому корректирующему коэффициенту:

$$\frac{\omega r}{\omega r'} = \frac{q_p}{q'_p} = \frac{1{,}2}{1{,}7} = 0{,}706.$$

Из выполненного анализа следует, что с увеличением кратности выделения частиц из сегмента их число падает, остаточная засоренность снижается. Результаты выделения частиц в графической форме представлены на рисунке 2.

Из рисунка 2 видно, что 1%-ый уровень остаточной засоренности ($З_о$) с использованием ячеистого цилиндра увеличенного диаметра ($r'=0{,}6м$) достигается за: 15,5 циклов выделения примесных частиц из сегмента при $З_и=3$ %; 23 цикла – при $З_и=5$ %; 28 циклов – при $З_и = 7$ %.



- $З_и$=3%; - $З_и$=5%; - $З_и$=7%

Рисунок 2 – Зависимость остаточной засоренности от исходной засоренности, рабочей длины ячеистого цилиндра и числа циклов выделения – $З_о = f(З_И, L_Ц, N_{ЦК})$ для r' =0,6 м

Выводы. Сравнение результатов оценки динамики выделения примесного компонента разными по диаметру ячеистыми цилиндрами показывает, что с увеличением радиуса от *r=0,3м* до *r´=0,6*м рабочая длина ячеистой поверхности для достижения 1%-го уровня остаточной засоренности для всех уровней $З_и$ сокращается в 1,42…1,45 раза.

Увеличенный кукольный цилиндр обеспечивает и 0,5 %-ый уровень остаточной засоренности во всем диапазоне $З_и$=3…7 %. При этом кратность выделения примесного компонента составляет соответственно: 26 – при $З_и$ = 3 %; 32 – при $З_и$ = 5 %; 37,5 – при $З_и$ = 7 %. Этим величинам кратности выделения примеси соответствуют длины рабочей поверхности ячеистого цилиндра: 1,6 м; 2,0 м; 2,3 м.

Список литературы

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

2. Летошнев М.Н. Теория триера // Сборник научно-технических работ ЛИМЭСХ. – М.: Л.: ОГИЗ Сельхозгиз, 1948. – т.4.

3. Летошнев М.Н. Очистка и сортирование семенного материала и зерноочистительные машины. – Л.: Гос. институт опытной агрономии, 1929. – 28с.

4. Летошнев М.Н. О движении зерна внутри горизонтального вращающегося цилиндра // Сборник научно-технических работ Ленинградского института механизации сельского хозяйства. – Сельхозгиз, 1950. – Вып.7.

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

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

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

8. 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.

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

10. Тишанинов Н.П. Теоретические предпосылки поиска резервов управления процессами триерной очистки зерносмесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2014. – №6. – С. 28…38.

11. Тишанинов Н.П. Модернизация технологий подработки зерна на базе средств управления массовыми потоками / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2014. – №2(8). – С. 35…41.

References

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

2. Letoshnev M.N. Teoriya triera // Sbornik nauchno-tekhnicheskikh rabot LIMEhSKh. – M.: L.: OGIZ Seljkhozgiz, 1948. – t.4.

3. Letoshnev M.N. Ochistka i sortirovanie semennogo materiala i zerno-ochistiteljnihe mashinih. – L.: Gos. institut opihtnoyj agronomii, 1929. – 28s.

4. Letoshnev M.N. O dvizhenii zerna vnutri gorizontaljnogo vrathayuthe-gosya cilindra // Sbornik nauchno-tekhnicheskikh rabot Leningradskogo instituta mekhanizacii seljskogo khozyayjstva. – Seljkhozgiz, 1950. – Vihp.7.

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

6. Listopad G.E. Seljskokhozyayjstvennihe i meliorativnihe mashinih. – M.: Agropromizdat, 1986. – 687s.

7. Lurje A.B. Raschet i konstruirovanie seljskokhozyayjstvennihkh mashin. – L.: Mashinostroenie, 1997. – 526s.

8. Tishaninov N.P. Obosnovanie parametrov stenda dlya issledovaniya yacheistihkh poverkhnosteyj / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, K.A. Rastyushevskiyj // Tekhnika v seljskom khozyayjstve. – 2013. – № 2. – S. 18…21.

9. Tishaninov N.P. Rezuljtatih issledovaniyj processa triernoyj separa-cii zernosmeseyj / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin // Nauka v centraljnoyj Ros-sii. – 2013. – №6. – S. 37…45.

10. Tishaninov N.P. Teoreticheskie predposihlki poiska rezervov uprav-leniya processami triernoyj ochistki zernosmeseyj / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin // Nauka v centraljnoyj Rossii. – 2014. – №6. – S. 28…38.

11. Tishaninov N.P. Modernizaciya tekhnologiyj podrabotki zerna na baze sredstv upravleniya massovihmi potokami / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin // Nauka v centraljnoyj Rossii. – 2014. – №2(8). – S. 35…41.

УДК 621.899

ОСТРИКОВ В.В., КОРНЕВ А.Ю.

ПРОБЛЕМЫ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКЕ

Остриков Валерий Васильевич,
доктор технических наук, заведующий лабораторией использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов, e-mail: viitinlab8@bk.ru

Корнев Алексей Юрьевич,
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов, e-mail: viitinlab8@bk.ru

Реферат: *С ростом механизации сельского хозяйства возрастет и потребление энергоресурсов не только на производство сельскохозяйственной продукции, но и на её переработку, хранение, перевозку. Поэтому углубление связей топливно-энергетического и аграрно-промышленного комплекса неизбежно будет приводить к сокращению производства в сельском хозяйстве при повышении стоимости энергоресурсов. Необходимы разработки и внедрения новых эффективных и ресурсосберегающих технологий, позволяющих добиться сокращения потребления энергии в расчете на единицу сельскохозяйственной продукции. Важным фактором является вторичное использование и включение в оборот отходов сельскохозяйственного производства и потребления в том числе и отработанных нефтепродуктов. Рассмотрены проблемы качества приобретаемых и применяемых горюче-смазочных материалов методы улучшения их свойств самими потребителями, а также создания вторичных продуктов на базе отработанных нефтепродуктов.*

Ключевые слова: *нефтепродукты, смазочное масло, топливо, качество, очистка, продление сроков службы, ремонтно – восстановительные составы, экспресс – контроль.*

OSTRIKOV V.V., KORNEV A.YU.

PROBLEMS OF EFFECTIVE USE PETROLEUM PRODUCTS IN FARM MACHINERY

Ostrikov Valery Vasilevich,
Full Doctor of Technical Sciences, head of the laboratory use of lubricants and waste oil Federal State Budget Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru

Kornev Alexey Yurevich,
Ph.D., Leading Researcher of laboratory use of lubricants and waste oil Federal State Budget Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru

Abstract: *With the increasing mechanization of agriculture and increase energy consumption not only on agricultural production but also in its processing, storage, transportation. Therefore, deepening of ties of fuel and energy and agro-industrial complex will inevitably lead to a reduction in agricultural production with increasing energy costs. The need to develop and implement innovative, efficient and resource-saving technologies, allowing to achieve a reduction in energy consumption per unit of agricultural production. An important factor is the re-use and the inclusion of turnover of agricultural waste and*

consumption including waste oil. The problems of the quality of fuel purchased and used, methods of improving their properties by consumers, as well as secondary products based on waste oil.

Keywords: *oil, lubricating oil, fuel quality, cleaning, extension service and repair - regenerative compositions express - control.*

Введение. В отечественном сельскохозяйственном производстве в силу его высокозатратности и подавляющей оснащенности устаревшей техникой основным критерием выбора нефтепродуктов остается низкая цена их приобретения. В реальных условиях использования устаревших машин при отсутствии удовлетворительного качества обслуживания и ремонта, переход на современные топлива и масла не всегда приводит к положительному эффекту, а иногда и наоборот вызывает повышение затрат на эксплуатацию [1–9].

Использование дизельных топлив с пониженным содержанием серы и высоким цетановым числом в изношенной технике может привести к увеличению расхода топлива, а низкие смазывающие свойства могут стать причиной снижения надежности работы двигателей внутреннего сгорания и топливной аппаратуры [6].

Нередки случаи, когда при переходе от традиционных масел М–10$Г_2$к, М–10$Г_2$, М-10ДМ к новым маслам с улучшенным пакетом присадок, через определенное время наработки машины до критических значений увеличивается угар масла, уменьшается или увеличивается его вязкость и содержание нерастворимого осадка [10].

В тоже время, в последнее десятилетие в АПК России стало появляться все больше современных машин зарубежного производства. Сервисные службы, как правило, следят за качеством и состоянием используемых смазочных материалов и проводят их замену в соответствии с рекомендуемым заводом-изготовителем сроком, исходя из загруженности, при условии высокого качества используемых топлив и масел.

Если считать, что смазочные материалы, приобретаемые у дилеров, обладают удовлетворительным качеством, то используемое в хозяйствах дизельное топливо оставляет желать лучшего. Существует противоречие между высоким качеством дизельного топлива, позиционируемого заводами – изготовителями, и фактическим низким качеством топлива, используемого в сельхозпредприятиях, которое можно объяснить двумя основными причинами:

– технологической несостоятельностью мелких и средних нефтяных компаний, занятых производством дизельного топлива, реализуемого по более низкой цене;

– технической несостоятельностью баз хранения нефтепродуктов на уровне сельскохозяйственных предприятий, выражающейся в неудовлетворительных условиях содержания.

Установленные зарубежными производителями машин сроки замены масел базируются чаще всего на исходном содержании серы в топливе. При этом данный показатель редко определяется даже в условиях аккредитованных лабораторий областных нефтебаз, являющихся по совместительству дилерами крупных нефтяных компаний. Экспресс-методы определения содержания серы в топливах как таковые отсутствуют. Поэтому инженерным службам остается производить замену масел в послегарантийный срок использования зарубежных машин по усредненным значениям наработки, с перестраховкой в сторону уменьшения. Производить замену масел по фактическим значениям физико-химических показателей работающих импортных масел не представляется возможным, так как в большинстве сельскохозяйственных предприятиях отсутствуют элементарные средства контроля.

Результаты и обсуждение. Институт ФГБНУ ВНИИТиН на протяжении ряда лет проводит

научно-исследовательские работы по сохранению работоспособности машин за счет эффективного использования топлив и смазочных материалов в зарубежной технике послегарантийного периода эксплуатации. Разрабатываются новые методы и средства экспресс-контроля качества топлив и масел, которые скомпонованы в портативную лабораторию [11].

Подготовлены рекомендации замены работающих моторных масел по их фактическому состоянию в зависимости от качества используемых топлив, масел и условий эксплуатации.

Решаются задачи повышения степени чистоты используемого в АПК дизельного топлива, его очистки от механических примесей и воды специальными установками. Разрабатывается новый способ повышения смазывающих свойств дизельного топлива в процессе его очистки от механических примесей и воды, который предусматривает применение недорогих компонентов, вносимых в топливо в предельно малых количествах, и может осуществляться на несложном оборудовании в условиях нефтебаз или нефтескладов сельхозпредприятий [7 – 9].

Достаточно сложной проблемой является поддержание в работоспособном состоянии стареющего парка машин, в то время как ремонтно-технические базы сельхозпредприятий находятся в крайне неудовлетворительном состоянии.

В последние годы появилось новое направление ремонта – безразборный, которое может стать переходным этапом в решении задач сохранения работоспособности устаревшей техники, предшествующим обновлению машинно-тракторного парка, реконструкции ремонтно-обслуживающей базы.

В частности, рядом НИИ и фирм предлагаются новые ремонтно-восстановительные препараты, добавки к смазочным маслам, позволяющие, восстанавливать изношенные поверхности деталей, продлевать срок службы машин и снижать затраты на их ремонт [12].

Поэтому ФГБНУ ВНИИТиН совместно с ФГБНУ ГОСНИТИ и рядом других научных учреждений и фирм проводятся лабораторные, стендовые и производственные испытания новых составов, обеспечивающих ремонтно-восстановительное воздействие на работающие детали [13 – 16].

Разработаны новые смазочные композиции, которые не только способствуют восстановлению деталей, но и продлевают срок службы масел.

Уже достаточно давно рассматривается альтернатива использования растительных масел как смазочных материалов. Однако установлено, что применение подсолнечных, рапсовых, кукурузных и других масел в узлах и агрегатах машин не всегда является эффективным, т.к. растительные масла содержат в своей основе значительное количество природных «загрязнителей», которые провоцируют окислительные процессы, образование отложений в системах смазки и т.д.

В результате работы ФГБНУ ВНИИТиН получены смазочные материалы аналогичные гидравлическим и трансмиссионным маслам нефтяного происхождения, которые прошли успешные производственные испытания. Разработано новое оборудование получения смазочных масел из растительного сырья, адаптированное к условиям АПК.

В настоящее время идет интенсивный переход современных машин с минеральных масел на синтетические, в связи с чем доля используемых нефтяных масел по сравнению с синтетическими будет уменьшаться. Соответственно возникает вопрос утилизации отработанных синтетических масел.

ФГБНУ ВНИИТиН ставит перед собой задачи разработки технологий утилизации синтетических отработанных нефтепродуктов с получением высококачественных смазочных материалов и технических жидкостей, пригодных к повторному использованию в сельскохозяйственной технике.

Решение проблемы утилизации отработанных масел является важнейшей экологической, социальной, технологической и экономической задачами. Проведенные теоретические исследования и глубокий научный анализ позволили установить возможность формирования нового комплексного методологического подхода к вопросу переработки отработанных масел.

Выводы. С учетом имеющегося большого опыта разработки способов очистки всех видов минеральных масел обоснован и разработан способ удаления из работающих моторных масел продуктов «старения» и загрязнений, позволяющий продлить срок службы работающего моторного масла на 50 %, тем самым снизить потребление товарных масел на 35…40 %, уменьшить количество образующихся отработанных масел на 25…30 %.

Список литературы

1. В.В. Булатников. Как улучшить качество нефтепродуктов. // Ж. Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний, № 4, 2000 г, с. 20-21.

2. В.В. Остриков. Повышение эффективности использования смазочных материалов. // Ж. Механизация и электрификация сельского хозяйства, № 5, 2010 г, с. 10-11.

3. В.В. Остриков, А.П. Уханов, К.У. Сафаров, С.А. Нагорнов, О.А. Клейменов. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости. Уч. пособие для ВУЗов, 2009 г, Ульяновск, 575 с.

4. В.В. Остриков, О.А. Клейменов, Н.Н. Тупотилов, А.Ю. Корнев. Повышение эффективности использования смазочных материалов в узлах и агрегатах сельскохозяйственной техники. Воронеж. Изд. «Истоки», 2008 г, 159 с.

5. Справочник фермера / В.Н. Кузьмин, В.Ф. Федоренко, С.Н. Сазонов.-М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. – 616 с.

6. В.В. Остриков, А.Ю. Корнев, А.Ю. Бектилевов. Повышение эксплуатационных свойств дизельного топлива. // Ж. Техника и оборудование для села, № 6, 2012 г, с. 12-13.

7. Остриков В.В. Повышение эксплуатационных свойств дизельного топлива / Остриков В.В., Корнев А.Ю., Бектилевов А.Ю // Техника и оборудование для села № 6. – 2012. – С. 12-13.

8. Остриков В.В. Способ очистки дизельного топлива / Остриков В.В., Корнев А.Ю., Нагорнов С.А., Бектилевов А.Ю., Павлов С.С. // Патент РФ № 2477303. – 2013.

9. Остриков В.В. Очистка загрязненного дизельного топлива и повышение его смазывающих свойств в условиях предприятий АПК / Остриков В.В., Корнев А.Ю., Бектилевов А.Ю., Павлов С.С. // Тезисы докладов XII Международной научно-технической конференции «Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем».– Углич. – 10-12 сентября 2012. – С. 188 – 194.

10. В.В. Остриков, А.Ю. Корнев. Контроль качества моторных масел // Ж. Сельский механизатор, № 3, 2009 г, с. 28-29.

11. Остриков В.В., Кашникова Л.В., Матыцин Г.Д. Экспресс-лаборатория для контроля состояния моторных масел // Ж. Техника для городского хозяйства, № 2, 2001 г с. 43 – 44

12. Бурумкулов Ф.Х. Повышение межремонтного ресурса агрегатов с использованием наноэлектротехнологий / Бурумкулов Ф.Х., Лялякин В.П. и др // Техника в сельском хозяйстве № 3. – 2007. – С. 8 – 13.

13. Остриков В.В. Расширение функциональных возможностей добавок к моторным маслам / В.В. Остриков, А.Г. Зимин, С.Ю. Попов, В.В. Сафонов, К.В. Сафонов // Техника в сельском хозяйстве. – №6. – 2012. – с. 32.

14. Остриков В.В. Смазочная композиция на основе отработанного моторного масла / В.В. Остриков, Н.Н Тупотилов, А.Ю. Корнев, С.В. Власов // Химия и технология топлив и масел. – №4. – 2006. – с. 35-37.

15. Попов С.Ю. и др., "Способ очистки моторного масла от продуктов старения и загрязнений," Патент на изобретение № 2528421, сентябрь 20, 2014.

16. В.В. Остриков, С.Ю. Попов, В.В. Сафонов. Многофункциональная наноструктурированная добавка к работающим моторным маслам. ТРУДЫ 9-й Международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». – Часть 5. – «Инфокоммуникационные технологии и нанотехнологии», 21–22 мая 2014. – Москва. – ГНУ ВИЭСХ. с. 186-191

References

1. V.V. Bulatnikov. Kak uluchshit' kachestvo nefteproduktov. // Mir nefteproduktov. Vestnik neftyanykh kompaniy, № 4, 2000 g, s. 20 - 21.

2. V.V. Ostrikov. Povysheniye effektivnosti ispol'zovaniya smazochnykh materialov. // Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva, № 5, 2010 g, s. 10 - 11.

3. V.V. Ostrikov, A.P. Ukhanov, K.U. Safarov, S.A. Nagornov, O.A. Kleymenov. Toplivo, smazochnyye materialy i tekhnicheskiye zhidkosti. Uch. posobiye dlya VUZov, 2009 g, Ul'yanovsk, 575 s.

4. V.V. Ostrikov, O.A. Kleymenov, N.N. Tupotilov, A.YU. Kornev. Povysheniye effektivnosti ispol'zovaniya smazochnykh materialov v uzlakh i agregatakh sel'skokhozyaystvennoy tekhniki. Voronezh. Izd. «Istoki», 2008 g, 159 s.

5. V.V. Ostrikov, A.YU. Kornev, A.YU. Bektilevov. Povysheniye ekspluatatsionnykh svoystv dizel'nogo topliva. // Tekhnika i oborudovaniye dlya sela, № 6, 2012 g, s. 12 - 13.

6. Ostrikov V.V. Povysheniye ekspluatatsionnykh svoystv dizel'nogo topliva / Ostrikov V.V., Kornev A.YU., Bektilevov A.YU // Tekhnika i oborudovaniye dlya sela № 6. – 2012. – S. 12 - 13.

7. Ostrikov V.V. Sposob ochistki dizel'nogo topliva / Ostrikov V.V., Kornev A.YU., Nagornov S.A., Bektilevov A.YU., Pavlov S.S. // Patent RF № 2477303. – 2013.

8. Ostrikov V.V. Ochistka zagryaznennogo dizel'nogo topliva i povysheniye yego smazyvayushchikh svoystv v usloviyakh predpriyatiy APK / Ostrikov V.V., Kornev A.YU., Bektilevov A.YU., Pavlov S.S. // Tezisy dokladov XII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Modernizatsiya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na baze innovatsionnykh mashinnykh tekhnologiy i avtomatizirovannykh sistem».– Uglich. – 10-12 sentyabrya 2012. – S. 188 – 194.

9. V.V. Ostrikov, A.YU. Kornev. Kontrol' kachestva motornykh masel // Sel'skiy mekhanizator, № 3, 2009 g, s. 28 - 29.

10. Ostrikov V.V., Kashnikova L.V., Matytsin G.D. Ekspress-laboratoriya dlya kontrolya sostoyaniya motornykh masel // Tekhnika dlya gorodskogo khozyaystva, № 2, 2001 g s. 43 – 44

11. Burumkulov F.KH. Povysheniye mezhremontnogo resursa agregatov s ispol'zovaniyem nanoelektrotekhnologiy / Burumkulov F.KH., Lyalyakin V.P. i dr // Tekhnika v sel'skom khozyaystve № 3. – 2007. – S. 8 – 13.

12. Ostrikov V.V. Rasshireniye funktsional'nykh vozmozhnostey dobavok k motornym maslam / V.V. Ostrikov, A.G. Zimin, S.YU. Popov, V.V. Safonov, K.V. Safonov // Tekhnika v sel'skom khozyaystve. – №6. – 2012. – s. 32.

13. Ostrikov V.V. Smazochnaya kompozitsiya na osnove otrabotannogo motornogo masla / V.V. Ostrikov, N.N Tupotilov, A.YU. Kornev, S.V. Vlasov // Khimiya i tekhnologiya topliv i masel. – №4. – 2006. – s. 35 - 37.

14. Popov S.YU. i dr., "Sposob ochistki motornogo masla ot produktov stareniya i zagryazneniy," Patent na izobreteniye № 2528421, sentyabr' 20, 2014.

15. V.V. Ostrikov, S.YU. Popov, V.V. Safonov. Mnogofunktsional'naya nanostrukturirovannaya do-

bavka k rabotayushchim motornym maslam. TRUDY 9-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Energoobespecheniye i energosberezheniye v sel'skom khozyaystve». – Chast' 5. – «Infokommunikatsionnyye tekhnologii i nanotekhnologii», 21–22 maya 2014. – Moskva. – GNU VIESKH. s. 186-191

УДК 621.436

МАРКОВ В.А., ДЕВЯНИН С.Н., НАГОРНОВ С.А., ЛЕВИНА Е.Ю.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНО-БИО-ТОПЛИВНОЙ ЭМУЛЬСИИ В АВТОТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЯХ

Марков Владимир Анатольевич,
доктор технических наук, профессор кафедры «Теплофизика» Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана.
Девянин Сергей Николаевич,
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Тракторы и автомобили» Московского государственного агроинженерного университета им. В.П. Горячкина.
Нагорнов Станислав Александрович,
доктор техничеких наук, профессор,
зам. директора Федерального государственного бюджетного научного учреждения Всероссийского научно-исследовательского института использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве.
Левина Екатерина Юрьевна,
аспирант Федерального государственного бюджетного научного учреждения Всероссийского научно-исследовательского института использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве.

Реферат. *Добавление воды в дизельное топливо позволяет значительно улучшить экологические характеристики двигателей внутреннего сгорания (ДВС), при их работе на водно-топливных эмульсиях (ВТЭ). Широкое применение ВТЭ сдерживается, в первую очередь, сниженной смазывающей способности такого топлива, проблемами связанными нестабильностью и невозможностью длительного хранения эмульсий, а также дороговизной эмульгаторов. Вследствие этого, возникает необходимость сохранить способность ВТЭ снижать концентрацию оксидов азота и монооксида углерода и других токсичных веществ в ОГ, но при этом увеличить смазывающую способность смесевого топлива. Это достигается путем смешивания дизельного топлива, воды и биодизельного топлива. Для получения водно-био-топливной эмульсии применен роторно-импульсный аппарат.*

Проведена оценка возможности снижения выбросов токсичных компонентов с отработавшими газами полученной водно-био-топливной эмульсии и дизельного топлива на основании экспериментальных испытаний дизеля Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5) при его работе на режимах 13-ступенчатого цикла Правил 49 ЕЭК ООН.

Ключевые слова: *дизель, биодизель, водно-био-топливная эмульсия.*

MARKOV V.A., DEVYANIN S.N., *NAGORNOV S.A., LEVINA E.YU*

USE OF WATER-BIO-FUEL EMULSIONS IN AUTOMOTIVE DIESEL ENGINES

Markov V.A.
D. Sc. (Eng.), professor of «Heat Physics» department of the Bauman Moscow State Technical

University.
Devyanin S.N.
D. Sc. (Eng.), head of «Tractors and Automobiles» department of the Moscow State University for Agriculture and Engineering n.a. V.P. Goryachkin.
Nagornov S.A.
D. Sc. (Eng.), professor, deputy director of Federal State Scientific Institution All-Russian Research Institute for use of machinery and petroleum products in agriculture
Levina E.YU
Postgraduate of Federal State Scientific Institution All-Russian Research Institute for use of machinery and petroleum products in agriculture

Abstract. *Addition of water in diesel fuel can significantly improve the environmental performance of internal combustion engines (ICE) running on water-fuel emulsions (WFE). WFE widespread use is constrained due to, primarily, reduced lubricity of of the fuel, problems of instability and the inability of to long-term storage of emulsions, as well as the high cost of emulsifiers. Consequently there is a need to maintain the WFE ability to lower the concentration of nitrogen oxides and carbon monoxide and other toxic substances in the exhaust gas, but increase composite propellant lubricity. This is achieved by adding biodiesel in WFE. Rotary pulse apparatus applied for obtaining of this water-fuel-emulsion.*

Evaluated opportunities to reduce emissions of toxic components in exhaust gases produced water and bio-fuel emulsions and diesel fuels on the basis of experimental tests of diesel D-245.12S (4 CHN 11 / 12.5) for his work on modes of 13-step cycle of ECE Regulation 49 UN.

Keywords: *diesel, biodiesel, water-bio-fuel emulsions.*

Введение. Современная стратегия защиты окружающей среды требует удовлетворение экологических показателей транспортных дизелей санитарным нормам мировых стандартов. Основными нормируемыми экологическими стандартами токсичными компонентами выхлопных газов двигателей являются оксиды азота (NO_x), монооксид углерода (CO_y), сажа (С) и углеводороды (C_nH_m).

Оксиды азота является наиболее токсичным компонентом и на их долю приходится до 95% суммарной токсичности ОГ [1]. В соответствии с Международной Конвенцией МАРПОЛ 73/78 к 2016 г. предельные значения выбросов оксидов азота нужно сократить в 3,5 раза. Следовательно, задача снижения токсичных выбросов с отработавшими газами автотракторной техники является весьма актуальной.

Образование оксидов азота в камере сгорания (КС) дизеля происходит с поглощением теплоты, поэтому на выброс этого токсичного компонента с ОГ оказывает температура сгорания. Снижение содержания оксидов азота в ОГ возможно при снижении максимальной температуры сгорания топлива. Это достигается при использовании в двигателе водно-топливной эмульсии – смеси дизельного топлива (ДТ) и воды. Однако широкое применение ВТЭ до сих пор является проблематичным из-за сниженной смазывающей способности такого топлива. Для устранения этого основного недостатка использовали водно-био-топливную эмульсию (ВБТЭ) [2-10].

Материалы и методы. Оценка возможности улучшения экологических показателей при использовании ВБТЭ проводилась на дизеле Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5). Дизель типа Д-245.12С испытывался на чистом ДТ и на эмульсиях биодизельного топлива и воды с содержанием последней от 0 до 15% по объему. Для получения эмульсий биодизельного топлива и воды использовано эмульгирующее устройство роторного типа. Технологическая схема получения эмульсии (рису-

нок 1) включает: резервуар для хранения нефтяного биодизельного топлива 1, емкость для хранения воды 2, расходомеры контроля количества подаваемого биодизельного топлива 3 и воды 4, насосы 5, роторный аппарат 6, резервуар для хранения смесевого топлива 7, системы технологических трубопроводов с арматурой 8-10, напорную магистраль 11, общий расход жидкости контролировался с помощью расходомера 12. Роторный аппарат был оснащен электродвигателем 13 с блоком питания 14, манометрами 15 и гидрофоном 16, осциллографом 17 и анализатором гармоник 18. Биодизельное топливо и вода с помощью насосов подавались на обработку в роторный аппарат. После обработки из аппарата готовое смесевое топливо самотеком стекало в резервуар для хранения смесевого топлива.

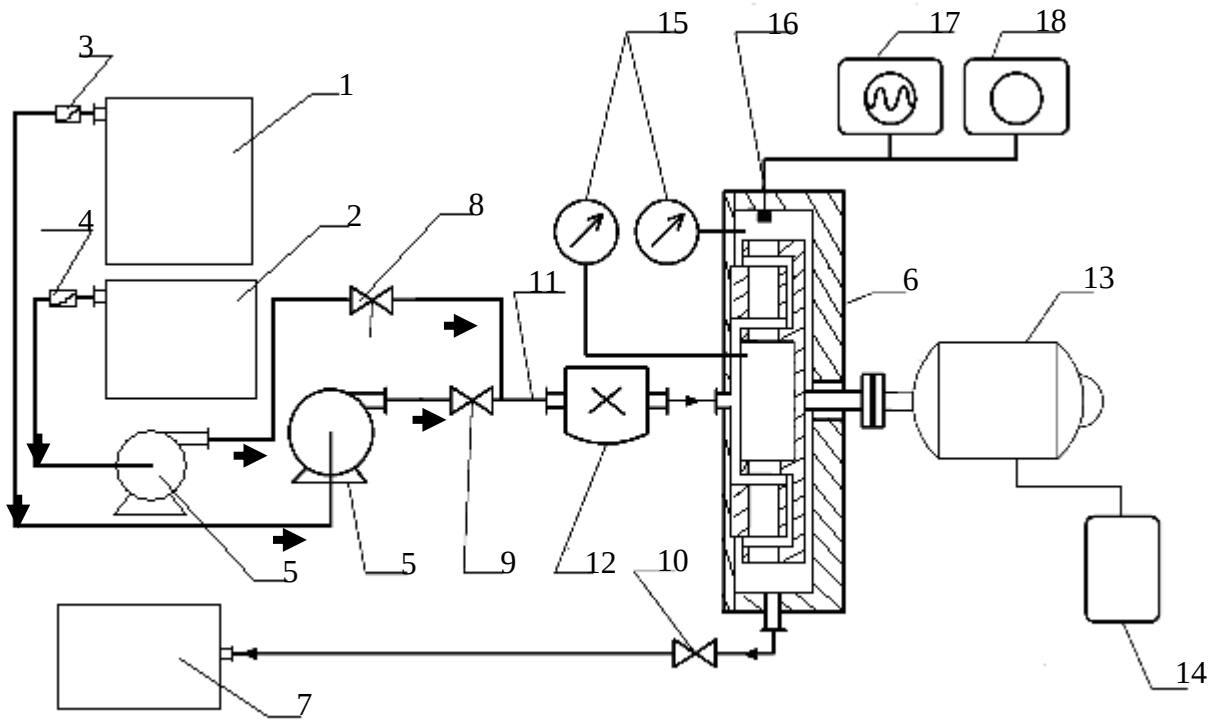


Рисунок 1 – Технологическая схема получения водно-био- топливной эмульсии

Вал роторного аппарата приводился во вращение через втулочно-пальцевую муфту МУВП электродвигателем постоянного тока марки 2ПБ-112. Для плавного регулирования оборотов вращения электродвигатель 13 подключен через блок питания 14 постоянного тока с регулировкой стабилизированного выходного напряжения. Изменение давления в полостях ротора и статора фиксировалось образцовыми манометрами 15. Для оценки характера изменения звукового давления в рабочей камере аппарата использовался гидрофон из титаната бария (BaTiO), установленный напротив канала ротора с возможностью регулирования расстояния до канала. Указанный датчик подключен к запоминающему осциллографу С8-12 и анализатору гармоник С5-3.

В основе эффективной комплексной технологии получения смесевого (биодизельное топливо и вода) топлива заложено многофакторное энергетическое воздействие в импульсной форме, интенсифицировавшее процесс смешивания топлив, разрушавшее связи между отдельными частями молекул и влиявшее на изменение структурной вязкости, в результате которых происходило улучшение физико-химических параметров топлива, его эксплуатационных и экологических свойств.

Для получения стойких водно-био-топливных эмульсий этих компонентов применен эмульгатор (ПАВ) – алкенилсукцинимид мочевины (СИМ), производимый по ТУ 38.1011039-85. Он

представляет собой вязкую, прозрачную, растворимую в углеводородах жидкость светло-коричневого цвета. Содержание ПАВ в ВБТЭ не превышало 0,5 % (масс.). Полученные эмульсии были достаточно стабильны: расслоение эмульсии на две фракции происходило лишь после нескольких недель хранения. Однако первоначальные вид и свойства эмульсии восстанавливались путем ее простого взбалтывания.

Испытания дизеля Д-245.12С проведены на моторном стенде АМО «ЗиЛ», оборудованном необходимой измерительной аппаратурой. Дизель исследовался при неизменном положении упора дозирующей рейки ТНВД с постоянным штатным УОВТ, равным $\theta = 13^{o}$ поворота коленчатого вала до верхней мертвой точки (п.к.в. до ВМТ). Были определены показатели дизеля при его работе на режимах 13-ступенчатого цикла Правил 49 ЕЭК ООН.

Результаты исследований. Экспериментальные данные по часовому расходу топлива $G_т$, представленные на рисунке 2,*а*, свидетельствуют о том, что при использовании ВБТЭ на большинстве режимов расход топлива $G_т$ несколько возрастал. Это объясняется большей плотностью воды ρ=998,2 кг/м^3 по сравнению с ДТ, где ρ=830 кг/м^3 и, следовательно, большей плотностью ВБТЭ. Некоторое уменьшение часового расхода эмульгированных топлив $G_т$ на режимах с пониженной частотой вращения и малой нагрузкой (например, на режимах с n=1500 мин$^{-1}$ и M_e от 40 до 100 Н·м) объясняется повышенными утечками ВБТЭ, вызванными их меньшей вязкостью, и снижением объемных подач этих топлив.

Вид топлива оказывает заметное влияние на выброс с ОГ оксидов азота. Показанные на рисунке 2,*б* характеристики концентрации в ОГ оксидов азота C_{NOx} подтверждают возможность значительного снижения эмиссии этого токсичного компонента ОГ за счет подачи воды в КС дизеля. В частности, на режиме максимального крутящего момента при n=1500 мин$^{-1}$ переход от ДТ на эмульсии содержанием воды C_{H2O} 7,5 и 15,0% привел к уменьшению концентрации C_{NOx} от 0,0750 до 0,0650 и до 0,0550%, а на режиме максимальной мощности при n=2400 мин$^{-1}$ – от 0,0495 до 0,0460 и до 0,0360%.

Тип топлива влияет и на эмиссию с ОГ продуктов неполного сгорания топлива – монооксида углерода СО и углеводородов CH_x. Из представленных на рисунке 2,*в* данных по содержанию в ОГ монооксида углерода C_{CO} следует, что на режиме максимального крутящего момента при n=1500 мин$^{-1}$ переход с ДТ на эмульсии с содержанием воды C_{H2O} 7,5 и 15,0% сопровождается снижением концентрации C_{CO} от 0,0420 до 0,0270 и до 0,0240%. На режиме максимальной мощности при n=2400 мин$^{-1}$ при таком переходе на ВБТЭ эмиссия монооксида углерода сначала уменьшается от 0,0270 до 0,0210%, а затем возрастает до 0,0240%.

Влияние типа топлива на выбросы углеводородов неоднозначно. Это подтверждается данными рисунка 2,*г*, на котором приведены характеристики концентрации в ОГ несгоревших углеводородов C_{CHx}. В частности, на режиме максимального крутящего момента при n=1500 мин$^{-1}$ переход от ДТ на эмульсии с содержанием воды C_{H2O} 7,5 и 15,0% привел к изменению концентрации C_{CHx} от 0,0340 до 0,0570 и до 0,0325%, а на режиме максимальной мощности при n = 2400 мин$^{-1}$ – от 0,0320 до 0,0540 и до 0,0432%.

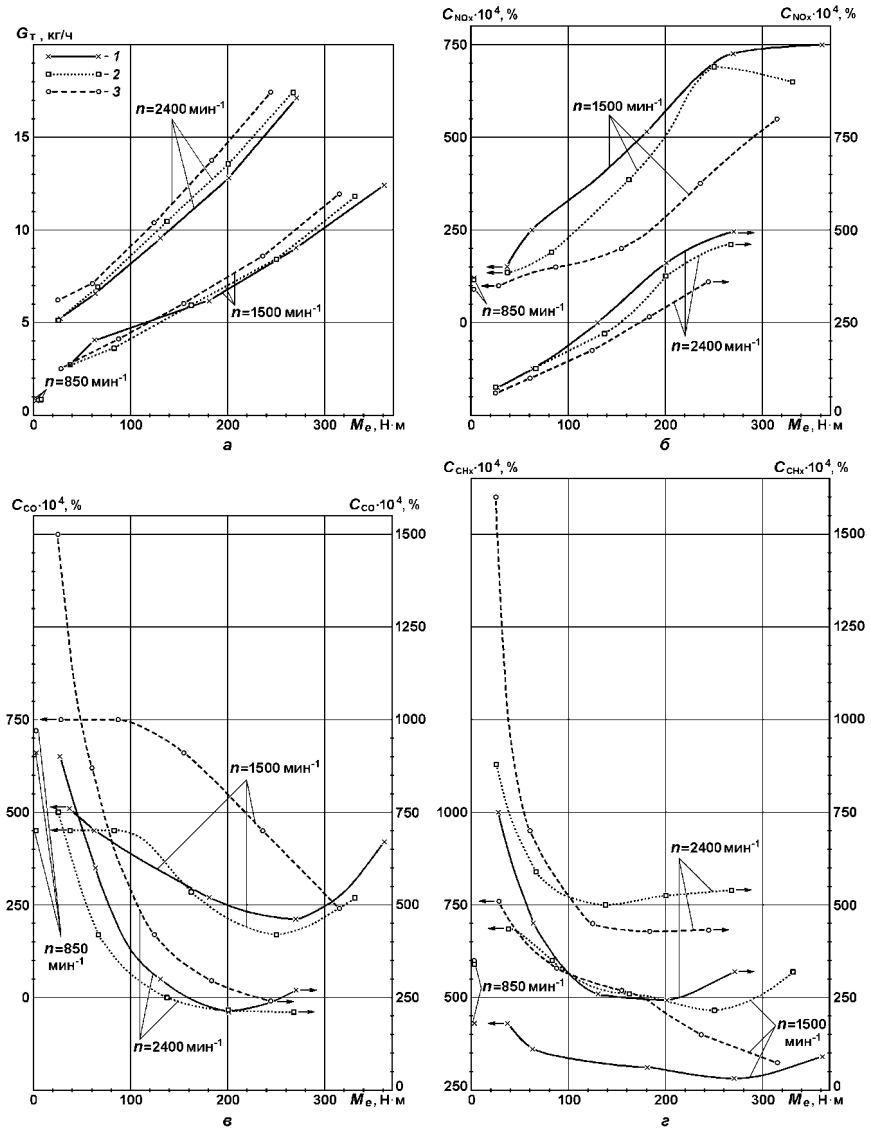


Рисунок 2. Зависимость часового расхода топлива $G_т$ (*а*), объемной концентрации в ОГ оксидов азота C_{NOx} (*б*), монооксида углерода C_{CO} (*в*) и несгоревших углеводородов C_{CHx} (*г*) от частоты вращения *n* и эффективного крутящего момента M_e дизеля Д-245.12С: 1 – ДТ; 2 – эмульсия 92,5 % ДТ и 7,5 % воды; 3 – эмульсия 85,0 % ДТ и 15,0 % воды.

Оценка эксплуатационного расхода топлива на режимах 13-ступенчатого цикла проведена по среднему (условному) удельному эффективному расходу топлива, который определялся с использованием зависимости [10]

$$g_{eусл} = \frac{\sum_{i=1}^{13} G_{тi} \cdot K_i}{\sum_{i=1}^{13} N_{ei} \cdot K_i},$$

где $G_{тi}$ и N_{ei} – часовой расход топлива и эффективная мощность на *i*-том режиме; K_i – весовой коэффициент *i*-того режима (доля времени работы двигателя на этом режиме). Поскольку ВБТЭ имеют меньшую теплотворную способность (низшую теплоту сгорания H_U), топливную экономичность дизеля целесообразно оценивать не удельным эффективным расходом топлива g_e, а эффективным КПД дизеля η_e. Причем, для интегральной оценки работы дизеля на режимах 13-ступенчатого цикла использован условный эффективный КПД, определяемый из соотношения

$$\eta_{e\text{усл}} = \frac{3600}{H_U \cdot g_{e\text{усл}}}.$$

Результаты расчетов, проведенных по изложенной методике, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Показатели дизеля Д-245.12С, работающего на ДТ и ВБТЭ

Показатели дизеля	Вид топлива		
	ДТ	92,5% биоДТ + 7,5% воды	85% биоДТ + 15% воды
Часовой расход топлива $G_т$, кг/ч:			
- на режиме максимальной мощности	17,42	17,42	17,70
- на режиме максимального крутящего момента	12,25	11,78	11,90
Крутящий момент M_e, Н·м:			
- на режиме максимальной мощности	271	259	231
- на режиме максимального крутящего момента	355	329	305
Дымность ОГ K_x, % по шкале Хартриджа:			
- на режиме максимальной мощности	16,0	12,0	8,5
- на режиме максимального крутящего момента	28,0	20,0	18,0

Приведенные в таблице 1 и на рисунке 3 данные подтверждают возможность заметного снижения эмиссии оксидов азота с ОГ дизеля Д-245.12С при его переводе с ДТ на ВБТЭ. Так, при работе на режимах 13-ступенчатого цикла и переходе с ДТ на эмульсии с содержанием воды C_{H2O} 7,5 и 15,0 % удельный массовый выброс оксидов азота e_{NOx} уменьшился от 6,610 до 5,916 и до 4,849 г/(кВт·ч), т.е. в целом на 26,6 %. При этом эффективный КПД дизеля η_e повысился от 0,341 до 0,360 и до 0,361, т.е. в целом на 5,9 %. Более сложная зависимость от содержания воды в ВБТЭ характерна для выбросов монооксида углерода e_{CO} и углеводородов e_{CHx}. При переходе с ДТ на эмульсии с содержанием воды C_{H2O} 7,5 и 15,0 % интегральный на режимах 13-ступенчатого цикла удельный массовый выброс монооксида углерода e_{CO} сначала уменьшился от 3,612 до 2,905 г/(кВт·ч), а затем возрос до 4,648 г/(кВт·ч). При этом выброс углеводородов e_{CHx} сначала возрос от 1,638 до 2,730 г/(кВт·ч), а затем снизился до 2,522 г/(кВт·ч).

Рост эффективности сгорания (эффективного КПД дизеля η_e) и снижение дымности ОГ K_x при работе на ВБТЭ объясняется улучшением качества процесса смесеобразования за счет возникновения так называемых «микровзрывов», наблюдающихся при повышенных температурах в КС дизеля и обусловленных повышенной испаряемостью воды по сравнению с ДТ. Процесс микровзрывов заключается в следующем: при нагревании вода вскипает, образующийся пар разрывает каплю, увеличивая дисперсность топлива. Это обусловлено большой разницей температур кипения топлива (200-360°С) и воды (100°С). В результате поверхность контакта воздуха и топлива увеличивается, они более эффективно перемешиваются, следовательно, топливо сгорает более полно. Нагрев воды, ее испарение и перегрев полученного пара отбирает часть тепла от цилиндровых газов, обуславливая снижение их температуры. В свою очередь уменьшение температуры приводит к замедлению реакций образования оксидов азота и снижению их содержания в отработавших газах.

При использовании ВБТЭ с большим содержанием воды возникают проблемы с организацией эффективного сгорания. В частности, при испытаниях дизеля Д-245.12С на эмульсии, содержащей 70 % биодизельного топлива и 30 % воды, не удалось организовать запуск холодного дизеля. Это

объясняется тем, что температура конца сжатия была недостаточна для стабильного самовоспламенения указанной эмульсии (эта температура снижается за счет большой теплоты испарения ВБТЭ). По этой причине полный цикл испытаний дизеля на этой эмульсии не был закончен.

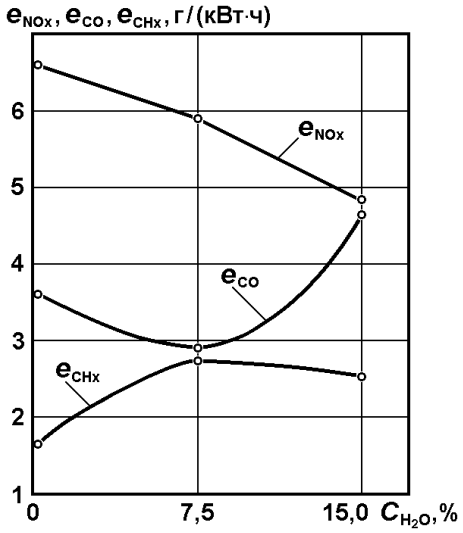


Рисунок 3. Зависимость удельных массовых выбросов оксидов азота e_{NOx}, монооксида углерода e_{CO} и несгоревших углеводородов e_{CHx} с ОГ дизеля Д-245.12С от содержания воды C_{H2O} в ВБТЭ на режимах 13-ступенчатого цикла.

Выводы. Сравнительный анализ экспериментальных данных работы дизельного двигателя на обычном моторном топливе и водно-био-топливной эмульсии с различной концентрации воды, показывает, заметное снижение концентрации оксидов азота, монооксида углерода и сажистых остатков в отработавших газах.

Список литературы

1. Марков В. А. Использование водно-топливных эмульсий в тракторных дизелях / В. А. Марков, С. Н. Деревянин, С. А. Нагорнов, Е. Ю. Левина // Наука в центральной России. – 2014. – №4(10). – С. 54–64.

2. Получение биодизельного топлива из растительных масел / А.Н. Зазуля, С.А. Нагорнов, С.В. Романцова, К.С. Малахов // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 12. – С. 58-60.

3. Биодизельные топлива из различных сырьевых ресурсов / В.А. Марков, С.Н. Девянин, С.А. Нагорнов, В.С. Акимов // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 3 (21). – С. 25-31.

4. Левина Е. Ю. Обзор методов получения воднотопливных эмульсий / Е. Ю. Левина // Потенциал современной науки. – 2014. – № 5(11). – С. 70-74.

5. Романцова С. В. Состав водно-биотопливных эмульсий / С. В. Романцова, Е. Ю. Левина // Наука в центральной России – 2014. – №4(10). – С. 48–54

6. Левина Е. Ю. Обзор свойств современных водно-топливных эмульсий/ Е. Ю. Левина // Потенциал современной науки. – 2014. – № 6. – С. 37-39.

7. Повышение эффективности работы нефтехозяйств в АПК. Научное издание. / С.А. Нагорнов, А.Н. Зазуля, С.В. Романцова, И.Г. Голубев. - М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. - 168 с.

8. Эффективное использование нефтепродуктов в сельском хозяйстве /С.А. Нагорнов, С.В. Романцова, А.Н. Зазуля, И.Г. Голубев. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2006. – 192 с.

9. Получение биодизельного топлива: современные тенденции, проблемы и пути их решения / С.А. Нагорнов, С.И. Дворецкий, С.В. Романцова, К.С. Малахов, И.А. Рязанцева // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2009. –№ 10(24).– С. 55-60.

10. Марков В.А., Гайворонский А.И., Грехов Л.В., Иващенко Н.А. Работа дизелей на нетрадиционных топливах: Учебное пособие. М.: Изд-во «Легион-Автодата», 2008. 464 с.

References

1. Markov V. A. Ispol'zovanie vodno-toplivnyh jemul'sij v traktornyh dizeljah / V. A. Markov, S. N. Derevjanin, S. A. Nagornov, E. Ju. Levina // Nauka v central'noj Rossii. – 2014. – №4(10). – S. 54–64.
2. Poluchenie biodizel'nogo topliva iz rastitel'nyh masel / A.N. Zazulja, S.A. Nagornov, S.V. Romancova, K.S. Malahov // Dostizhenija nauki i tehniki APK. – 2009. – № 12. – S. 58-60.
3. Biodizel'nye topliva iz razlichnyh syr'evyh resursov / V.A. Markov, S.N. Devjanin, S.A. Nagornov, V.S. Akimov // Transport na al'ternativnom toplive. – 2011. – № 3 (21). – S. 25-31.
4. Levina E. Ju. Obzor metodov poluchenija vodnotoplivnyh jemul'sij / E. Ju. Levina // Potencial sovremennoj nauki. – 2014. – № 5(11). – S. 70-74.
5. Romancova S. V. Sostav vodno-biotoplivnyh jemul'sij / S. V. Romancova, E. Ju. Levina // Nauka v central'noj Rossii – 2014. – №4(10). – S. 48–54
6. Levina E. Ju. Obzor svojstv sovremennyh vodno-toplivnyh jemul'sij/ E. Ju. Levina // Potencial sovremennoj nauki. – 2014. – № 6. – S. 37-39.
7. Povyshenie jeffektivnosti raboty neftehozjajstv v APK. Nauchnoe izdanie. / S.A. Nagornov, A.N. Zazulja, S.V. Romancova, I.G. Golubev. - M.: FGNU «Rosinformagroteh», 2008. - 168 s.
8. Jeffektivnoe ispol'zovanie nefteproduktov v sel'skom hozjajstve /S.A. Nagornov, S.V. Romancova, A.N. Zazulja, I.G. Golubev. – M.: FGNU «Rosinformagroteh», 2006. – 192 s.
9. Poluchenie biodizel'nogo topliva: sovremennye tendencii, problemy i puti ih reshenija / S.A. Nagornov, S.I. Dvoreckij, S.V. Romancova, K.S. Malahov, I.A. Rjazanceva // Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo. – 2009. –№ 10(24).– S. 55-60.
10. Markov V.A., Gajvoronskij A.I., Grehov L.V., Ivashhenko N.A. Rabota dizelej na netradicionnyh toplivah: Uchebnoe posobie. M.: Izd-vo «Legion-Avtodata», 2008. 464 s.

УДК 631.017.3

ТИШАНИНОВ К.Н.

ТЕОРИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧАСТИЦ ПОТОКА ЗЕРНА

Тишанинов Константин Николаевич
кандидат технических наук
старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве,
E-mail: TishaninovKN@rambler.ru

Реферат. *Целью данной работы является создание теоретически обоснованной компьютерной модели взаимодействия частиц потока зерна. Модель основа на принятии ряда допущений, тем не менее, такая имитация не мешает приблизиться к реальным условиям протекания процесса. Разнообразие объектов классифицировано и адаптировано под модель. Предложенная модель потока зерна предназначена для выявления искомых закономерностей взаимодействия частиц при реализации различных технологических процессов. Компьютерное моделирование (КМ) позволяет имитировать поведение сложной физической системы (движение частиц внутри потока), визуализировать и детализировать имитационный эксперимент [1, 2], делать прогноз событий, выявлять искомые закономерности сложной системы. В сельском хозяйстве КМ необходимо для анализа, разработки новой зерноочистительной техники, отличающийся множественной вариативностью взаимодействия частиц рабочей среды, посредством переноса полученных при исследовании модели результатов. Для решения этих задач в настоящее время отсутствуют*

модели взаимодействия частиц потока зерна, нет теоретической основы для их создания, не достаточно проработаны вопросы применения компьютерного моделирования в сельском хозяйстве. В статье рассмотрено взаимодействие зерен внутри потока на примере столкновения частиц гороха с пшеницей. Сама же абстрактная модель потока зерна рассмотрена в статье частично. На основе разработанной теории взаимодействия частиц потока, создана компьютерная программа, имитирующая взаимодействие частиц потока зерна.

TISHANINOV K.N.

THE THEORY OF INTERACTION PARTICLES OF GRAIN FLOW

Tishaninov Konstantin Nikolaevich
candidate of technical Sciences
senior researcher, Russian research Institute for use of equipment and products in agriculture,
E-mail: TishaninovKN@rambler.ru

Summary. *The aim of this work is the creation of a theory based computer model of interaction of particles of grain flow. The model is based on the adoption of a number of assumptions, however, this simulation does not prevent closer to the real conditions of the process. The variety of objects classified and adapted to the model. The proposed model grain flow is designed to detect the desired regularities of interaction of particles with the implementation of various technological processes. Computer modeling (KM) allows to simulate the behavior of complex physical systems (the movement of particles within the stream), to visualize and Refine the simulation experiment [1, 2], making a prediction of events to identify the desired patterns of complex systems. In agriculture KM is necessary for analysis, the development of a new grain cleaning machinery, characterized by multiple variability of particle interactions working environment, through transfer obtained in the study of model results. To solve these problems at the present time there are no models of interaction of particles of grain flow, there is no theoretical basis for their creation, not sufficiently studied the use of computer modeling in agriculture. The article considers the interaction of the grains within the stream by the example of the collision of particles peas wheat. The very same abstract model of the grain flow is considered in part. Based on the developed theory of particle interactions flow, created a computer program that simulates the interaction of particles of grain flow.*

Введение. Поток зерна был выбран в качестве объекта исследования, компьютерное моделирование – в качестве средства. Теория взаимодействия частиц потока зерна – основа компьютерной модели. Компьютерная модель потока зерна, в свою очередь, предназначена для проведения имитационных экспериментов и создания виртуальной лаборатории [2] для исследований. На текущий момент нет достаточно универсальной компьютерной модели взаимодействия частиц потока зерна. Существующие модели не обладают инвариантностью относительно форм частиц потока (Рисунок 1).

Так, фирма DEM Solutions (США) впервые представила готовый вариант компьютерной взаимодействия частиц потока сыпучего материала еще в 2006 году. Она широко применяется в США и других странах мира. Она адаптирована только к частицам потока сыпучего материала одинаковой формы (правильной многогранной фигуры).

Цель работы - создание теоретически обоснованной компьютерной модели взаимодействия частиц потока зерна.

Материалы и методы. В основе имитации формы частиц потока зерна лежит классификация зерна по Н.Н. Ульриху [4], который разделяет зерно по форме на шаровидную, чичевицеобразную, эллиптическую, удлиненную и треугольную. Сама же *абстрактная модель потока зерна* состоит

из алгоритмов взаимодействия отдельных частиц (зерен) и определяется уравнениями статики, кинематики и динамики. В модель заложены формулы столкновения шарообразных и эллипсоидных частиц друг с другом, формулы их движения с использованием методов теоретической механики, аналитической геометрии и векторной алгебры.

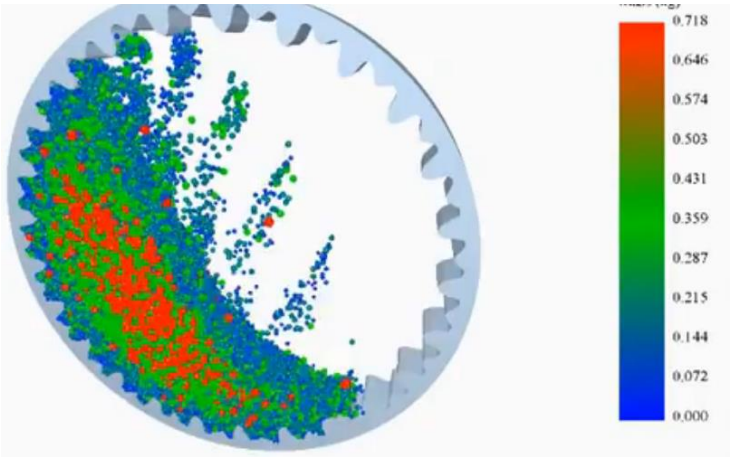


Рисунок 1 – Пример компьютерной модели взаимодействия частиц потока сыпучего материала (DEM Solutions).

Результаты и обсуждение. В данной статье не описана теория взаимодействия частиц потока зерна целиком, а рассмотрен лишь частный случай – взаимодействие зерен гороха с зернами пшеницы.

Понятие моделирование физических явлений подразумевает их имитацию - сложные физические процессы должны быть упрощены настолько, насколько это возможно. Для имитации формы гороха мы воспользуемся шаром, а зерно пшеницы эллипсоидной формы поместим в ограничивающий цилиндр (Рисунок 1), [5].

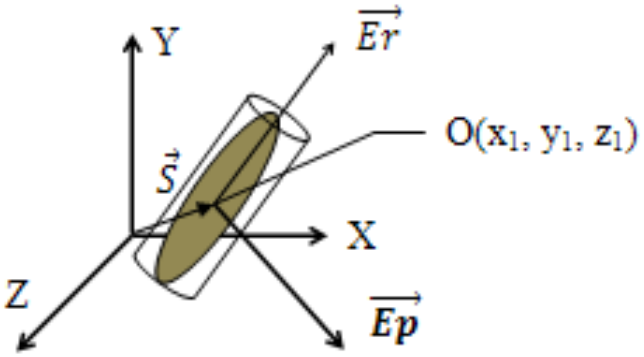


Рисунок 2 – Схема расположения зерна в ограничивающем цилиндре

Определим положение зерна в пространстве вектором $\overrightarrow{Er}$ и смещением центра зерна $\vec{S}$. Вектор $\overrightarrow{Ep}$ характеризует ось вращения. Вектор смещения меняется со временем в соответствии с вектором скорости движения зерна:

$\overrightarrow{S_к} = \overrightarrow{S_н} + \vec{V}t$ (1)

где $\overrightarrow{S_н}$ – начальное положение центра зерна, м;

$\overrightarrow{S_к}$ – конечное положение центра зерна, м;

$\vec{V}$ – вектор скорости поступательного движения центра зерна (скорость меняет вектор текущего положения зерна каждую единицу времени), м/с.

Начальная скорость вращения ω изменяет угол ротации R_y на величину ωt:

$R_{y_н} = R_{y_к} + \omega t$, (2)

где $R_{y_н}$ – начальное значение угла вращения зерна, рад;

$R_{y_к}$ – конечное значение угла вращения зерна, рад;

ω –скорость вращения зерна, м/с.

Положение базисного вектора $\overrightarrow{Er}$ определяется его осевым поворотом вокруг оси OY на угол R_y, вокруг оси OX на угол R_x и вокруг оси OZ на угол R_z. Углы R_x и R_z называются углами прецессии, они определяют отклонение оси вращения (вектор $\overrightarrow{Ep}$) от вертикали (рис. 2).

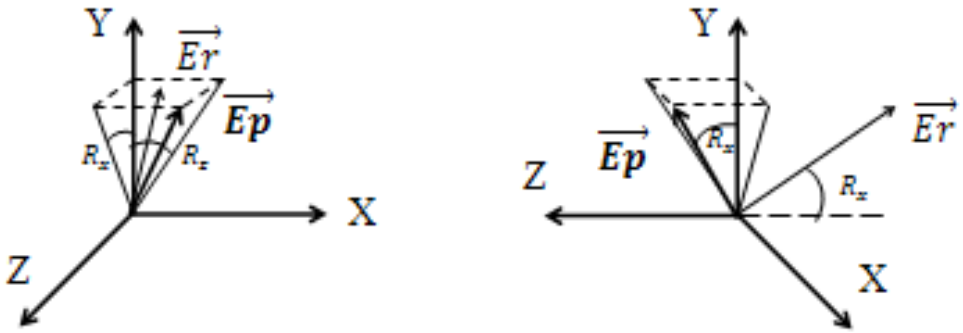


Рисунок 2 – Определение текущего положения зерна в пространстве с помощью векторов $\overrightarrow{Ep}$ и $\overrightarrow{Er}$ ($\overrightarrow{Ep}$ перпендикулярен $\overrightarrow{Er}$)

В процессе пространственных преобразований необходимо сохранять порядок вращения $R_y \rightarrow R_x \rightarrow R_z$, чтобы не получить другое положение вектора $\overrightarrow{Er}$.

Чтобы определить плоскость вращения зерна пшеницы после соударения с частицей гороха, необходимо векторно умножить вектор импульса шара ($m_ш\overrightarrow{V_ш}$) и радиус столкновения ($\vec{r}$). В результате мы получим вектор момента импульса $\vec{p}$, который коллинеарен базисному вектору $\overrightarrow{Ep}$:

$\vec{p} = [m_ш\overrightarrow{V_ш}, \vec{r}]$, (3)

где $\vec{p}$ – вспомогательный вектор, который коллинеарен единичному базисному вектору $\overrightarrow{Ep}$;

Откуда можно найти единичный базисный вектор $\overrightarrow{Ep}$:

$\overrightarrow{Ep} = \frac{\vec{p}}{|\vec{p}|} = \frac{\vec{p}}{\sqrt{(\vec{p},\vec{p})}}$.

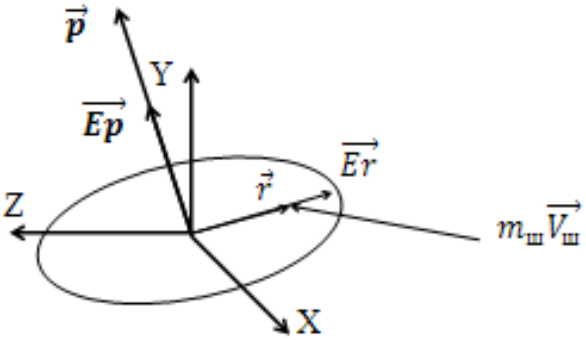


Рисунок 3 – Определение положения плоскости вращения после нецентрального столкновения цилиндра с шаром

Зная координаты базисного вектора $\overrightarrow{Ep}$, можно определить плоскость вращения зерна (углы прецессии R_x, R_z). Пусть вектор $\overrightarrow{Ep}$ из вертикального положения 01 был повернут вокруг оси OX на угол R_x (положение 02) и вокруг оси OZ на угол R_z (положение 03) (рисунок 4).

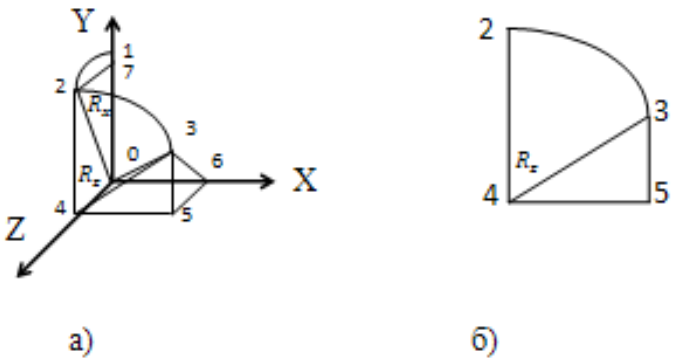


Рисунок 4 – Определение координат вектора $\overrightarrow{Ep}$ после его вращения вокруг осей X и Z на углы R_xи R_z соответственно

Вектор $\overrightarrow{Ep}$ занимает начальное положение $\overrightarrow{01}$. После его вращения на угол $R_x = \angle 201$ в плоскости Z0Y вектор $\overrightarrow{Ep}$ займет положение $\overrightarrow{02}$ ($|\overrightarrow{01}| = |\overrightarrow{02}| = 1$). После его вращения на угол $R_z = \angle 243$ в плоскости 243 (Рисунок 4, б)вектор $\overrightarrow{Ep}$займет положение $\overrightarrow{03}$ ($|\overrightarrow{42}| = |\overrightarrow{43}|$). Найдем проекцию вектора $\overrightarrow{Ep}$ на ось Z–величину 56:

Треугольник Δ027:

$24 = 07 = 02 \cdot \cos(R_x)$;

$27 = 04 = 02 \cdot \sin(R_x)$;

$34 = 24$;

$=> (\overrightarrow{Ep})_z = 56 = 04 = \sin(R_x)$.

Найдем проекцию вектора $\overrightarrow{Ep}$ на ось X–величину 45:

Треугольник Δ345:

$45 = 34 \cdot \sin(R_x) = \cos(R_x) \cdot \sin(R_z)$;

$=> (\overrightarrow{Ep})_x = 45 = \cos(R_x) \cdot \sin(R_z)$.

Найдем проекцию вектора $\overrightarrow{Ep}$ на ось Y–величину 35:

Треугольник Δ345:

$35 = 34 \cdot \cos(R_z) = \cos(R_x) \cdot \cos(R_z)$;

$=> (\overrightarrow{Ep})_y = 35 = \cos(R_x) \cdot \cos(R_z)$.

Итоговое значение координат вектора будет - $\overrightarrow{Ep}\,(\cos(R_x) \cdot \sin(R_z), \cos(R_x) \cdot \cos(R_z), \sin(R_x))$. Проверить правильность координат можно из условия, что скалярное произведение базисного вектора равно 1:

$(\overrightarrow{Ep}, \overrightarrow{Ep}) = |\overrightarrow{Ep}| * |\overrightarrow{Ep}| * \cos(0) = 1 * 1 * 1 = 1$.

С другой стороны, скалярное произведение равно:

$(\overrightarrow{Ep}, \overrightarrow{Ep}) = Ep_x * Ep_x + Ep_y * Ep_y + Ep_z * Ep_z$.

Следовательно, сумма квадратов координат вектора должна равняться единице:

$\sin^2(R_x) + \cos^2(R_x) * \cos^2(R_z) + \cos^2(R_x) * \sin^2(R_z) = \sin^2(R_x) + \cos^2(R_x) * (\cos^2(R_z) + \sin^2(R_z)) = \sin^2(R_x) + \cos^2(R_x) * 1 = \sin^2(R_x) + \cos^2(R_x) = 1$.

Выражение, представленное выше, подтверждает, что координаты вектора $\overrightarrow{Ep}$ правильные.

Зная координаты вектора $\overrightarrow{Ep}$, можно вычислить величины углов прецессии:

$\sin(R_z) = (\overrightarrow{Ep})_x$; (4)

$\sin(R_x) = \frac{(\overrightarrow{Ep})_z}{\sqrt{1-(\overrightarrow{Ep})^2{}_x}}$, (5)

где $(\overrightarrow{Ep})_x$ – x-координата вектора $\overrightarrow{Ep}$, м;

$(\overrightarrow{Ep})_z$ – z-координата вектора $\overrightarrow{Ep}$, м.

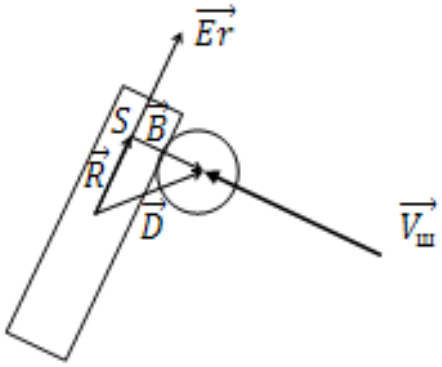


Рисунок 5 – Центральное столкновение цилиндра (модель зерна пшеницы) с шаром (модель гороха)

Чтобы определить результирующие скорости вращения зерна и движения шара после их взаимодействия, рассмотрим частный случай – центральное столкновение шара (гороха) с зерном пшеницы (рис. 5).

Под центральным столкновением цилиндра с шаром понимается, что вектор скорости шара $\overrightarrow{V_ш}$ и вектор мгновенной скорости точки столкновения цилиндра (т. S, рис. 7), которую она получает при вращении цилиндра, лежат на одной прямой – оси столкновения (вектор $\vec{B}$, рис. 7). Чтобы найти точку столкновения цилиндра (т. S), нужно определить вектор $\vec{R}$. Рассмотрим вектор $\vec{D}$ - он соединяет центры шара и цилиндра и определяется разностью их координат. Зная координаты шара и цилиндра, искомый вектор $\vec{R}$ можно найти по проекции вектора $\vec{D}$ на базисный вектор $\overrightarrow{Er}$:

$\vec{R} = (\vec{D}\ , \overrightarrow{Er})\overrightarrow{Er}$.

Вектор $\vec{B}$ можно вычислить следующим образом:

$\vec{B} = \vec{D} - \vec{R}$.

Чтобы вычислить скорость вращения зерна (цилиндра) после его столкновения с горохом (шаром), необходимо записать систему уравнений:

$\frac{I\omega_н{}^2}{2} + \frac{mV_н{}^2}{2} = \frac{I\omega_к{}^2}{2} + \frac{mV_к{}^2}{2}$; (6)

$I\omega_н + mV_нR = I\omega_к + mV_кR$, (7)

где $\omega_н$ – начальная скорость вращения зерна, м/с;

$\omega_к$– конечная скорость вращения зерна, м/с;

I – момент инерции зерна, кг·м^2;

m – масса гороха, кг;

$V_н$ – начальная скорость гороха, м/с;

$V_к$ – конечная скорость гороха, м/с;

R – радиус столкновения, м.

Для решения системы уравнений преобразуем уравнение (6):

$I(\omega_к - \omega_н)(\omega_н + \omega_к) = m(V_н - V_к)(V_н + V_к)$.

Из уравнения (7) получим:

$I(\omega_к - \omega_н) = mR(V_н - V_к)$ (8)

$=> \omega_к + \omega_н = \frac{V_н+V_к}{R}$.

После преобразований получим:

$2\,\omega_к = \frac{V_н-V_к}{I} mR + \frac{V_н+V_к}{R} = \frac{(V_н-V_к)mR^2+I(V_н+V_к)}{IR} = \frac{V_н(I+mR^2)+V_к(I-mR^2)}{IR}$;

$=> 2\frac{V_н+V_к}{R} - 2\,\omega_н = \frac{V_н(I+mR^2)+V_к(I-mR^2)}{IR}$

Отсюда:

$$2\,V_н I + 2\,V_к I\ - 2\omega_н IR = V_н(I+mR^2) + V_к(I-mR^2)$$
$$V_к(I+mR^2) = V_н(mR^2-I) + 2\omega_н IR$$

или

$V_к = \omega_н \frac{2IR}{I+mR^2} - V_н \frac{I-mR^2}{I+mR^2}$; (9)

$\omega_к = \frac{V_н}{R} + \frac{V_н}{R}\cdot\frac{mR^2-I}{mR^2+I} + \frac{2\omega_н I}{mR^2+I} - \omega_н = V_н \frac{2mR}{I+mR^2} + \omega_н \frac{I-mR^2}{I+mR^2}$. (10)

Рассмотрим общий случай – нецентральное столкновение шара с цилиндром (рис. 6).

Для этого необходимо найти координаты вектора мгновенной скорости $\overrightarrow{V_ц}$. Чтобы найти направление вектора скорости $\overrightarrow{V_ц}$, нужно векторно умножить радиус-вектор $\vec{R}$ и вектор оси вращения $\overrightarrow{Ep}$:

$\vec{v} = (\vec{R}\,, \overrightarrow{Ep})$.

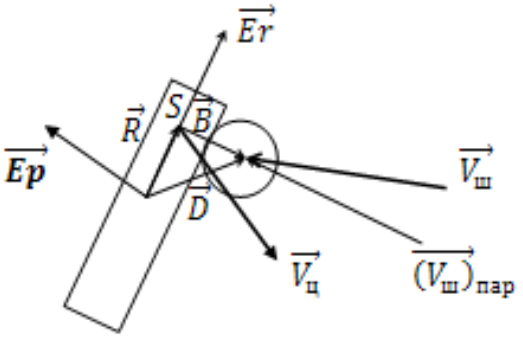


Рисунок 6 – Нецентральное столкновение цилиндра с шаром

Величина единичного вектора $\overrightarrow{Ev}$:

$\overrightarrow{Ev} = \frac{\vec{v}}{|\vec{v}|}$.

Зная направление мгновенной скорости $\overrightarrow{V_ц}$ (вектор $\overrightarrow{Ev}$), можно найти ее величину:

$\overrightarrow{V_ц} = \omega \cdot |\vec{R}| \cdot \overrightarrow{Ev}$.

Найдем проекцию мгновенной скорости $\overrightarrow{V_ц}$ на ось столкновения $\overrightarrow{Eb}$ – вектор $\overrightarrow{(V_ц)}_{пар}$, скалярно умножив $\overrightarrow{V_ц}$ на $\overrightarrow{Eb}$:

$(V_ц)_{пар} = (\overrightarrow{V_ц}, \overrightarrow{Eb})$.

Найдем также проекцию мгновенной скорости $\overrightarrow{V_ш}$ на ось столкновения $\overrightarrow{Eb}$ – вектор $\overrightarrow{(V_ш)}_{пар}$, скалярно умножив $\overrightarrow{V_ш}$ на $\overrightarrow{Eb}$:

$$(V_ш)_{пар} = (\overrightarrow{V_ш}, \overrightarrow{Eb})$$

Чтобы получить измененные значения параллельных скоростей ($(V_ц)^I{}_{пар}$ и $(V_ш)^I{}_{пар}$), необходимо воспользоваться формулами (7) и (8). Под параллельными скоростями понимается проекция

мгновенной скорости точки столкновения цилиндра $\overrightarrow{V_ц}$ и проекция скорости шара $\overrightarrow{V_ш}$ на ось столкновения $\vec{B}$. Параллельные скорости нужны для расчета центрального столкновения шара с цилиндром.

$$(V_ш)^I{}_{пар} = \frac{(V_ц)_{пар}}{R}\frac{2IR}{I+mR^2} - (V_ш)_{пар}\frac{I-mR^2}{I+mR^2} = (V_ц)_{пар}\frac{2I}{I+mR^2} - (V_ш)_{пар}\frac{I-mR^2}{I+mR^2};$$

$$(V_ц)^I{}_{пар} = ((V_ш)_{пар}\frac{2mR}{I+mR^2} + \frac{(V_ц)_{пар}}{R}\frac{I-mR^2}{I+mR^2})R = (V_ш)_{пар}\frac{2mR^2}{I+mR^2} + (V_ц)_{пар}\frac{I-mR^2}{I+mR^2}.$$

Тогда результирующее значение скорости шара можно будет:

$$\overrightarrow{V_ш}^I = \overrightarrow{V_ш} - (\overrightarrow{V_ш})_{пар} + (\overrightarrow{V_ш})^I{}_{пар} = \overrightarrow{V_ш} + \overrightarrow{(V_ц)}_{пар}\frac{2I}{I+mR^2} - \overrightarrow{(V_ш)}_{пар}\left(\frac{I-mR^2}{I+mR^2} + 1\right) = \overrightarrow{V_ш} +$$

$$\overrightarrow{(V_ц)}_{пар}\frac{2I}{I+mR^2} - \overrightarrow{(V_ш)}_{пар}\frac{2I}{I+mR^2} = \overrightarrow{V_ш} + (\overrightarrow{(V_ц)}_{пар} - \overrightarrow{(V_ш)}_{пар})\frac{2I}{I+mR^2} = \overrightarrow{V_ш} + \frac{2I}{I+mR^2}(\overrightarrow{V_ц} - \overrightarrow{V_ш}, \overrightarrow{Eb})\overrightarrow{Eb}.$$

Аналогичным образом найдем результирующее значение мгновенной скорости цилиндра:

$$\overrightarrow{V_ц}^I = \overrightarrow{V_ц} - (\overrightarrow{V_ц})_{пар} + (\overrightarrow{V_ц})^I{}_{пар} = \overrightarrow{V_ц} - (\overrightarrow{V_ц})_{пар} + (\overrightarrow{V_ц})^I{}_{пар} = \overrightarrow{V_ц} - (\overrightarrow{V_ц})_{пар} + \overrightarrow{(V_ш)}_{пар}\frac{2mR^2}{I+mR^2} +$$

$$\overrightarrow{(V_ц)}_{пар}\frac{I-mR^2}{I+mR^2} = \overrightarrow{V_ц} + \overrightarrow{(V_ш)}_{пар}\frac{2mR^2}{I+mR^2} + \overrightarrow{(V_ц)}_{пар}\left(\frac{I-mR^2}{I+mR^2} - 1\right) = \overrightarrow{V_ц} + \left(\overrightarrow{(V_ш)}_{пар} - \overrightarrow{(V_ц)}_{пар}\right)\frac{2mR^2}{I+mR^2} = \overrightarrow{V_ц} +$$

$$\frac{2mR^2}{I+mR^2}(\overrightarrow{V_ш} - \overrightarrow{V_ц}, \overrightarrow{Eb})\overrightarrow{Eb}.$$

Зная измененное значение вектора мгновенной скорости цилиндра ($\overrightarrow{V_ц}^I$), можно найти новую ось вращения (вектор $\overrightarrow{Ep}$):

$$\vec{p} = \left[\overrightarrow{V_ш}^I, \vec{R}\right],$$

где $\vec{p}$ – вспомогательный вектор, который коллинеарен единичному базисному вектору $\overrightarrow{Ep}$.

Откуда можно найти единичный базисный вектор $\overrightarrow{Ep}$:

$$\overrightarrow{Ep} = \frac{\vec{p}}{|\vec{p}|} = \frac{\vec{p}}{\sqrt{(\vec{p},\vec{p})}}.$$

Блок-схема этапов определения результирующих скоростей движения частиц показана на рисунке 7:

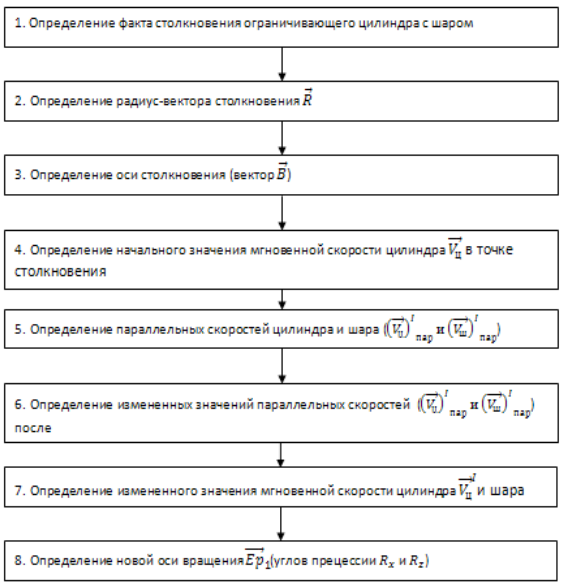


Рисунок 7–Блок-схема этапов определения скоростей движения частиц и их плоскостей вращения после столкновения

Выводы. На основе теории взаимодействия частиц разработаны алгоритмы компьютерной

модели потока зерна и создано программное обеспечение, имитирующее их взаимодействие (Рисунок 8).

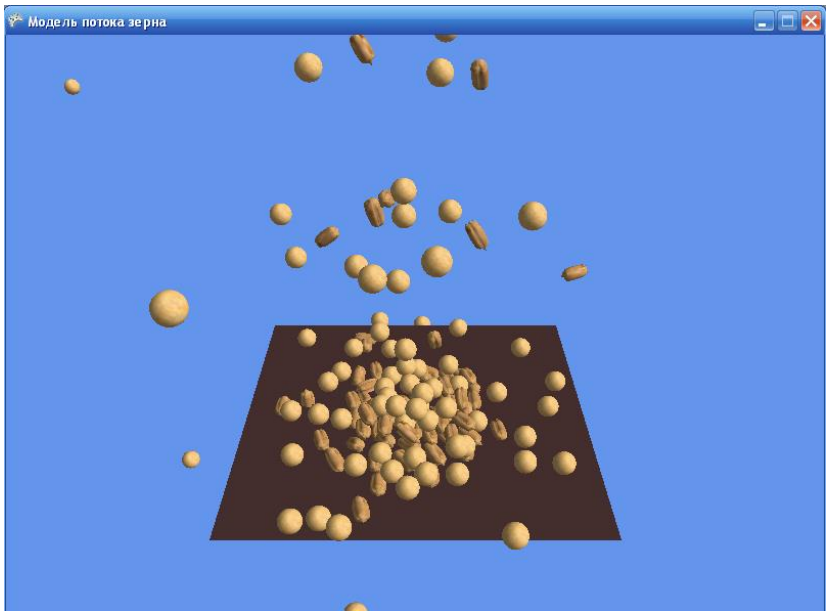


Рисунок 8 – Компьютерная модель взаимодействия частиц потока зерна

Разработанная программа подтверждает возможность моделирования процесса взаимодействия частиц потока зерна на компьютере. Процесс моделирования достаточно трудоемок, но разработанная теория взаимодействия частиц потока зерна и компьютерная программа позволяет экономить затраты на исследования и расширяет круг решаемых задач.

Список литературы

1. Л. Бахвалов. Компьютерное моделирование: долгий путь к сияющим вершинам? «Компьютерра» №40 от 06 октября, 1997.

2. Ю.Н.Павловский, Н.В.Белотелов, Ю.И.Бродский. Имитационное моделирование. Издательский центр «Академия», 2008, стр. 4.

3. Р.В. Майер. Компьютерное моделирование физических явлений. Глазов, 2009.

4. Н.Н. Ульрих. Методы изучения изменчивости физико-механических свойств составных частиц семенных смесей // Механизация сельского хозяйства. – 1965, №4.

5. Д. Когнер. Физика для разработчиков компьютерных игр. Бином, 2007.

6. Р.В. Майер. Изучение физических явлений методом компьютерного моделирования. Глазов, 2009.

7. DirectX 11 шаг за шагом. http://ru.directx.wikia.com/wiki/

8. Н.А. Прохоренок. Программирование на C++ в VisualStudio 2010 Express. СамИздат, 2010.

9. В.В. Зиборов. MSVisualC++ в среде .NET. Санкт-Петербург, 2011.

10. С.Г. Горнаков. DirectX 9: уроки программирования на C++.Санкт-Петербург, 2005

11. Ю.Дашко. Основы разработки компьютерных игр в XNAGameStudio. Видеолекции. http://www.intuit.ru/studies/courses/1104/251/info

12. С. Гайдуков. Введение в XNA. Конспект лекций. http://www.intuit.ru/studies/courses/504/360/info

13. И. Андреев. XNAдля начинающих. Видеолекции. http://www.intuit.ru/studies/courses/3471/713/info

14. С.Г. Горнаков. Программирование компьютерных игр под Windowsв XNAGameStudioExpress. Москва, 2008.

15. Основы Blender. http://blender3d.com.ua/uv-razvertka-v-blender/

16. Ч. Киттель, У. Найт, М. Рудерман. Берклеевский курс физики. Том 1. Механика. Москва, 1975.

References

1. L. Bakhvalov. Computer simulation: a long way to the shining peaks? "Computerra" No. 40 dated 06 October 1997.

2. Y. N. Pavlovsky, N. In.Belotelov, Y. I. Brodsky. Simulation modeling. Publishing center "Academy", 2008, page 4.

3. R. C. Mayer. Computer modeling of physical phenomena. Glazov, 2009.

4. N. N. Ulrich. Methods of studying the variability of physico-mechanical properties of the constituent particles of seed mixtures // Mechanization of agriculture. - 1965, No. 4.

5. D. Corner. Physics for computer game developers. Binom, 2007.

6. R. C. Mayer. The study of physical phenomena by means of computer simulation. Glazov, 2009.

7. DirectX 11 step by step. http://ru.directx.wikia.com/wiki/

8. N. A. Prohorenko. Programming in C++ in VisualStudio 2010 Express. Samizdat, 2010.

9. Century Century Ziborov. MSVisualC++ environment .NET. St. Petersburg, 2011.

10. C., Gornakov. DirectX 9: lessons from programming in C++.St. Petersburg, 2005

11. Yu Dashko. Fundamentals of computer games development in XNAGameStudio. Video lectures. http://www.intuit.ru/studies/courses/1104/251/info

12. C. Haidukou. Introduction to XNA. The lecture notes. http://www.intuit.ru/studies/courses/504/360/info

13. I. Andreev. XNAдля beginners. Video lectures. http://www.intuit.ru/studies/courses/3471/713/info

14. C., Gornakov. Programming computer games under Windows XNAGameStudioExpress. Moscow, 2008.

15. Basics Of Blender. http://blender3d.com.ua/uv-razvertka-v-blender/

16. G. Kittel, U. Knight, M. Ruderman. Berliawsky physics course. Volume 1. The mechanics. Moscow, 1975.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Отпечатано ООО «Максимал информационные технологии»
398017, г. Липецк, ул. Крупской, 4
Email: naukacr@yandex.ru. Тел. +7 (920) 246-20-64:
Подписано в печать 16.02.2015 Заказ № 60513-01
Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Печать электрографическая.
Гарнитура Times. Объем – 7,8 усл. печ. л. Тираж 100 экз.