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

Научно-производственный периодический журнал The research-production periodic magazine
Включен в международную базу данных Agris
№2 (32), 2018 г.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Редакция

Журнал «НаукавЦентральнойРоссии Science in the central Russia»
Учредитель: ФГБНУ ВНИИТИН
Главный редактор: Зазуля А.Н.
№ 2 (32) 18.04.2018, Тираж - 100 экз. Свободная цена
Адрес редакции и издателя: **392022, г. Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28, к. 21,** тел. 8(4752)440-241; e-mail: naukacr@yandex.ru
Отпечатано в типографии ООО «Максимал информационные технологии» 398017, г. Липецк, ул. Ушинского, 8
СМИ зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) ПИ № ФС 77 - 66036 от 10.06.2016 г.
Технический редактор: Левина Эмма Владимировна**, тел. +7 (920) 246-20-64**
Зав. отделом по развитию: Левин Максим Юрьевич**, тел. +7 (920) 240-71-96**

© «Наука в центральной России», 2018

«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ» «SCIENCE IN THE CENTRAL RUSSIA»
Научно-производственныйпериодическийжурнал Theresearch-and-productionperiodicmagazine
№2 (32), 2018 г.
Основанв 2012 г. **It is based in 2012.**
Выходит 6 раз в год **There are 6 times a year**

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

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

Агропромышленные инновационные технологии в растениеводстве

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

Агропромышленные инновационные технологии в животноводстве

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

Эффективное использование нефтепродуктов, альтернативных энергоносителей

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

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

© «Наука в центральной России», 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

АГРОПРОМЫШЛЕННЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ 5
ЕРОХИН ГЕННАДИЙ НИКОЛАЕВИЧ, КОНОВСКИЙ ВАЛЕРИЙ ВИКТОРОВИЧ
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ОСНОВНОЙ РАБОТЫ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ 5
EROKHIN GENNADY, KONOVSKIY VALERY
DETERMINATION OF THE TIME OF MAIN WORK AND PRODUCTIVITY OF COMBINE HARVESTERS 5
ЛЕБЕДЕВ АНАТОЛИЙ ТИМОФЕЕВИЧ, ПАВЛЮК РОМАН ВЛАДИМИРОВИЧ, ЗАХАРИН АНТОН ВИКТОРОВИЧ, ЛЕБЕДЕВ ПАВЕЛ АНАТОЛЬЕВИЧ, ШМАТКО ГЕННАДИЙ ГЕНАДЬЕВИЧ
ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ 12
LEBEDEV ANATOLY, PAVLYUK ROMAN, ZAHARIN ANTON, LEBEDEV PAVEL, SHMATCO GENNADII
FEATURES OF WORK AND LONGEVITY OF KEYED CONNECTIONS 12
OF MECHANICAL DRIVES 12
ТИШАНИНОВ НИКОЛАЙ ПЕТРОВИЧ, АНАШКИН АЛЕКСАНДР ВИТАЛЬЕВИЧ
ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СЕГМЕНТА ЗЕРНОСМЕСИ В ТРИЕРНЫХ ЦИЛИНДРАХ . 20
TISHANINOV NIKOLAI, ANASHKIN ALEXANDER
DYNAMIC PARAMETERS FOR THE SEGMENT OF GRAIN MIXTURE IN TRIER CYLINDERS ... 20
ТИШАНИНОВ НИКОЛАЙ ПЕТРОВИЧ, АНАШКИН АЛЕКСАНДР ВИТАЛЬЕВИЧ
УПРАВЛЕНИЕ РАСХОДНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ТРИЕРА ПОЛОЖЕНИЕМ ВЫВОДНОГО ЛОТКА 28
TISHANINOV NIKOLAI, ANASHKIN ALEXANDER
CONTROL OF CONSUMPTION CHARACTERISTICS OF THE CELLULAR CYLINDER WITH THE POSITION OF THE OUTPUT TRAY 28
АГРОПРОМЫШЛЕННЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ 35
ЛАЗАРЕВ СЕРГЕЙ ИВАНОВИЧ, АБОНОСИМОВ ОЛЕГ АРКАДЬЕВИЧ, КУЗНЕЦОВ МИХАИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ, ПРОТАСОВ ДМИТРИЙ НИКОЛАЕВИЧ, БОГОМОЛОВ ВЛАДИМИР ЮРЬЕВИЧ
ЭФФЕКТИВНОСТЬ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННОГО КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ БЕЛКА В МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКЕ 35
LAZAREV SERGEY, ABONOSIMOV OLEG, KUZNETSOV MIKHAIL, PROTASOV DMITRY, BOGOMOLOV VLADIMIR
THE EFFICIENCY OF THE ULTRAFILTRATION CONCENTRATING OF PROTEIN IN MILK SERUM 35
ТИХОМИРОВ ДМИТРИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ
МЕТОД РАСЧЕТА И РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ИНФРАКРАСНОГО ОБОГРЕВАТЕЛЯ МОЛОДНЯКА ЖИВОТНЫХ 44
TIKHOMIROV DMITRY
METHOD OF CALCULATION AND DEVELOPMENT OF ENERGY-EFFICIENT INFRARED HEATER FOR YOUNG ANIMALS 44
ТРУНОВ СТАНИСЛАВ СЕМЕНОВИЧ, ТИХОМИРОВ ДМИТРИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСУШЕНИЕ ВОЗДУХА В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ 51
TRUNOV STANISLAV, TIKHOMIROV DMITRY
THERMOELECTRIC DEHUMIDIFICATION IN AGRICULTURAL 52
ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ, АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ 60
ЛЕБЕДЕВ АНАТОЛИЙ ТИМОФЕЕВИЧ, ЗАХАРИН АНТОН ВИКТОРОВИЧ, ЛЕБЕДЕВ ПАВЕЛ АНАТОЛЬЕВИЧ, ПАВЛЮК РОМАН ВЛАДИМИРОВИЧ, МАРЬИН НИКОЛАЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ
СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ДИЗЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ 60
LEBEDEV ANATOLY, PAVLYUK ROMAN, ZAHARIN ANTON, LEBEDEV PAVEL, MARIN NIKOLAI
REDUCTION OF CARBON-GAS EMISSIONS FROM DIESEL ENGINEERING AT THE EXECUTION OF TECHNOLOGICAL OPERATIONS 61

МАШКОВ АЛЕКСЕЙ НИКОЛАЕВИЧ, ШУВАЛОВ АНАТОЛИЙ МИХАЙЛОВИЧ
СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ СОИ ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ 69
MASHKOV ALEXEY, SHUVALOV ANATOLIY
THE SOY COOLING SYSTEM AFTER HEAT TREATMENT 69
МАШКОВ АЛЕКСЕЙ НИКОЛАЕВИЧ, ШУВАЛОВ АНАТОЛИЙ МИХАЙЛОВИЧ
ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УСТАНОВКИ С КОМБИНИРОВАННЫМ НАГРЕВОМ СОИ..... 76
MASHKOV ALEXEY, SHUVALOV ANATOLIY
TECHNICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF APPLICATION OF INSTALLATION WITH THE COMBINED SOY HEATING..... 76
ОСТРИКОВ ВАЛЕРИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ, АФАНАСЬЕВ ДМИТРИЙ ИГОРЕВИЧ
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ТРЕНИЯ ПРИРАБАТЫВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ 82
OSTRIKOV VALERY, AFANASYEV DMITRY
THEORETICAL ANALYSIS OF THE PHYSICO-CHEMICAL PROCESSES OCCURRING ON THE FRICTION SURFACES OF RESEATING ENGINE PARTS..... 83
ОСТРИКОВ ВАЛЕРИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ, АФАНАСЬЕВ ДМИТРИЙ ИГОРЕВИЧ
ЭНТРОПИЯ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ПРИРАБОТОЧНОГО МАСЛА ДЛЯ ОБКАТКИ ОТРЕМОНТИРОВАННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАКТОРОВ..... 88
OSTRIKOV VALERY, AFANASYEV DMITRY
ENTROPY OF CHANGING IN PROPERTIES OF RESEATING OIL FOR RUNNING-IN OF REPAIRED ENGINES OF TRACTORS..... 88
ПЕТРАШЕВ АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ В НАПОРНОЙ МАГИСТРАЛИ ПРИ ТЕЧЕНИИ КОНСЕРВАЦИОННОЙ ЖИДКОСТИ 92
PETRASHEV ALEXANDR
DISTRIBUTION OF HYDRAULIC LOSSES OF PRESSURE IN THE PRESSURE LINE UNDER THE FLOW OF CONSERVATIVE LIQUID 93
ЩЕРБАКОВ СЕРГЕЙ ЮРЬЕВИЧ, ЗАВРАЖНОВ АНАТОЛИЙ ИВАНОВИЧ, ЛАЗИН ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ, КРИВОЛАПОВ ИВАН ПАВЛОВИЧ, АКСЕНОВСКИЙ АЛЕКСЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СУШКИ ПЛОДОВ С РАЗРАБОТКОЙ БАРАБАННОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ..... 100
SHCHERBAKOV SERGEY, ZAVRAZHNOV ANATOLY, LAZIN PAVEL, KRIVOLAPOV IVAN, AKSENOVSKIY ALEXEY
IMPROVING TECHNOLOGY DRYING FRUITS WITH DEVELOPMENT OF DRUM DRYING MACHINE..... 101

УДК 631.354

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ОСНОВНОЙ РАБОТЫ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

Ерохин Геннадий Николаевич,
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, E-mail: witin4@rambler.ru
Коновский Валерий Викторович,
научный сотрудник, E-mail: witin4@rambler.ru
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов

Реферат. *Информация по фактической производительности комбайнов на уборке зерновых культур важна для потребителя зерноуборочных комбайнов. Предлагается оригинальный методический поход для моделирования основного времени работы комбайна в зависимости от времени работы двигателя. Рассмотрены теоретические предпосылки определения основного времени работы зерноуборочных комбайнов. Использованы три группы исходной информации: данные сельхозпредприятия: количество и марки комбайнов, намолоты зерна на каждом комбайне, средняя урожайность, средняя длина гона; показатели технических характеристик: ширина жатки, объем бункера, скорость выгрузки зерна; данные мониторинга: время работы двигателя при техническом обслуживании, среднее время поворота, среднее время на переезд комбайна к месту выгрузки зерна и обратно. Практическая апробация предложенного методического подхода проведена на базе конкретного сельхозпредприятия Тамбовской области. Получено, что комбайны работали с фактической производительностью по основному времени, составляющей от 57% до 85% от паспортной производительности. Это приводит к увеличению расхода топлива, удлинению продолжительности уборки и повышению потерь зерна. Разработанный методический подход позволяет оценивать основное время работы зерноуборочных комбайнов сельхозпредприятия по наработке двигателя. Это дает возможность определить фактическую производительность зерноуборочных комбайнов за 1 час основного времени, сравнить ее с паспортной и устранить причины, снижающие эффективность применения зерноуборочных комбайнов.*

Ключевые слова: *зерноуборочный комбайн, производительность, время.*

DETERMINATION OF THE TIME OF MAIN WORK AND PRODUCTIVITY OF COMBINE HARVESTERS

Erokhin Gennady,
Candidate of Technical Sciences, leading researcher, e-mail: witin4@rambler.ru
Konovskiy Valery,
Scientific researcher, e-mail: witin4@rambler.ru
FGBNU «All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in agriculture», Tambov

Abstract. *Information on the actual productivity of harvesters on harvesting grain crops is important for the consumer of grain harvesters. The original methodical approach is proposed for modeling the main operating time of the combine depending on the time of the engine operation. The theoretical prerequisites for determining the main working time of grain harvesters are considered. Three groups of initial information were used: the data of agricultural enterprises: the number and brands of harvesters, the grain threshing on each combine, the average yield, the average length of the rut; technical characteristics: header width, bunker volume, grain unloading speed; monitoring data: engine running time during maintenance, average turnaround time, average time to move the combine to the grain unloading site and back. Practical approbation of the proposed methodical approach was carried out on the basis of a specific agricultural enterprise of the Tambov region. It was received that the harvesters worked with the actual productivity for the main time, ranging from 57% to 85% of the passport performance. This leads to an increase in fuel consumption, lengthening the harvesting time and increasing grain losses. The developed methodical approach allows estimating the main working time of grain harvesters of agricultural enterprises in engine production. This makes it possible to determine the actual productivity of combine harvesters for 1 hour of normal time, compare it with the passport one and eliminate the causes that reduce the efficiency of the use of grain harvesters.*

Key words: *grain harvester, productivity, time.*

Введение. По окончании уборки зерновых культур в сельхозпредприятии важно иметь информацию о работе каждого зерноуборочного комбайна. Такая информация позволяет определить наиболее значимые причины снижения эффективности работы комбайнов и принять оптимальные решения по их устранению. В предшествующих исследованиях показано [1,2], что подобная информация должна содержать для каждого комбайна фактическую производительность по времени основной работы. Численная оценка предложенного показателя требует определения для каждого комбайна годового времени основной работы на уборке зерновых культур. На практике такая оценка осуществляется на основе хронометража в ходе специальных испытаний или экспериментальных исследований. В реальных сельхозпредприятиях она не производится из-за сложности получения исходной информации. Поэтому разработка методов оценки основного времени работы зерноуборочных комбайнов на основе общедоступной информации по итогам уборки зерновых культур является актуальной.

Материалы и методы. Работа основана на теоретических исследованиях и мониторинге работы зерноуборочных комбайнов в условиях реальной эксплуатации. Полученная при мониторинге информация используется в предложенном методическом подходе оценки эксплуатационных показателей зерноуборочных комбайнов.

Результаты и обсуждение. Для потребителей зерноуборочных комбайнов важно знать и анализировать показатели производительности каждого комбайна, принимавшего участие в уборке. В качестве оценочного показателя наиболее часто применяется производительность за 1 час основного времени [3]. Основное время работы комбайна – это время, в течение которого комбайн выполняет процесс скашивания (подбора) и обмолота убираемых культур [4]. Зная годовое основное время работы комбайна и его намолот зерна, можно определить производительность за 1 час основного времени по формуле:

$$W_0 = \frac{0{,}1 \cdot H}{T_1}, \text{ т/ч} \quad (1)$$

где W_0 - производительность комбайна по основному времени, т/ч; H - намолот комбайна, ц; T_1 - годовое основное время работы комбайна на уборке зерновых культур, ч.

Намолот зерновых культур за сезон по каждому комбайну обязательно регистрируется в сельхозпредприятии, так как на основе его определяется валовый сбор зерна и начисляется зарплата комбайнеру. Сложнее обстоит дело с показателем «годовое основное время работы комбайна». В современных зерноуборочных комбайнах бортовые компьютеры фиксируют наработку молотилки. Однако, как показывает мониторинг работы комбайнов, получаемое значение наработки молотилки значительно отличается от основного времени работы комбайна. В работах [2,5] предлагается формула расчета основного времени исходя из наработки молотилки.

В данной статье предпринята попытка моделирования основного времени работы комбайна в зависимости от времени работы двигателя. Это позволяет определять основное время работы как современных комбайнов, так и комбайнов не имеющих бортового компьютера (например, широко используемый до настоящего времени комбайн Дон-1500Б).

Рассмотрим теоретические предпосылки определения основного времени работы зерноуборочных комбайнов. Баланс эксплуатационного времени работы комбайна регламентирован ГОСТ Р 52778-2007 [4]. Баланс времени работы двигателя комбайна на уборке зерновых культур описывается уравнением:

$$T_{ДВ} = T_1 + T_{21} + T_{22} + T_{23} + T_6 + T_{ДОП} \text{ , ч} \quad (2)$$

где T_{21} - время на повороты, ч; T_{22} - время на переезд к месту выгрузки и обратно, ч; T_{23} - время на выгрузку зерна , ч; T_6 - время на холостые переезды, ч; $T_{ДОП}$ - дополнительное время работы двигателя при организационных простоях, ТО, устранении отказов, ч.

Суммарное время на повороты в конце гона определяется по формуле:

$$T_{21} = \frac{10^4 \cdot T_{ПОВ} \cdot H}{У \cdot L_Г \cdot B_Ж \cdot 0{,}95} \text{ , ч} \quad (3)$$

где $T_{ПОВ}$ - среднее время, затрачиваемое комбайном на поворот в конце гона, ч; $У$ - средняя урожайность зерновых культур, ц/га; $L_Г$ - средняя длина гона, м; $B_Ж$ - ширина жатки, м.

Суммарное за сезон время на переезд к месту выгрузки и обратно рассчитывается по формуле:

$$T_{22} = \frac{0{,}1 \cdot H \cdot T_{ПЕР}}{G_Б \cdot \rho} \text{ , ч} \quad (4)$$

где $T_{ПЕР}$ - среднее время, затрачиваемое комбайном на один переезд к месту выгрузки и обратно, ч; $G_Б$ - объем бункера зерноуборочного комбайна, м^3; ρ - удельный вес зерна, т/м^3.

Суммарное время на выгрузку зерна составляет:

$$T_{23} = \frac{0{,}1 \cdot H}{3{,}6 \cdot \rho \cdot V_{РАЗ}} \text{ , ч} \quad (5)$$

где $V_{РАЗ}$ - скорость выгрузки зерна из бункера комбайна, л/с.

Время холостых переездов определяется выражением:

$$T_6 = \frac{2 \cdot L_{HC} \cdot K_{УБ}}{V_{TP}} + \frac{L_{ПП} \cdot K_{ПЕР}}{V_{TP}} \text{ , ч} \quad (6)$$

где L_{HC} - среднее расстояние переезда к месту ночной стоянки, км; $K_{УБ}$ - количество дней уборки зерновых культур; V_{TP} - транспортная скорость комбайна, км/ч; $L_{ПП}$ - среднее расстояние переезда с поля на поле, км; $K_{ПЕР}$ - количество переездов с поля на поле во время уборки зерновых культур.

Дополнительное время работы двигателя, связанное с техническим обслуживанием, устранением отказов, технологическими регулировками, организационными простоями по данным мониторинга работы зерноуборочных комбайнов [6,7] в условиях Центрально-Черноземного региона равно:

$$T_{ДОП} = (0,05 \ldots 0,07) \cdot T_{ДВ} \text{ , ч .} \quad (7)$$

Тогда основное время работы комбайна на уборке зерновых культур можно найти по формуле:

$$T_1 = T_{ДВ} - T_{21} - T_{22} - T_{23} - T_6 - T_{ДОП} \text{ , ч.} \quad (8)$$

Таким образом, уравнения (1) - (8) позволяют оценить по итогам уборки зерновых культур основное время работы и соответствующую этому времени производительность каждого зерноуборочного комбайна сельхозпредприятия.

Необходимая для оценки исходная информация в зависимости от источника получения подразделяется на три группы. Первую группу представляют данные сельхозпредприятия: количество и марки зерноуборочных комбайнов, намолоты зерна по каждому комбайну, средняя урожайность зерновых культур, средняя длина гона. Вторая группа включает в себя показатели технических характеристик зерноуборочных комбайнов: ширина жатки, объем бункера, скорость выгрузки зерна. В третью группу входит информация, получаемая посредством мониторинга: дополнительное время работы двигателя (при техническом обслуживании, устранении отказов, технологических регулировках, организационных простоях), среднее время поворота, среднее время на переезд комбайна к месту выгрузки зерна и обратно.

Покажем реализацию предложенного методического подхода на примере уборки зерновых культур в колхозе-племенном заводе им.Ленина Тамбовского района Тамбовской области. Общая площадь зерновых культур в хозяйстве составила 2300 га, урожайность – 34 ц/га, средняя длина гона - 1100 м, продолжительность уборки зерновых культур – 21 день. В таблице 1 представлены исходные данные по зерноуборочным комбайнам сельхозпредприятия.

В соответствии с исходными данными проведена оценка времени основной работы комбайнов. Результаты этой оценки показаны в таблице 2. Как следует из представленных результатов, основное время работы комбайнов Дон-1500Б варьирует от 88,7 часа до109,2 часа, ACROS 530 – от 93,2 часа до 116,1 часа. У комбайна КЗС-1218 оно составляет 93,2 часа. Разница между наименьшим и наибольшим значениями достигает 30%. Полученные значения времени основной работы комбайнов являются важной информацией. На ее основе с учетом времени простоев на устранение отказов можно оценить надежность работы комбайна за период уборки зерновых культур. Однако, это является отдельным исследованием и не входит в предмет рассмотрения данной статьи.

Таблица 1- Информация по зерноуборочным комбайнам сельхозпредприятия

Заводской номер	Марка комбайна	Ширина жатки, м	Намолот зерна, ц	Наработка двигателя, ч	Объем бункера, $м^3$	Скорость разгрузки бункера, л/с
79255	Дон 1500Б	6	8794	162	6	42
80909	Дон 1500Б	6	6800	142	6	42
89022	Дон 1500Б	6	8250	147	6	42
86491	Дон 1500Б	6	6136	141	6	42
97327	Дон 1500Б	6	11105	178	6	42
365	ACROS 530	6	9843	162	9	90
2130	ACROS 530	6	9213	171	9	90
7789	ACROS 530	7	8345	143	9	90
13003	КЗС-1218	7	10223	148	8	90

Таблица 2 – Результаты оценки времени основной работы зерноуборочных комбайнов

Заводской номер	Марка комбайна	Время на повороты, ч	Время на переезд к месту выгрузки и обратно, ч	Время на выгрузку зерна, ч	Время на холостые переезды, ч	Доп. время работы двигателя, ч	Время основной работы комбайна, ч
79255	Дон 1500Б	8,25	9,77	7,75	22	12,96	101,26
80909	Дон 1500Б	6,38	7,56	6,00	22	11,36	88,71
89022	Дон 1500Б	7,74	9,17	7,28	22	11,76	89,06
86491	Дон 1500Б	5,76	6,82	5,41	22	11,28	89,73
97327	Дон 1500Б	10,42	12,34	9,79	22	14,24	109,21
365	ACROS 530	9,23	7,29	4,05	22	12,96	106,46
2130	ACROS 530	8,64	6,82	3,79	22	13,68	116,06
7789	ACROS 530	6,71	6,18	3,43	22	11,44	93,23
13003	КЗС-1218	8,22	8,52	4,21	22	11,84	93,21

С другой стороны, используя время основной работы намолот комбайна по формуле (1) можно определить его фактическую производительность по основному времени. Производители комбайнов в качестве одной из основных характеристик указывают паспортную производительность за 1 час основного времени. Например, для комбайна ACROS 530 она составляет 14 т/ч. Но при этом оговариваются условия: степень полеглости хлебов – не более 20 %, культура пшеница – урожайностью не менее 40 ц/га, масса 1000 зерен – не менее 40 г, влажность соломы – от 10 до 18 %, влажность зерна – от 10 до 18 %, содержание сорной примеси в общей срезаемой массе – не более 1 %, отношение массы зерна к соломе 1:1,5. Если конкретные условия уборки в сельхозпредприятии близки к регламентируемым, то фактическая производительность должна соответствовать паспортной.

Для рассматриваемого сельхозпредприятия фактическая и паспортная производительности зерноуборочных комбайнов показаны на рисунке 1.

Рисунок 1- Фактическая и паспортная производительность зерноуборочных комбайнов

Как видно из рисунка 1, все комбайны работали с фактической производительностью, составляющей от 57% до 85% от паспортной производительности. Учитывая, что условия уборки незначительно отличались от регламентированных, можно сделать вывод, что комбайны работали в загонке с производительностью, ниже рекомендованной для этих условий. Наиболее характерно это для комбайнов Дон-1500Б (заводской номер 86491) и Acros 530 (заводской номер 2130). Работа комбайнов с производительностью, значительно ниже паспортной, снижает эффективность их использования в целом. Это проявляется в увеличении расхода топлива, удлинении продолжительности уборки и повышении потерь зерна [8]. Причина снижения производительности, по сравнению с паспортной, заключается в работе комбайна на уборке зерновых культур со скоростью ниже рекомендованной для данных условий.

Выводы. Разработанный методический подход позволяет оценивать время основной работы зерноуборочных комбайнов сельхозпредприятия по наработке двигателя. Это дает возможность определить фактическую производительность зерноуборочных комбайнов за 1 час основного времени, сравнить ее с паспортной и устранить причины, снижающие эффективность применения зерноуборочных комбайнов.

Список литературы

1. Ерохин, Г.Н. Об уровне использования производительности зерноуборочных комбайнов /Г.Н.Ерохин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014. -№ 12(31), - Часть 1. – С.92-94.

2. Ерохин, Г.Н. Оценка уровня использования производительности зерноуборочных комбайнов /Г.Н. Ерохин, А.С. Решетов, В.В. Коновский // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 7. – С.30-32.

3. Ерохин, Г.Н. Эксплуатационно-технологические показатели зерноуборочных комбайнов / Г.Н. Ерохин, В.В. Коновский // Техника в сельском хозяйстве. – 2012. – №6. –С.18-20

4.ГОСТ Р 52778-2007. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки. – М.: «Стандартинформ». – 2008. – 24с.

5. Ерохин, Г.Н. Оценка уровня использования зерноуборочных комбайнов в сельхозпредприятии /Г.Н.Ерохин // Наука в центральной России. – 2015. - №3. – С.5-10.

6. Ерохин, Г.Н. Оценка эксплуатационных свойств зерноуборочных комбайнов ACROS 530 и John Deer W650 / Г.Н. Ерохин, С.Н. Сазонов, В.В. Коновский // Вестник Мичуринского аграрного университета. - Мичуринск: 2014. - №1. – С.68-71

7. Ерохин, Г.Н. Мониторинг показателей надежности зерноуборочного комбайна Acros 530 / Г.Н. Ерохин, В.В. Коновский // Наука в центральной России. – 2014. – № 1(7). – С.16-20.

8. Ерохин, Г.Н. Моделирование потерь зерна за зерноуборочными комбайнами /Г.Н. Ерохин, С.Н. Сазонов, В.В. Коновский // Вестник Мичуринского аграрного университета. - Мичуринск: 2014. - №2. – С.65-68.

References

1. Erohin, G.N. Ob urovne ispol'zovanija proizvoditel'nosti zernouborochnyh kombajnov /G.N.Erohin // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. – 2014. -№ 12(31), - Chast' 1. – S.92-94.

2. Erohin, G.N. Ocenka urovnja ispol'zovanija proizvoditel'nosti zernouborochnyh kombajnov /G.N. Erohin, A.S. Reshetov, V.V. Konovskij // Traktory i sel'hozmashiny. – 2014. – № 7. – S.30-32.

3. Erohin, G.N. Jekspluatacionno-tehnologicheskie pokazateli zernouborochnyh kombajnov / G.N.Erohin, V.V. Konovskij // Tehnika v sel'skom hozjajstve. – 2012. – №6. –S.18-20

4.GOST R 52778-2007. Ispytanija sel'skohozjajstvennoj tehniki. Metody jekspluatacionno-tehnologicheskoj ocenki. – M.: «Standartinform». – 2008. – 24s.

5. Erohin, G.N. Ocenka urovnja ispol'zovanija zernouborochnyh kombajnov v sel'hozpredprijatii /G.N. Erohin // Nauka v central'noj Rossii. – 2015. - №3. – S.5-10.

6. Erohin, G.N. Ocenka jekspluatacionnyh svojstv zernouborochnyh kombajnov ACROS 530 i John Deer W650 / G.N. Erohin, S.N. Sazonov, V.V. Konovskij // Vestnik Michurinskogo agrarnogo universiteta. - Michurinsk: 2014. - №1. – S.68-71

7. Erohin, G.N. Monitoring pokazatelej nadezhnosti zernouborochnogo kombajna Acros 530 / G.N. Erohin, V.V. Konovskij // Nauka v central'noj Rossii. – 2014. – № 1(7). – S.16-20.

8. Erohin, G.N. Modelirovanie poter' zerna za zernouborochnymi kombajnami /G.N. Erohin, S.N.Sazonov, V.V.Konovskij // Vestnik Michurinskogo agrarnogo universiteta. - Michurinsk: 2014. - №2. – S.65-68.

УДК 621.797. (631.354.2)

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ

Лебедев Анатолий Тимофеевич
доктор технических наук, профессор, E-mail:lebedev.1962@mail.ru
Павлюк Роман Владимирович
кандидат технических наук, E-mail: roman_pavlyuk_v@mail.ru
Захарин Антон Викторович
кандидат технических наук, доцент, E-mail:anton-zaharin@mail.ru
Лебедев Павел Анатольевич
кандидат технических наук, доцент, E-mail:zoya_lebedeva@mail.ru
Шматко Геннадий Генадьевич
кандидат технических наук, E-mail:gshmatko@yandex.ru
ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь

Реферат. *Мониторинг геометрических параметров шпоночных соединений различных механических приводов зерноуборочных комбайнов отечественного и импортного производства по значениям предельных зазоров и натягов позволил установить, что в 85% сопряжений посадка «вал – ступица» назначается с зазором. Исследования посадок шпоночных соединений в отечественных комбайнах «ДОН-1500» показали, что действительные допуски и отклонения существенно разнятся от нормируемых. Предложена схема движения шпоночного соединения. Перемещение ступицы относительно вала при наличии между ними монтажного зазора идет по некой траектории с постоянным циклическим изменением контактирующих рабочих поверхностей в зависимости от угла поворота. Теоретически определены как минимум две области контакта сопрягаемых деталей исследуемой сборочной единицы. Мониторинг вышедших из строя реальных шпоночных соединений полностью соответствует расчетным областям износа элементов сопряжения. Изнашивание сопрягаемых деталей шпоночного соединения происходит, в большей степени в этих двух зонах контакта, которые зависят от величин зазоров. Рост зазора напрямую оказывает влияние на изменение площади фактического контактирования рабочих поверхностей шпонки с пазом ступицы, а его исходная величина между ступицей и валом определяет долговечность шпоночного соединения. Для повышения надежности шпоночных соединений за счет снижения или исключения зазора между валом и ступицей разработаны модернизированное шпоночное соединение в виде «двойного ласточкиного хвоста», ремонтный комплект в виде стяжной ступицы и инновационное «псевдошлицевое» соединение с натягом.*

Ключевые слова*: шпоночное соединение, долговечность, рабочие поверхности, комбайн, крутящий момент, механические передачи.*

FEATURES OF WORK AND LONGEVITY OF KEYED CONNECTIONS OF MECHANICAL DRIVES

Lebedev Anatoly
Full doctor of Technical Sciences, Professor, E-mail: lebedev.1962@mail.ru

Pavlyuk Roman
Candidate of Technical Sciences, E-mail: roman_pavlyuk_v@mail.ru
Zaharin Anton
Candidate of Technical Sciences, associate Professor, E-mail: anton-zaharin@mail.ru
Lebedev Pavel
Candidate of Technical Sciences, associate Professor, E-mail: zoya_lebedeva@mail.ru
Shmatco Gennadii
Candidate of Technical Sciences, E-mail: gshmatko@yandex.ru
Federal State Budget Educational Institution of Higher Education Stavropol State Agrarian University, Stavropol

Abstract. *Monitoring of geometrical parameters of keyed connections of various mechanical drives of combine harvesters of domestic and imported production according to the values of the maximum gaps and strains allowed to establish that in 85% of the joints the "shaft-hub" landing is appointed with a gap. Studies of the planting of keyed connections in domestic combines "DON-1500" showed that the actual tolerances and deviations significantly differ from the standard ones. The motion pattern of the keyed connection is proposed. Moving the hub relative to the shaft in the presence of an assembly gap between them follows a certain trajectory with a constant cyclic change of the contacting working surfaces, depending on the angle of rotation. At least two areas of contact of the mating parts of the investigated assembly unit are determined theoretically. Monitoring of failed real keyed connections completely corresponds to the calculated wear areas of the interface elements. The wear of the mating parts of the keyed connection occurs, to a greater extent, in these two contact zones, which depend on the size of the gaps. The growth of the gap directly affects the change in the area of actual contact of the key surfaces with the hub groove, and its initial value between the hub and the shaft determines the durability of the keyed connection. The upgraded keyed connection in the form of a "double swallowtail", a repair kit in the form of a coupling hub and an innovative "pseudo splined" connection with interference are designed to increase the reliability of keyed connections by reducing or eliminating the gap between the shaft and the hub*

Key words: *keyed connection, durability, working surfaces, combine, torque, mechanical transmission.*

Введение. В современном сельскохозяйственном машиностроении получили широкое распространение шпоночные соединения для передачи крутящих моментов в механических передачах. Шпонка является важным элементом, передающим вращение от вала к ступице, от которого зависит работоспособность всего механизма и машины в целом. Отказ шпоночного соединения в комбайнах во время уборочной страты, проводимой в сжатые сроки, может привести к значительным простоям техники и свою очередь к финансовым убыткам. Поэтому, чтобы повысить работоспособность сельскохозяйственных машин, следует рассмотреть схему движения, выяснить механизм изнашивания и причину отказов шпоночного соединения.

Материалы и методы исследований. Соединение с призматической шпонкой (рисунок 1) - ненапряженное и требует большой точности изготовления отверстий в вале и ступице. Боковые грани шпонки передают крутящий момент за счет окружной силыF, в результате чего на них появляются напряжения смятия $\sigma_{см}$.

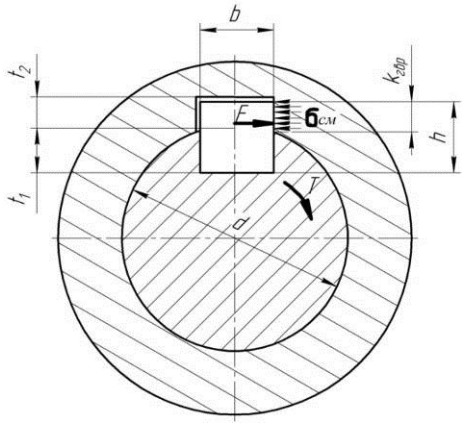


Рисунок 1 –Схема соединения с призматической шпонкой

В настоящее время надежность призматических шпонок, определяется расчетом на смятие [1] и определяется по формуле:

$$\sigma_{см} = \frac{2T}{dl_p k_{гвр}} \le [\sigma_{см}]', \quad (1)$$

где T – крутящий момент, Н*м; d – диаметр вала, м; l_p – рабочая длина призматической шпонки, м; $k_{гвр}$=0,4h – глубина врезания призматической шпонки в ступицу, м; h – высота призматической шпонки, м; $[\sigma_{см}]$ – допускаемые напряжения смятия материала призматической шпонки, МПа.

Учеными Дунаевым П.Ф., Леликовым О.П., Леоновым О.А. и другими было установлено, что выражение 1 справедливо для сопряжений «вал – ступица», в которых применяется посадка натягом [1, 2]. Данный факт также был нами подтвержден в ходе проведенных исследований зерноуборочных комбайнов в реальных условиях эксплуатации [3, 4].

Мониторинг геометрических параметров шпоночных соединений различных механических приводов зерноуборочных комбайнов отечественного и импортного производства по значениям предельных зазоров и натягов позволил установить, что в 85 % сопряжений посадка «вал – ступица» назначается с зазором [3, 4]. Причем обычно шпоночные соединения в механических передачах устанавливаются на выходных концах валов. В случае проведения ремонтно-восстановительных операций, например, замены сальников, подшипников, требуется демонтаж шпоночных соединений, иногда и неоднократно за сезон. Ввиду этого конструкторами заложена переходная посадка и посадка с зазором для того, чтобы уменьшить усилие запрессовки - выпрессовки и снизить трудоемкость ремонтных работ при выполнении разборочно-сборочных операций [5, 6]. Как показывает практика, после нескольких разборо-сборочных операций зазор в шпоночных соединениях увеличивается [7].

Результаты исследований. В ходе проведенных исследований посадок шпоночных соединений на предмет предельных зазоров и натягов в отечественных комбайнах «ДОН-1500» установлено, что действительные допуски и отклонения существенно разнятся от нормируемых. Зачастую комбайн уже с завода имеет шпоночные соединения, не отвечающие рекомендуемым полям допусков в сопряжении «вал – ступица».

Наличие зазора в соединении «вал – ступица» приводит к тому, что при вращении площадь фактического контакта шпонки с пазом ступицы изменяется в зависимости от

угла поворота [8, 9]. Поэтому наличие посадки с зазором напрямую влияет на долговечность непосредственно соединения и механического привода в целом.

Определим значимые кинематические характеристики, считая вал и ступицу недеформируемыми. Для этого рассмотрим частные случаи взаиморасположения элементов шпоночного соединения. Шпонка жестко зафиксирована в пазу вала. На рисунке 2 представлена схема шпоночного соединения в исходной точке взаиморасположения ступицы и вала. При данном условии взаиморасположения вала и ступицы зазоры S_1, S_2 и S_3 максимальны. Проранжируем данные зазоры:

$$S_3 > S_2 > S_1,$$

где S_1 – величина монтажного зазора между валом и ступицей; S_2 – величина зазора между ступицей и шпонкой; S_3 – величина технологического зазора между верхней стороной шпонки и нижней стороны паза ступицы.

Зазор S_3 в дальнейших расчетах не учитываем, в виду того, что он в меньшей степени влияет на износ шпоночного соединения.

Приведенные схемы, как и следующие из них расчеты, считаем осуществленными с известной достоверной степенью приближения [4, 9, 10]. Анализируется кинематическая схема двух поворотов шпоночного соединения: 1 – поворот вала относительного своего центра с зафиксированной в нем шпонкой до ее упора в боковую стенку шпоночного паза ступицы в точке O_K (рисунок 3); 2 – поворот ступицы относительно точки O_K до совмещения боковых рабочих плоскостей призматической шпонки и шпоночного паза ступицы (рисунок 4).

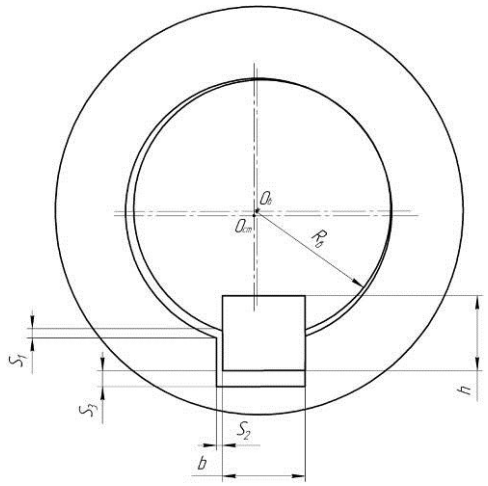


Рисунок 2 – Схема шпоночного соединения в исходной точке взаиморасположения ступицы и вала (положение 1)

В положении 1 относительного центра происходит поворот вала совместно с призматической шпонкой на допустимую величину малого угла β, причем линейная характеристика перемещения приближенно равна величине зазора S_2. В точке O_K происходит контактирование шпонки со шпоночным пазом ступицы [4]. Угол β равен углу между боковыми рабочими поверхностями шпонки и шпоночным пазом ступицы, как угол между параллельными прямыми. Допустимая малая величина этого угла обуславливает следующее приближение: $\mathrm{tg}\,\beta \approx \mathrm{Sin}\,\beta \approx \beta$, где угол β измеряется в радианах [3, 4].

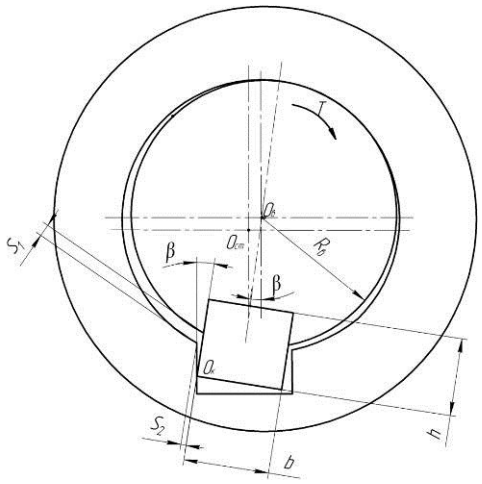


Рисунок 3 – Схема шпоночного соединения при повороте вала со шпонкой относительно своего центра (положение 2)

Определяется приблизительная величина зазора S_2 из произведения угла поворота β и величины радиуса поворота $R_{пр}=R_в+0,4h$:

$$S_2 \approx \beta*(R_в+0,4h). \quad (2)$$

Из выражения (2) найдем величину угла поворота β:

$$\beta \approx \frac{S_2}{(R_в+0,4h)}. \quad (3)$$

В качестве примера, представим расчет данного угла β для соединения с распространенными геометрическими параметрами: диаметр вала 30 мм, ширина призматической шпонки h =8 мм и зазор S_2 между пазом ступицы и шпонкой равный 0,36 мм. После подстановки представленных значений в расчетную формулу (3) определили угол β, который равен 1,13˚. Расчетами подтверждается представленное выше допущение при нахождении синусов и тангенсов углов: Sin1,13˚= tg1,13˚=0,0197=0,0197 рад.

Затем относительно точки O_K при дальнейшем движении шпоночного соединения происходит поворот ступицы на угол β до совмещения не только боковых рабочих плоскостей шпонки и шпоночного паза ступицы, но и контактирование окружностей вала и ступицы (рисунок 4).

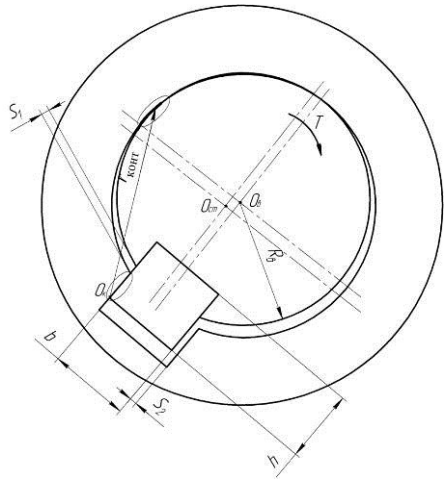


Рисунок 4 – Схема шпоночного соединения при повороте ступицы относительно точки O_K (положение 3)

В этом случае, наблюдаем в ходе вращения появление в шпоночном соединении дополнительной точки контактирования между валом и ступицей. Определим место данного контакта.

Предположим, что при повороте ступицы относительно вала линейная характеристика приблизительно равна величине зазора S_1:

$$S_1 \approx \beta \cdot r_{конт}, \quad (4)$$

где $r_{конт}$ – радиальная точка контакта, определяемая от центра O_K.

Тогда при установленных угле β и величине зазора S_1определим требуемую радиальную точку контакта $r_{конт}$:

$$r_{конт} \approx \frac{S_1}{\beta}, \quad (5)$$

или с учетом зависимости (3):

$$r_{конт} \approx \frac{S_1}{S_2} \cdot (R_в + 0{,}4h). \quad (6)$$

Для представленного ранее шпоночного соединения с диаметром вала 30 мм и величинойзазора S_1= 0,26 мм числовое значение радиальной точки контакта $r_{конт}$ составит 13,2 мм.

Таким образом, предложенная схема относительного движения шпоночного соединения и установленные на ее основе выражения (3) и (6) позволяют приближенно определить как минимум две области контакта сопрягаемых деталей исследуемой сборочной единицы. Мониторинг вышедших из строя реальных шпоночных соединений это подтверждает и полностью соответствует расчетным областям износа элементов сопряжения. Изнашивание сопрягаемых деталей шпоночного соединения происходит, в большей степени в этих двух зонах контакта, которые зависят от величин зазоров S_1 и S_2. В этом направлении требуется проведение дальнейших теоретических и практических исследований.

Заключение. Из рисунков 2, 3 и 4 следует, что перемещение ступицы относительно вала при наличии между ними монтажного зазора S_1 идет по некой траектории с постоянным циклическим изменением контактирующих рабочих поверхностей в зависимости от угла проворота. Интенсивность проворотов зависит от заданной частоты вращения шпоночного соединения. Рост данного зазора напрямую оказывает влияние на изменение площади фактического контактирования рабочих поверхностей шпонки с пазом ступицы, то есть величина монтажного зазора S_1 является определяющей для ресурса данного соединения. Задача по определению траектории движения ступицы относительно вала и действительного значения площади фактического контакта шпонки с пазом ступицы в каждой точке вращения является достаточно сложной инженерной задачей, требующей дальнейшего исследования и обоснования.

Для повышения надежности шпоночных соединений за счет снижения или исключения зазора между валом и ступицей предлагается ряд конструктивных решений – модернизированное шпоночное соединение в виде «двойного ласточкиного хвоста» [11], ремонтный комплект в виде стяжной ступицы [12] и инновационное «псевдошлицевое» соединение с натягом [13]. Каждое из разработанных устройств можно устанавливать на выходные концы валов механических передач сельскохозяйственных машин.

Список литературы

1. Дунаев, П. Ф. Расчет допусков размеров / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов М.: Машиностроение, 2001. 240 с.

2. Леонов, О. А. Взаимозаменяемость унифицированных соединений при ремонте сельскохозяйственной техники. Монография. М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2003: 167 с.

3. Павлюк Р.В. Повышение работоспособности шпоночных соединений зерноуборочных комбайнов. Дисс...кандидата технических наук: 05.20.03 /Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия. Зерноград, 2013.

4. Лебедев, А.Т. Надежность и эффективность шпоночных соединений / А. Т. Лебедев, Р. В. Павлюк, Р. А. Магомедов, П. А. Лебедев, А. В. Захарин // Ставрополь, 2015. 140 с.

5. Землянушнова, Н.Ю. Основы производства и ремонта транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования / Н.Ю. Землянушнова, А.Т. Лебедев, Р.В. Павлюк, Н.П. Доронина. Ставрополь, 2014. 124 с.

6. Проектирование предприятий технического сервиса: учебно-методическое пособие для выполнения курсового и дипломного проектирования / сост.: Р. В. Павлюк, А. Т. Лебедев, А. В. Захарин, П. А. Лебедев, Е. В. Зубенко, Р. А. Магомедов, Н. П. Доронина ; СтГАУ. Ставрополь: АГРУС, 2014. 44 с.

7. Лебедев, А.Т. Повышение ресурса сельскохозяйственной техники за счет оптимизации норм геометрической точности шпоночных соединений / А. Т. Лебедев, М. Л. Пантух, А. В. Захарин, А. П. Ляхов // В сборнике: Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК.2006. С. 225-227.

8. Павлюк Р.В., Варивода В.С. Применение инновационного неподвижного соединения в сервисе зерноуборочных комбайнов // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. 2013. Т. 3. № 6. С. 324-326.

9. Павлюк Р.В., Лебедев А.Т. Анализ факторов, влияющих на надежность шпоночных соединений зерноуборочных комбайнов "ДОН-1500" // Машинно-технологическая станция. 2010. № 2. С. 45-47.

10. Лебедев, А.Т. Исследования наработки на отказ шпоночных соединений зерноуборочных комбайнов «ДОН-1500» в условиях рядовой эксплуатации / А.Т. Лебедев, Р.В. Павлюк // Сельский механизатор. 2011. № 11. С. 36-38.

11. Патент РФ 86682 Российская Федерация, F16B 3/00. Шпоночное соединение [Текст] / А.Т. Лебедев, Р.В. Павлюк, Р.А. Магомедов [и др.]. - №2008152632/22; заявл. 29.12.2008; опубл. 10.09.2009 Бюл. №25. - 2 с.

12. Патент РФ 2402701 Российская Федерация, F16D 1/09. Съемная ступица для монтажа вращающегося элемента на приводном валу / А.Т. Лебедев, Р.В. Павлюк, Р.А. Магомедов [и др.]. - №2009119273/11; заявл. 21.05.2009; опубл. 27.10.2010 Бюл. №30. - 9 с.

13. Патент РФ 2428295 Российская Федерация, B23P11/02. Способ соединения с натягом деталей вал-втулка А.Т. Лебедев, Р.В. Павлюк, Р.А. Магомедов [и др.]. - №2010100664/02; заявл. 11.01.2010; опубл. 10.09.2011Бюл. №25. - 7 с.

References

1. Dunaev, P. F. Raschet dopuskov razmerov / P. F. Dunaev, O. P. Lelikov M.: Mashinostroenie, 2001. 240 s.

2. Leonov, O. A. Vzaimozamenjaemost' unificirovannyh soedinenij pri remonte sel'skohozjajstvennoj tehniki. Monografija. M.: FGOU VPO MGAU, 2003: 167 s.

3. Pavljuk R.V. Povyshenie rabotosposobnosti shponochnyh soedinenij zernouborochnyh kombajnov. Diss... kandidata tehnicheskih nauk: 05.20.03 / Azovo-Chernomorskaja gosudarstvennaja agroinzhenernaja akademija. Zernograd, 2013.

4. Lebedev, A.T. Nadezhnost' i jeffektivnost' shponochnyh soedinenij / A. T. Lebedev, R. V. Pavljuk, R. A. Magomedov, P. A. Lebedev, A. V. Zaharin // Stavropol', 2015. 140 s.

5. Zemljanushnova, N.Ju. Osnovy proizvodstva i remonta transportnyh i transportno-tehnologicheskih mashin i oborudovanija / N.Ju. Zemljanushnova, A.T. Lebedev, R.V. Pavljuk, N.P. Doronina. Stavropol', 2014. 124 s.

6. Proektirovanie predprijatij tehnicheskogo servisa: uchebno-metodicheskoe posobie dlja vypolnenija kursovogo i diplomnogo proektirovanija / sost.: R. V. Pavljuk, A. T. Lebedev, A. V. Zaharin, P. A. Lebedev, E. V. Zubenko, R. A. Magomedov, N. P. Doronina; StGAU. Stavropol' : AGRUS, 2014. 44 s.

7. Lebedev, A.T. Povyshenie resursa sel'skohozjajstvennoj tehniki za schet optimizacii norm geometricheskoj tochnosti shponochnyh soedinenij / A. T. Lebedev, M. L. Pantuh, A. V. Zaharin, A. P. Ljahov // V sbornike: Aktual'nye problemy nauchno-tehnicheskogo progressa v APK.2006. S. 225-227.

8. Pavljuk R.V., Varivoda V.S. Primenenie innovacionnogo nepodvizhnogo soedinenija v servise zernouborochnyh kombajnov // Sbornik nauchnyh trudov Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta ovcevodstva i kozovodstva. 2013. T. 3. № 6. S. 324-326.

9. Pavljuk R.V., Lebedev A.T. Analiz faktorov, vlijajushhih na nadezhnost' shponochnyh soedinenij zernouborochnyh kombajnov "DON-1500" // Mashinno-tehnologicheskaja stancija. 2010. № 2. S. 45-47.

10. Lebedev, A.T. Issledovanija narabotki na otkaz shponochnyh soedinenij zernouborochnyh kombajnov «DON-1500» v uslovijah rjadovoj jekspluatacii / A.T. Lebedev, R.V. Pavljuk // Sel'skij mehanizator. 2011. № 11. S. 36-38.

11. Patent RF 86682 Rossijskaja Federacija, F16B 3/00. Shponochnoe soedinenie [Tekst] / A.T. Lebedev, R.V. Pavljuk, R.A. Magomedov [i dr.]. - №2008152632/22; zajavl. 29.12.2008; opubl. 10.09.2009 Bjul. №25. - 2 s.

12. Patent RF 2402701 Rossijskaja Federacija, F16D 1/09. S#emnaja stupica dlja montazha vrashhajushhegosja jelementa na privodnom valu / A.T. Lebedev, R.V. Pavljuk, R.A. Magomedov [i dr.]. - №2009119273/11; zajavl. 21.05.2009; opubl. 27.10.2010 Bjul. №30. - 9 s.

13. Patent RF 2428295 Rossijskaja Federacija, B23P11/02. Sposob soedinenija s natjagom detalej val-vtulka A.T. Lebedev, R.V. Pavljuk, R.A. Magomedov [i dr.]. - №2010100664/02; zajavl. 11.01.2010; opubl. 10.09.2011Bjul. №25. - 7 s.

УДК 631.303

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СЕГМЕНТА ЗЕРНОСМЕСИ В ТРИЕРНЫХ ЦИЛИНДРАХ

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

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

Реферат. *При изучении взаимосвязи параметров циркулирующего сегмента в цилиндрах триеров от скоростного режима работы и величины загрузки использованы базовые положения теории триеров, основы механики сыпучих материалов, исследовательские стенды циклического действия. Подтверждена несостоятельность гипотезы о наличии между циркулирующими слоями зерновок в сегменте неподвижного ядра. Установлены угловые параметры сегмента при изменении скоростного режима в диапазоне 30-45 об/мин и изменении величины загрузки стендового ячеистого цилиндра от 7 до13 кг, что эквивалентно изменению подачи зерносмеси в триерный цилиндр в диапазоне 1,17-4,98 т/ч. Угловое отклонение от вертикали верхней границы увеличивается от 93^0 до 121^0. Угловое отклонение от вертикали нижней границы сегмента с ростом скоростного режима уменьшается в 2,17 раза при минимальной загрузке стендового ячеистого цилиндра зерносмесью, а при максимальной загрузке оно практически не изменяется за счет роста обратной циркуляции верхних слоев зерносмеси. Угол охвата сегмента с ростом динамики процесса и величины загрузки ячеистого цилиндра увеличивается от $90,5^0$ до 138^0, в стационарных условиях от 82^0 до 101^0. Представлена расчетная зависимость для определения динамики снижения угла подъема верхней границы сегмента зерносмеси по мере отвода выделенных зерновок основной культуры в лоток. Даны расчетные уравнения для определения числа циркулирующих слоев в сегменте в зависимости от параметров зерновок основной культуры, коэффициента динамического разуплотнения сегмента, величины загрузки стендового ячеистого цилиндра и его размеров. Установлено, что при росте загрузки стендового ячеистого цилиндра зерносмесью в 1,86 раза число циркулирующих слоев возрастает в 1,5 раза независимо от скоростного режима работы стенда.*

Ключевые слова: *ячеистый цилиндр, сегмент зерносмеси, угол охвата, угол отклонения, циркуляция, число слоев.*

DYNAMIC PARAMETERS FOR THE SEGMENT OF GRAIN MIXTURE IN TRIER CYLINDERS

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

Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture", Tambov

***Abstract**. The basic provisions of the theory of trier, the foundations of the mechanics of bulk materials, research stands of cyclic action were used in studying the relationship between the parameters of the circulating segment in the tri-cylinders from the high-speed operation mode and the load value. The inconsistency of the hypothesis of the presence of grain between the circulating layers in the stationary nucleus segment is confirmed. The angular parameters of the segment were established with a change in the speed regime in the range of 30-45 rpm, the value of the loading of the bench mesh cylinder from 7 to 13 kg, which is equivalent to changing the supply of grain mixture to the tri-cylinder in the range 1.17-4.98 t / h. The angular deviation from the vertical of the upper boundary increases from 930 to 1210. The angular deviation from the vertical of the lower boundary of the segment decreases with the growth of the speed regime by 2.17 times with the minimum loading of the bench honeycomb cylinder by the grain mixture, and at the maximum loading it practically does not change due to the growth of the reverse circulation of the upper layers of the grain mix. The angle of coverage of the segment with increasing dynamics of the process and the value of the load of the cellular cylinder increases from 90.50 to 1380, in stationary conditions from 820 to 1010. The calculated dependence for determining the dynamics of the decrease in the angle of rise of the upper boundary of the grain-mix segment as the separation of the isolated grains of the main crop into the tray was presented. Calculation equations for determining the number of circulating layers in the segment, depending on the parameters of the main crop grains, the dynamic decompression factor of the segment, the loading value of the bench mesh cylinder and its dimensions were given. It is established that the number of circulating layers increases by 1.5 times, regardless of the speed mode of the stand operation with the growth of loading of the bench mesh cylinder by a grain size of 1.86 times.*

***Keywords: c**ellular cylinder, grain mixture segment, coverage angle, deflection angle, circulation, number of layers.

Введение. Знание границ циркуляции слоев сегмента зерносмеси в триерных цилиндрах в зависимости от скоростных режимов работы и величины загрузки имеет весьма существенное значение для управления технологическим процессом. Размещение верхней кромки передней стенки выводного лотка в зоне циркуляции сегмента зерносмеси связано с риском захвата контактирующим слоем из сегмента примесных частиц и направления их в лоток с чистым зерном, что ухудшает качество технологического процесса. Кроме того, изменение угла охвата циркулирующего сегмента зерносмеси в ячеистом цилиндре имеет существенное значение для анализа динамики процесса триерной очистки зерна. В научной литературе эти данные отсутствуют, что исключает возможность назначать регламенты эксплуатации по настроечным параметрам существующих триерных блоков. В нормативно-технической документации по эксплуатации отечественных и зарубежных триерных блоков таких регламентов нет, что приводит к существенному снижению эффективности их использования. Поэтому задача установления взаимосвязи параметров циркулирующего сегмента в цилиндрах триеров в зависимости от скоростного режима работы и величины загрузки является актуальной.

Методы и средства. В работе использовались базовые положения теории триеров, основы механики сыпучих материалов, исследовательские стенды циклического действия, частные методики исследований и средства измерений.

Результаты и обсуждение. По величине угла охвата сегмента определяют его высоту (толщину) при заданной величине загрузки стенда зерносмесью ($m_н$), а с учетом степени разуплотнения циркулирующих слоев ($K_p = 1,22$) [1] определяют их (слоев) число. Указанные расчетные параметры необходимы для объективного анализа динамики процесса выделения частиц из зерносмеси и степени заполнения ячей частицами.

Кроме того, угол охвата сегмента и угловая величина подъема его верхней границы необходимы для обоснования диапазона пространственных положений γ_n верхней кромки передней стенки выводного лотка. Величина $\gamma_{n\min}$ должна превышать максимальный угол подъема верхней границы сегмента при всех сочетаниях скоростного режима работы (n) и величины его загрузки зерносмесью ($m_н$). При этом предотвращается неконтролируемый захват и выброс выделяемых частиц в выводной лоток из нижнего (контактирующего) слоя сегмента зерносмеси, что обеспечивает лучшую управляемость технологического процесса и повышение его качества.

Частной задачей исследований угла охвата сегмента являлось установление и оценка пристенного эффекта в зависимости от скорости вращения ячеистого цилиндра и величины его загрузки зерносмесью, влияния пристенного эффекта на параметры факела выброса выделенных частиц. Фотосъемку пристенного эффекта производили через прозрачную стенку, которую устанавливали на консольный торец ячеистого цилиндра. Сравнительную оценку пристенного эффекта производили по результатам исследований процесса с блокирующей цилиндрической обечайкой и без нее.

На первом этапе исследования проводили без цилиндрической обечайки (не блокировали пристенный эффект). В результате удалось выявить только нижнюю границу циркулирующего сегмента зерносмеси. При $m_н = 5$ кг ее отклонение от вертикали, проходящей через ось вращения ячеистого цилиндра, уменьшалось от 6^0 до 3^0 с ростом скорости вращения в диапазоне $n = 30 \ldots 45$ об/мин. При $m_н = 7$ кг в том же диапазоне скоростного режима отклонение нижней границы сегмента зерносмеси уменьшилось с 7^0 до 5^0, то есть увеличение загрузки стенда приводит к росту динамики возвратной циркуляции верхних слоев зернового сегмента и увеличивает угловое отклонение нижней его границы от вертикали при равных скоростных режимах работы стенда [2-4].

Из-за пристенного эффекта установить верхние границы циркулирующего сегмента не удалось. Циркуляция верхних слоев с отрывом частиц от сегмента происходит с самого начала вращения ячеистого цилиндра и подъема сегмента по направлению его вращения. Поэтому исследования при $m_н > 7$ кг мы не проводили.

Отрыв частиц (зерновок) от сегмента из-за пристенного эффекта увеличивал параметры факела их выброса. Максимальный угол охвата факела выброса (нисходящей его части) превышал 90^0. У стенда угловое расстояние между верхними кромками боковых стенок выводного лотка составляет 90^0, а у стандартного выводного лотка этот параметр еще меньше. Это исключало возможность отвода лотком всех частиц факела при наличии пристенного эффекта и оценить его количественно, рисунок 1.

Рисунок 1 подтверждает, что получить объективные результаты исследований по динамике процесса триерного разделения зерносмесей без блокирования пристенного эффекта невозможно. Физическая модель процесса компании DEM Solutions по той же причине является нереалистичной, рисунок 2.

Летошнев М.Н. [5] в созданной им теории триеров рассматривает циркулирующий сегмент зерносмеси с завышенной степенью разуплотнения его центральной части при наличии

«ядра с неподвижными зернами» (рисунок 3). Очевидно, что автор теории предложил такую трактовку из-за недостатка средств экспериментальной проверки реального процесса. Опыты он проводил с использованием ячеистого цилиндра длиной 0,15 м и диаметром 0,24 м. Торцы ячеистого цилиндра были снабжены прозрачными стенками.

Очевидно, что при указанных габаритах ячеистого цилиндра параметры циркулирующего слоя максимально искажались пристенным эффектом. Съемка реального процесса в динамике (рисунок 4) протекающего в ячеистом цилиндре диаметром 0,6 м при блокировании пристенного эффекта показала: максимальная степень разуплотнения сегмента характерна для его верхней части, где при $n = 40 \ldots 45$ об/мин наблюдается сжатый факел обратной циркуляции слоев зерна, имеющий ленточную форму; «ядро с неподвижными зернами» отсутствует – в зоне встречных потоков зерновки вращаются при минимальных градиентах послойного сдвига. Тем более, утверждение профессора Летошнева М.Н. о том, что вышележащие слои «движутся по верхней поверхности ядра как по наклонной плоскости», не подтверждается.

Результаты замеров границ сегмента при различных n и $m_н$ представлены в таблице 1.

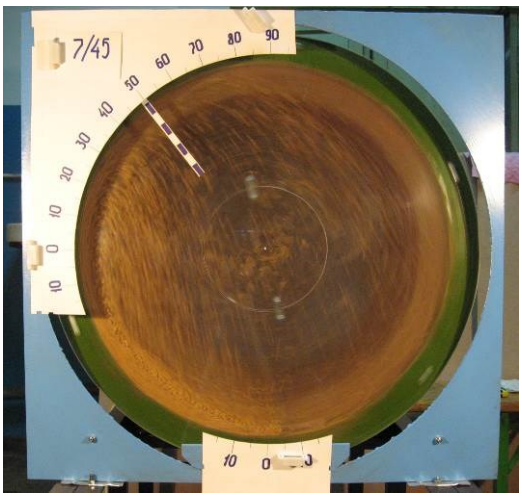


Рисунок 1 – Циркуляция зернового сегмента в стенде при наличии пристенного эффекта

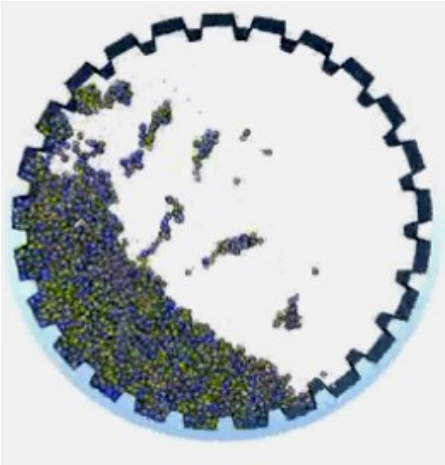


Рисунок 2 – Физическая модель циркуляции сегмента компании DEM Solutions

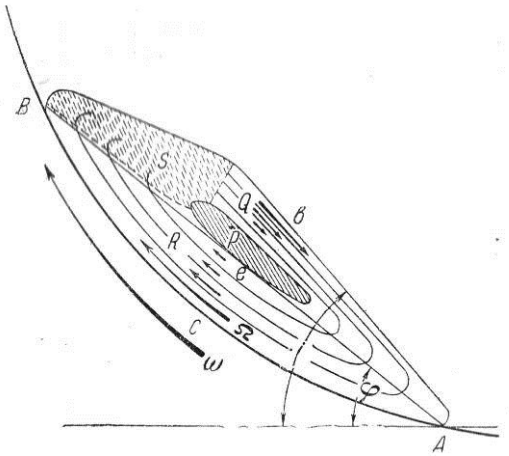
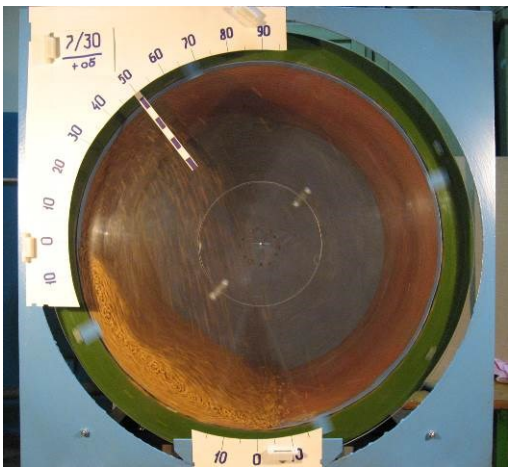
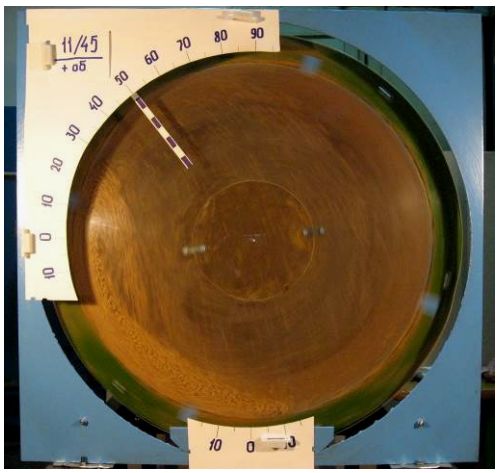


Рисунок 3 – Физическая модель циркуляции сегмента по Летошневу М.Н.



а) n = 30 об/мин; $m_н$ = 7 кг



б) n = 45 об/мин; $m_н$ = 11 кг

Рисунок 4 – Динамика циркуляции зернового сегмента при различных n и $m_н$ с блокированием пристенного эффекта

Таблица 1 – Результаты замеров угла охвата (γ_{ox}) сегмента при изменении скоростного режима работы (n) и величины загрузки ($m_н$)

№ п/п	Величина загрузки ($m_н$), кг	Скорость вращения цилиндра, (n), об/мин и частота тока, Гц	Отклонение границ сегмента от вертикали, град.		Угол охвата сегмента в динамике (γ_{ox}), град	Угол охвата сегмента в покое (после вращения цилиндра), град
			Лев.($\gamma_{пс}$)	Прав.		
1	7,0	30/31,2	93	6,5	99,5	82
2		35/36,2	96	5	101	82
3		40/41,2	100	4	104	82
4		45/46,2	108	3	111	82
5	9,0	30/31,4	98	12	110	88
6		35/36,4	102	11	113	88
7		40/41,4	107	8	115	88
8		45/46,4	113	8	121	88
9	11,0	30/31,6	103	14	117	94
10		35/36,6	106	13	119	94
11		40/41,6	111	12,5	123,5	94
12		45/46,6	117	12	129	94
13	13,0	30/31,8	105	18	123	101
14		35/36,8	110	18	128	101
15		40/41,8	116	17	133	101
16		45/46,8	121	17	138	101

Из рисунка 4 и таблицы 1 видно, что установка обечайки со стороны блокирующего кольца с целью исключения пристенного эффекта коренным образом изменила внешние контуры циркулирующих и выносимых потоков частиц основной культуры. В верхней части сегмента появилась четкая граница между верхней кромкой сегмента, где происходит циркуляция зерновок, и контактирующей с ней зоной выноса частиц, захваченных ячеями. Угол

подъема сегмента отсчитывали от нижней точки ячеистого барабана, который при массе загрузки в 7 кг возрастал от 93^0 до 108^0 во всем диапазоне исследуемых скоростей вращения – от 30 до 45 об/мин. При навеске в 9 кг угол подъема сегмента изменялся от 98^0 до 113^0 в том же диапазоне скоростей вращения ячеистого барабана, при навеске 11 кг - $103^0 \ldots 117^0$, а при навеске 13 кг - $105^0 \ldots 121^0$.

Точка контакта циркулирующих слоев и выносимых из сегмента частиц основной культуры является характерной точкой для определения угла подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка. В частности, при навеске зерносмеси в цилиндре 13 кг и скорости вращения ячеистого барабана 45 об/мин нельзя устанавливать угол подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка меньше 30^0 (при отсчете этих углов от горизонтали). В противном случае будет производиться неконтролируемый выброс зерновок в лоток из циркулирующих слоев сегмента, что существенно повлияет на управляемость процесса.

Наблюдения за факелом выброса во всем диапазоне скоростей вращения ячеистого барабана и во всем диапазоне его загрузки показало, что переброс выносимых частиц через заднюю стенку выводного лотка невозможен.

Из таблицы 1 видно, что угол подъема сегмента $(\gamma_{пс})$ при снижении $m_н$ на 4 кг (от 11 кг до 7 кг) независимо от скоростного режима работы стенда уменьшается в среднем на 10^0: при n = 30 об/мин на 10^0; при n = 35 об/мин на 10^0; при n = 40 об/мин на 11^0; при n = 45 об/мин на 9^0. Причем характер изменения угла подъема от $m_н$ близок к линейному. Поэтому для анализа расходных характеристик и степени заполнения ячей зерновками величину $\Delta\gamma_{пс}$ по мере разгрузки ячеистого барабана возможно определять по уравнению:

$$\Delta\gamma_{пс} = (\Delta m_i / 4) \times 10 \ , \qquad (1)$$

где $\Delta\gamma_{пс}$ - снижение угла подъема сегмента при выделении в выводной лоток некоторой массы зерновок, равной $\Delta m_н$, град; $\Delta m_н$ - изменение начальной загрузки ячеистого стенда $m_н$ до i-го интервала времени, кг.

$$\Delta m_н = \sum_{1}^{K_a} m_{ij} \ , \qquad (2)$$

где K_a – номер анализируемого интервала времени замеров.

Например, в опыте наблюдалось: $m_н$ = 11 кг; n = 35 об/мин; $\gamma_п$ = 35^0; угол подъема кромки лотка - 35^0 (125^0 от вертикали); начальный угол подъема сегмента $(\gamma_{пс})$ составлял 106^0. То есть, угловое расстояние, между верхней границей сегмента и верхней кромкой передней стенки выводного лотка в начале разгрузки стенда составляет (125 - 106 = 19^0), после 5-го интервала времени, когда $\Delta m_н$ = 6,5 кг, этот угол будет составлять – 19 + $\Delta\gamma_{пс}$ = 19 + 6,5/4×10 = $35{,}25^0$.

Это очень важный показатель для оценки динамики процесса: часть факела будет отсекаться стенкой отводного лотка, а оценка степени заполнения ячей зерновками – занижаться. Эти результаты исследований должны быть дополнены исследованиями зависимостей $W_в = f(\gamma_{пс}, \gamma_п, \Delta\gamma_{пс})$.

При анализе динамики процесса выделения частиц из зерносмеси необходимо учитывать параметры сегмента по высоте. Результаты исследований угла охвата $(\gamma_{ох})$ сегмента позво-

ляют определить число циркулирующих слоев при различных $m_{н,}$ n и высоту (h_c) сегмента по формулам:

$$\begin{cases} n_{сл} = 360\ K_p \cdot m_н \Big/ \pi D \gamma_{ox} \overline{d} l_{цс} \rho; \\ h_c = n_{сл} \overline{d}, \end{cases} \quad (3)$$

где D – диаметр ячеистого цилиндра (D = 0,6 м), м;

$\overline{d}$ – средний поперечный размер зерновок основной культуры ($\overline{d}$ = 0,00321 м), м.

Принимая во внимание значения $l_{цс}$ = 0,5 м, ρ = 805 кг/м^3, K_p = 1,22, после преобразования получим:

$$\begin{cases} n_{сл} = 180\ ,4 m_н / \gamma_{ox}; \\ h_c = 0,00321\ \ n_{сл}. \end{cases} \quad (4)$$

По соотношениям (4) произведем расчет параметров сегмента ($n_{сл}$, h_c) для начальных условий исследований ($m_н$, n), которые необходимы при анализе результатов, таблица 2.

Таблица 2 – Параметры сегмента ($n_{сл}$, h_c) в зависимости от $m_н$, n и γ_{ox}

Скорость вращения ячеистого цилиндра (n), об/мин	Число циркулирующих слоев в сегменте при различной загрузке ячеистого цилиндра зерносмесью ($m_н$), кг			
	7	9	11	13
30	12,7/0,0407	14,76/0,0474	16,96/0,0544	19,1/0,0612
35	12,5/0,0401	14,37/0,0461	16,68/0,0535	18,3/0,0588
40	12,14/0,039	14,12/0,0453	16,07/0,0516	17,63/0,0566
45	11,38/0,0365	13,42/0,0431	15,38/0,0494	17/0,0546

Данные таблицы 2 показывают, что в пределах каждого скоростного режима при росте загрузки ячеистого цилиндра в 1,86 раза параметры циркулирующего сегмента возрастают только в 1,5 раза. Это обусловлено тем, что с ростом $m_н$ непропорционально возрастают коэффициент динамического трения циркулирующих слоев и угол охвата сегмента зерносмеси.

В пределах каждой величины $m_н$ параметры сегмента ($n_{сл}$, h_c) связаны со скоростным режимом работы обратно-пропорциональной зависимостью. При росте скоростного режима в 1,5 раза (с 30 об/мин до 45 об/мин) величины $n_{сл}$ и h_c уменьшаются на 10…11%. Степень уменьшения $n_{сл}$ и h_c с ростом скоростного режима обусловлена приращением угла охвата (γ_{ox}) и тесно коррелированна с ним. В исследованных диапазонах $m_н$ и n число циркулирующих слоев зерновок в сегменте изменялось в пределах $n_{сл}$ = 11,38…19,1 шт (в 1,68 раза), а толщина сегмента – в пределах h_c = 0,0365…0,0612 м.

Для определения промежуточных параметров циркулирующего сегмента по мере отвода из него зерновок основной культуры необходимо использовать уравнения (2) и (3). На момент начала i-го интервала времени в j-ом опыте:

$$\begin{cases} n_{сл} = 180\ ,4 (m_н - \Delta m_н) /(\gamma_{ox} - \Delta \gamma_{ox}); \\ h_c = 0,00321\ \ n_{сл} \end{cases} \quad (5)$$

Величину γ_{ox} определяют по таблице 1, а $\Delta\gamma_{ox}$ – по формуле (1).

Выводы. Динамическая циркуляция слоев частиц зерносмеси в сегменте исключает образование неподвижного ядра в центральной части сечения. С ростом коэффициента кинематического режима в 2,25 раза угол охвата сегмента изменяется от $99{,}5^0$ до 138^0 в зависимости от величины загрузки ячеистого цилиндра зерносмесью. При изменении загрузки ячеистого цилиндра от 7 до 13 кг число циркулирующих слоев изменяется в 1,68 во всем диапазоне скоростного режима.

Список литературы

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

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

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

4. Патент РФ № 2616201 Стенд для испытаний ячеистых поверхностей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин. – № 2016108182 заявл. 09.03.2016, опубл. 13.04.2017, Бюл. № 11.

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

References

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

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

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

4. Patent RF № 2616201 Stend dlja ispytanij jacheistyh poverhnostej / N.P. Tishani-nov, A.V. Anashkin. – № 2016108182 zajavl. 09.03.2016, opubl. 13.04.2017, Bjul. № 11.

5. Letoshnev, M.N. Sel'skohozjajstvennye mashiny, teorija, raschet, proektirovanie i ispytanie / M.N. Letoshnev. – M.: L.: Sel'hozgiz, 1955. – 856 s.

УДК 631.303

УПРАВЛЕНИЕ РАСХОДНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ТРИЕРА ПОЛОЖЕНИЕМ ВЫВОДНОГО ЛОТКА

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

Реферат. *Изучали закономерности изменения интенсивности выделения зерновок основной культуры из зерносмеси стендом циклического действия. Использовали минимальную загрузку ячеистого цилиндра ($m_н$ = 7 кг), эквивалентную подаче зерносмеси на уровне 23,4% от номинального значения при минимальном скоростном режиме (n = 30 об/мин) и максимальную загрузку ($m_н$ = 13 кг), соответствующую номинальной подаче зерносмеси в стандартный ячеистый цилиндр. Дана оценка периодов времени реализации процесса при изменении угла подъема ($\gamma_п$) верхней кромки передней стенки выводного лотка, изменяемом в диапазоне 20-40° относительно горизонтальной плоскости. Установлено, что при минимальном значении $\gamma_п$ длина рабочей поверхности стандартного ячеистого цилиндра будет использована частично, качество процесса будет снижаться по критерию остаточной засоренности. При максимальном значении $\gamma_п$ будут наблюдаться потери зерновок основной культуры. Выявлено, что с ростом величины $\gamma_п$ текущие значения интенсивности выделения зерновок основной культуры снижаются, а продолжительность относительно стабильного процесса по этому показателю возрастает до 50-60 с, что подтверждает возможность управления процессом по качественным показателям. Обоснована степень снижения циркулирующей массы зерносмеси в ячеистом цилиндре до которой ослабляется эффект «выедания» зерновок основной культуры из ячей контактирующим слоем. Установлена зона возникновения рисков потерь по времени реализации процесса, которые многократно превышают потери зерновок основной культуры относительно условий работы при частичных загрузках ячеистого цилиндра. При величине $\gamma_п$ = 40° потери достигают 77,7%, что подтверждает актуальность задач управления процессом триерной очистки зерносмесей путем изменения положения выводного лотка. Экспериментально подтверждена достоверность ранее разработанного метода идентификации расходных характеристик ячеистых цилиндров произвольной длины по стендовым реализациям процесса.*

Ключевые слова: *триер, ячеистый цилиндр, качество процесса, управление, расходные характеристики, выводной лоток, поворот лотка, блокирование факела выделенных частиц.*

CONTROL OF CONSUMPTION CHARACTERISTICS OF THE CELLULAR CYLINDER WITH THE POSITION OF THE OUTPUT TRAY

Tishaninov Nikolai,
Full Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: av-anashkin@mail.ru

Anashkin Alexander,
Candidate of Technical Sciences, e-mail: av-anashkin@mail.ru
Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture", Tambov

Abstract. *The regularities in the change in the intensity of the separation of cereals of the main crop from the cereal mixture by a cyclic action stand were studied. The minimum loading of a mesh cylinder (m_n = 7 kg), equivalent to feeding the mix at a level of 23.4% of the nominal value at the minimum speed mode (n = 30 rpm) and the maximum load (m_n = 13 kg) corresponding to the nominal feed of the mix standard cellular cylinder, was used.Estimation of the time periods of the process realization with a change in the angle of ascent (γn) of the upper edge of the front wall of the output tray, varying in the range 20-40 ° with respect to the horizontal plane, was given. It is established that the length of the working surface of a standard honeycomb cylinder will be used partially at the minimum value γn, the quality of the process will decrease by the criterion of residual weed. Losses of grains of the main crop will be observed at the maximum value of γn. It was found that with the increase in the value of γn, the current values of the intensity of the separation of grains of the main crop are reduced, and the duration of the relatively stable process increases by this indicator to 50-60 s, which confirms the possibility of controlling the process according to qualitative indices. The degree of reduction of the circulating mass of the grain mixture in the cellular cylinder, to which the effect of "eating out" the grains of the main crop from the cell by the contact layer was justified. The zone of occurrence of the risks of losses due to the time of the process realization, which repeatedly exceeds the losses of the main crop grains relative to the operating conditions for partial loads of the cellular cylinder, is established. Losses reach 77.7% at a value of γn = 40 °, which confirms the topicality of the tasks of controlling the process of trier cleaning of grain mixtures by changing the position of the output tray. The reliability of the previously developed method of identifying the consumption characteristics of mesh cylinders of arbitrary length by bench realization of the process was experimentally confirmed.*

Keywords: *trier, cellular cylinder, process quality, control, flow characteristics, output tray, pan rotation, blocking of the flame of isolated particles.*

Введение. В традиционных триерных блоках последовательно используются овсюжный и кукольный ячеистые цилиндры, условия протекания технологического процесса в которых имеет принципиальное отличие. В овсюжном –зерновки основной культуры имеют непосредственный контакт с ячеистой поверхностью, а в кукольном – выделяемые короткие примеси находятся в различных по высоте слоях циркулирующего сегмента зерносмеси. Для сбалансирования качества технологического процесса в обоих цилиндрах триерного блока необходимо сокращать подачу зерносмеси, но при этом в овсюжном цилиндре выделение зерновок основной культуры осуществляется при частичном использовании длины ячеистой поверхности, а оставшаяся свободная ячеистая поверхность оборачивает технологический процесс вспять, направляя длинные частицы примесей в выводной лоток с чистым зерном [1]. Для решения этого противоречия разрабатываются средства опережения подачи зерносмеси в овсюжный цилиндр [2-4], которые блокируют часть рабочей поверхности ячеистого цилиндра или часть длины выводного лотка. Однако, эти решения требуют затратной реконструкции триерных блоков. Стандартные триерные блоки позволяют управлять расходными характеристиками овсюжного цилиндра за счет отсечения части факела выброшенных частиц ячеями при подъеме верхней кромки передней стенки выводного лотка, но база знаний по взаимосвязи расходных характеристик триера с режимами работы и настроечными пара-

метрами в литературе отсутствует. Поэтому задача управления расходными характеристиками триера путем изменения положения выводного лотка является актуальной.

Методы и средства. В работе использовались теория триеров, расчетно-конструктивные методы, частные методики исследований ячеистых поверхностей, стендовое оборудование [1-3], измерительные приборы.

Результаты и обсуждение. Разработанный в ФГБНУ ВНИИТиН стенд циклического действия с непрерывным отводом частиц зерносмеси позволяет моделировать работу ячеистого цилиндра произвольной длины. Принцип его действия основан на базовом положении классической теории триеров. Оно заключается в том, что из сегмента зерносмеси с начальными значениями его угла охвата (γ_{ox}) и высоты (h_c) постепенно – по мере его осевого смещения вдоль ячеистого цилиндра выделяются зерновки основной культуры до момента, когда $\gamma_{ox} = 0$ и $h_c = 0$. При этом ячеистая поверхность используется полностью – нет свободной поверхности $l_{св} = 0$ и схода $W_{cx} = 0$.

Эквивалентом рабочей длины ячеистого цилиндра является произведение скорости осевого смещения сегмента (υ) на продолжительность процесса (t). Изменяя расходные характеристики процесса выделения зерновок основной культуры из зерносмеси положением верхней кромки передней стенки выводного лотка (γ_n), мы меняем продолжительность процесса. Подача (W_n) зерносмеси в ячеистый цилиндр имеет вполне определенную связь с начальными параметрами сегмента и позволяет рассчитать скорость его осевого смещения [4], а продолжительность процесса определяется опытным путем. Эти предпосылки позволяют установить взаимосвязь интенсивности выделения зерновок с углом подъема кромки лотка – $W= f (\gamma_n)$ которая имеет важнейшее значение при проектировании триеров и управлении процессом очистки зерносмесей.

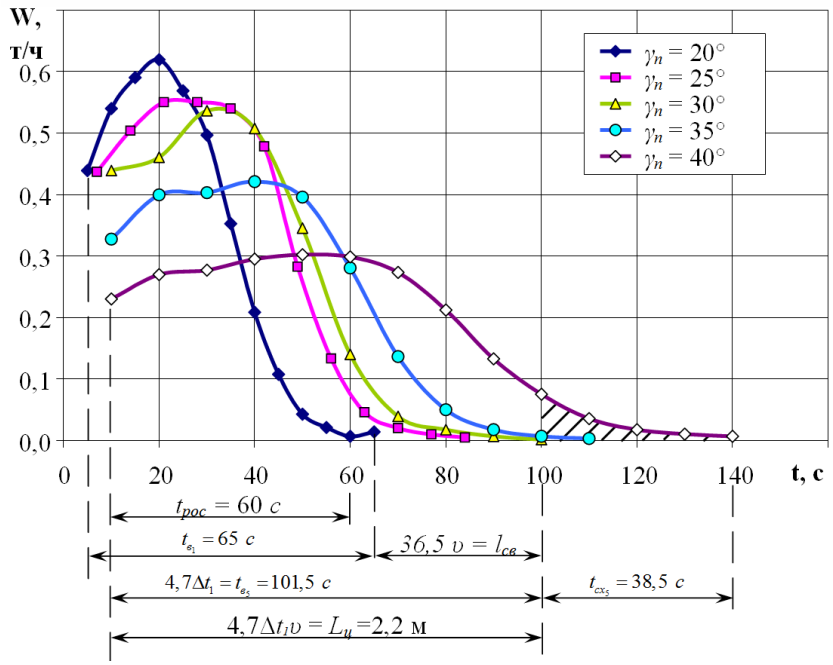
Результаты исследований взаимосвязи $W= f (\gamma_n)$ при минимальных значениях загрузки стенда ($m_н = 7$ кг) и скоростного режима его работы (n = 30 об/мин) представлены на рисунке 1.

Из рисунка 1 видно, что с ростом γ_n степень отсечения факела выделенных зерновок и продолжительность их выделения из сегмента возрастают. При этом участки относительно стабильной интенсивности выделения по времени расширяются. Эти особенности процесса характерны для всех скоростных режимов работы ячеистого цилиндра.

Увеличение скоростного режима относительно минимального на 17% приводит к росту максимальной интенсивности выведения зерновок(W_{max}) из сегмента на 29%. Непропорциональный рост W_{max} обусловлен повышением вероятности выброса в факел зерновок из контактирующего слоя. При дальнейшем росте: n на 33% → W_{max} возрастает на 135%; n на 50% → W_{max} на 271%. То есть интенсивность захвата зерновок из контактирующего слоя и полнота отвода выброшенного факела возрастают. С ростом n от 30 до 45 об/мин продолжительность процесса выделения зерновок из сегмента сокращается от 140 с до 42 с – в 3,3 раза.

При росте величины загрузки ячеистого цилиндра от 7 до 13 кг максимальная интенсивность выведения зерновок в отводной лоток (W_{max}), когда скоростной режим работы и настроечный параметр сохраняются (n =30 об/мин, γ_n = 30°), не возрастает и составляет по стендовым реализациям процесса 0,53…0,55 т/ч. С ростом $m_н$ в указанном диапазоне угловое положение верхней границы циркулирующего сегмента изменяется от 93 до 105°, угловое расстояние от этой границы до кромки выводного лотка ($\Delta\gamma_{nc}$) снижается от 27° до 15°, но увеличения W_{max} не происходит.

Предположительно с ростом $m_н$ и уменьшением $\Delta\gamma_{nc}$ происходят два эффекта: 1) процесс «выедания» зерновок из ячей с увеличением циркулирующих слоев преобладает над процессом заполнения ячей зерновками под давлением слоя; 2) наполнение факела выброшенных зерновок увеличивается в нижней части, но при недостаточном скоростном режиме (n =30 об/мин) эта часть факела не поднимается до верхней кромки передней стенки выводного лотка.



$t_{рос}$ – продолжительность роста расходной характеристики в анализируемой реализации, с; $t_{в_1}$, $t_{в_5}$ – продолжительность реального процесса выделения зерновок основной культуры из зерносмеси по 1-ой и 5-ой стендовой реализации процесса при $m_н$ = 7 кг, γ_n = 20° и γ_n = 30°, с; $l_{св}$ – длина свободной ячеистой поверхности стандартного ячеистого цилиндра, м; Δt_1 – расчетная продолжительность осевого смещения сегмента зерносмеси на длину стендового ячеистого цилиндра при $m_н$ = 7 кг и n = 30 об/мин, с; $t_{сх_5}$ – реальная эквивалентная продолжительность схода зерносмеси по 5-ой стендовой реализации процесса, с; $L_ц$ – длина стандартного ячеистого цилиндра, м; 4,7 – соотношение длин стандартного и стендового ячеистых цилиндров.

Рисунок 1 – Влияние положения лотка на W ($m_н$ = 7 кг; n = 30 об/мин)

Первый эффект подтверждается выявленной динамикой процесса выделения зерновок основной культуры из зерносмеси. Так при $m_н$ = 7 кг, n = 30 об/мин и γ_n = 40° (см. рисунок 1) интенсивность выделения возрастает на протяжении 50…60 с. При этом циркулирующая масса зерносмеси уменьшается до 4…3,2 кг, ослабляя эффект «выедания» зерновок из ячей. Кроме того угол $\Delta\gamma_{nc}$ увеличивается к этому моменту времени с 37° до 42…43,3°, но снижение угла охвата факела выброшенных зерновок вполне компенсируется ослаблением эффекта «выедания». Более контрастно проявляет себя эффект «выедания» зерновок из ячей при $m_н$ = 13 кг, рисунок 2. Увеличение интенсивности выделения (W) при том же скоростном режиме работы (n = 30 об/мин) и γ_n =40° продолжается 160 с. При этом циркулирующая масса сегмента уменьшается на 9,5…10 кг. То есть при W_{max} циркулирует сопоставимая с результатами при $m_н$ = 7 кг масса зерносмеси – 3…3,5 кг.

С уменьшением γ_n приращение интенсивности выделения (W) зерновок основной культуры из зерносмеси возрастает, а протяженность ее роста ($t_{рос}$) сокращается (см. рисунок 2). Снижение γ_n до 35° сокращает $t_{рос}$ до 105 с, а при γ_n = 30° → $t_{рос}$ = 85 с. За это время выделяется соответственно 9,7 и 9,5 кг зерновок основной культуры. То есть при W_{max} циркулирующая масса зерносмеси составляет соответственно 3,3 и 3,5 кг.

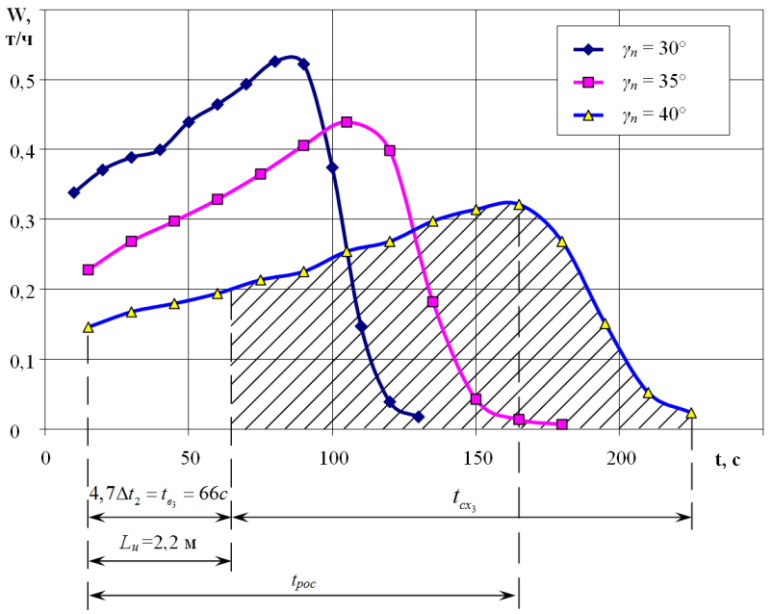
Таким образом, независимо от величин γ_n и $m_н$ в исследованных диапазонах сохраняется оптимальная масса циркулирующего сегмента зерносмеси, которая обеспечивает максималь-

ную интенсивность выделения зерновок, она составляет 3…4 кг. При этом число циркулирующих слоев в сегменте составляет ≈ 5…6 шт.

Данные рисунка 1 показывают, что реализация процесса при γ_n= 30° продолжается 4,7 Δt_1 = 101,5 с, когда используется вся длина стандартного ячеистого цилиндра, свободная его поверхность $l_{св}$ = 0 и сход $W_{сх}$ = 0. За это время полностью выделяется в выводной лоток 7 кг зерновок. Однако, из рисунка 1 видно, что реализация процесса при γ_n = 20° продолжается 65 с, когда также выделяется 7 кг зерновок. Это создает иллюзию противоречия, даже парадокса – подача одинаковая(1,17 т/ч), а интенсивность выведения зерновок (W) в непрерывном по времени процессе разная. В первом случае она составляет 7/101,5×3600 = 248,276 кг/ч, а во втором – 7/65×3600 = 387,7 кг/ч.

Предложенный нами метод идентификации производительности триеров по результатам стендовых исследований позволяет решить это кажущееся противоречие. В первом случае - W = 248,276×101,5/21,6 = 1166,7 ≈ 1,17 т/ч. Во втором - W = 387,7×65/21,6 ≈ 1,17 т/ч (Δt = 21,6 с = const для определенных значений $m_н$ и n). То есть, при одинаковой подаче (W_n) не зависимо от полноты использования ячеистой поверхности цилиндра интенсивность выделения зерновок (W) будет всегда одинаковой в непрерывном процессе при отсутствии схода ($W_{сх}$ = 0).

Загрузка ячеистого цилиндра в 13 кг увеличивает продолжительность стендовой реализации расходных характеристик при n = 30 об/мин до 130…215 с, так как локальная интенсивность выделения зерновок основной культуры при ограниченном скоростном режиме невелика и она снижается с ростом γ_n.



Δt_2 – расчетная продолжительность осевого смещения сегмента зерносмеси на длину стендового ячеистого цилиндра при $m_н$ = 13 кг и n = 30 об/мин, с; $t_{сх_3}$ – реальная эквивалентная продолжительность схода зерносмеси по 3-ей циклической реализации процесса, с; $t_{в_3}$ – продолжительность реального процесса выделения зерновок основной культуры из зерносмеси по 3-ей стендовой реализации процесса при γ_n = 40°, $m_н$ = 13 кг и n = 30 об/мин, с.

Рисунок 2 – Влияние положения лотка на W ($m_н$ = 13 кг; n = 30 об/мин)

При $m_н$ = 13 кг и n = 30 об/мин расчетная скорость осевого смещения сегмента составля-

ет 0,0335 м/с. С этой скоростью сегмент проходит стандартную длину ячеистого цилиндра ($L_ц$ =2,2 м) за 66 с. В исследуемом диапазоне $\gamma_п$ = 30…40° в стандартном ячеистом цилиндре будут наблюдаться потери сходом ($W_{сх}$), так как при $m_н$ = 13 кг и n = 30 об/мин эквивалентная производительность составляет 3,34 т/ч, а интенсивность выделения зерновок ($W_в$) на том же уровне при пониженном скоростном режиме и завышенных величинах $\gamma_п$ не может быть обеспечена.

Потери зерносмеси сходом при подаче $W_в$ = 3,34 т/ч и скоростном режиме работы стандартного ячеистого цилиндра n = 30 об/мин составляют соответственно: $\gamma_п$ = 30° → потери 48,7%; $\gamma_п$ = 35° → потери 64,0%; $\gamma_п$ = 40° → потери 77,7%.

Уменьшение подачи до 1,17 т/ч (см. рисунок 1) только в одном случае приводит к существенным потерям зерносмеси. При $\gamma_п$ = 40° они составляют 6%. При $\gamma_п$ = 30° и $m_н$ = 7кг ячеистая поверхность стандартного цилиндра используется частично. Длина свободной поверхности составляет $l_{св}$ = 36,5×0,0218 = 0,8 м.

В настоящей статье к анализу приняты некоторые граничные условия работы триеров по подаче ($W_п$), скоростному режиму (n) и углу ($\gamma_п$), которые подчеркивают важность их обоснованного выбора для эффективной работы зерноочистительных агрегатов. Актуальность решения этой задачи подтверждается тем, что научная основа для управления процессом триерной очистки зерносмесей отсутствует у нас в стране и за рубежом. Поэтому в паспорте по эксплуатации отечественных и зарубежных триерных блоков, который является составной частью конструкторской документации и руководящим документом при их использовании, нет конкретных указаний по режимам работы и настроечным параметрам.

В этой связи возникают вопросы: что конкретно подвергается проверке на соответствие при проведении заводских, ведомственных и государственных испытаний?; как воспроизводить условия испытаний без учета гравитационной сегрегации примесных компонентов в среде основной культуры по мере разгрузки технологических емкостей?; как воспроизводить заданную подачу зерносмеси в триерные блоки без эффективных средств разделения перевалочных потоков сыпучих материалов в многоканальных технологиях подработки?

Разработчики и сотрудники МИС многие десятилетия не могли найти ответы на эти вопросы, давали необъективные заключения по «результатам испытаний». Зерноочистительные комплексы производились, направлялись в плановом порядке в производство без учета мнений потребителей и использовались за границами экономической эффективности с ущербом в сотни миллиардов рублей. С приобретением хозяйственной самостоятельности руководители сельскохозяйственных предприятий стали массово выводить зерноочистительные комплексы из эксплуатации.

В развитых с технологической точки зрения странах (Австрия, Канада, Китай и др.) задачи управления процессами триерной очистки зерносмесей также остаются не решенными, нет достаточных научных знаний. Однако, потребителям предлагается весьма широкий спектр триерных блоков и вариантов их использования: триерные блоки с вариативным составом овсюжных и кукольных ячеистых цилиндров; однооперационные блоки для выделения длинных или коротких примесей; последовательные технологические цепочки с учетом составов примесных компонентов; триерные блоки высокоскоростные – с коэффициентом кинематического режима на уровне 0,68…0,73 и др.

Опыт зарубежных стран позволяет расширить выбор технологических возможностей для потребителя, однако обоснованность выбора и необходимость эффективного использования технологий также требуют объективных научных знаний по динамике выделения частиц

зерносмесей в широких диапазонах режимов работ и настроечных параметров.

Выводы. Научная база для управления расходными характеристиками триеров отсутствует, что исключает возможность сбалансирования последовательных процессов триерной очистки зерносмесей по критериям качества. При минимальной подаче зерносмеси в овсюжный цилиндр и завышенном угле подъема верхней кромки выводного лотка наблюдаются потери сходом до 6 %, а при номинальной подаче – до 77 %. Заниженное положение верхней кромки выводного лотка приводит к сокращению использованной рабочей поверхности, а незадействованная (35,5 %) создает риски поступления длинных примесей в лоток с чистым зерном, ухудшая показатель остаточной засоренности зерна.

Список литературы

1. 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.

2. Тишанинов, Н.П. Обоснование режимов работы и параметров прибора для рассева проб зерносмесей/ Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, Х.Д.Д. Альшинайиин // Наука в центральной России. – 2016. – № 3. – С. 74-80.

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

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

References

1. 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.

2. Tishaninov, N.P. Obosnovanie rezhimov rabotih i parametrov pribora dlya rasseva prob zernosmeseyj/ N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, Kh.D.D. Aljshinayjiin // Nauka v centraljnoyj Rossii. – 2016. – № 3. – S. 74-80.

3. Tishaninov, N.P. Obosnovanie parametrov stenda ciklicheskogo deyjstviya dlya issledovaniyj yacheistihkh poverkhnosteyj / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, Kh.D.D. Aljshinayjiin // Nauka v centraljnoyj Rossii. – № 4 (22). – 2016. – S. 90-98.

4. Letoshnev, M.N. Seljskokhozyayjstvennihe mashinih, teoriya, raschet, proekti-rovanie i ispihtanie / M.N. Letoshnev. – M.: L.: Seljkhozgiz, 1955.– 856 s.

УДК 66.06

ЭФФЕКТИВНОСТЬ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННОГО КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ БЕЛКА В МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКЕ

Лазарев Сергей Иванович,
доктор технических наук, профессор, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru
Абоносимов Олег Аркадьевич,
доктор технических наук, доцент, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru
Кузнецов Михаил Александрович,
доктор технических наук, профессор, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru
Протасов Дмитрий Николаевич,
к.э.н., доцент, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

ФГБОУ ВО Тамбовский государственный технический университет, Тамбов
Богомолов Владимир Юрьевич,
к.т.н., ООО «ТМБ-Технологии», e-mail: classic-68@mail.ru

Реферат. *Исследовали эффективность концентрирования молочной сыворотки Бондарского сыродельного завода на ультрафильтрационных полимерных мембранах УАМ-150, УПМ-К и УПМ-100, выпускаемых ЗАО НТЦ «Владипор» г. Владимир. Значения концентраций белка в пермеате и в исходной молочной сыворотке определяли по методу формального титрования. Высокие численные значения по коэффициенту задержания и выходному удельному потоку при концентрациях 9-32 кг/м^3 и трансмембранных давлениях от 0,5 до 2 МПа говорят о хорошем качестве и производительности процесса концентрирования молочной сыворотки на ультрафильтрационных мембранах. Показано, что с ростом выходного удельного потока коэффициент задержания уменьшается из-за увеличения скорости проскока белков вместе с объемным потоком через ультрафильтрационные мембраны. Установлено, что с увеличением концентрации белков возрастает вероятность формирования диффузионных пограничных слоев у поверхности активного слоя мембран, что приводит к усилению влияния явления концентрационной поляризации на коэффициент задержания. Установлено, что с повышением концентрации белка возрастает осмотическое давление молочной сыворотки, которое в свою очередь снижает трансмембранное давление. Анализ экспериментальных исследований позволил получить модифицированные выражения и эмпирические коэффициенты для теоретического расчета коэффициента задержания белка в молочной сыворотке и выходного удельного потока на ультрафильтрационных мембранах в зависимости от концентрации белка, величины трансмембранного давления и структуры активного слоя ультрафильтрационной мембраны.*

Ключевые слова: *ультрафильтрационное концентрирование, коэффициент задержания, выходной удельный поток, мембрана.*

THE EFFICIENCY OF THE ULTRAFILTRATION CONCENTRATING OF PROTEIN IN MILK SERUM

Lazarev Sergey,
Full doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Abonosimov Oleg,
Full doctor of Technical Sciences, associate Professor, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru
Kuznetsov Mikhail,
Full doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru
Protasov Dmitry ,
Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education Tambov State Technical University, Tambov

Bogomolov Vladimir ,
Candidate of Technical Sciences, TMB-Technologies LTD, Russia, e-mail: classic-68@mail.ru

Abstract. *The effectiveness of the concentration of milk serum from Bondarsky Cheese Factory was investigated. Ultrafiltration polymeric membranes UAM-150, UPM-K and UPM-100, manufactured by ZAO NTC "Vladipor", Vladimir, were used. Values of protein concentrations in the permeate and in the initial milk serum were determined by the method of formal titration. High numerical values for the retention factor and the output specific flux at concentrations of 9-32 kg / m3 and transmembrane pressures from 0.5 to 2 MPa indicate good quality and productivity of the process of concentrating whey on ultrafiltration membranes. It is shown that the retention factor decreases with an increase in the output specific flux due to an increase in the breakthrough rate of proteins along with the volume flow through the ultrafiltration membranes. It has been established that the probability of formation of diffusion boundary layers at the surface of the active layer of membranes increases with increasing protein concentration, which leads to an increase in the effect of the phenomenon of concentration polarization on the retention factor. It has been established that with an increase in protein concentration, the osmotic pressure of milk serum increases, which in turn reduces the transmembrane pressure. The analysis of experimental studies made it possible to obtain modified expressions and empirical coefficients for the theoretical calculation of the retention of protein in milk serum and the output specific flux on ultrafiltration membranes, depending on the protein concentration, the transmembrane pressure and the structure of the active layer of the ultrafiltration membrane.*

Key words: *ultrafiltration concentrating, the rate of detention, the output flux, membrane.*

Введение. Прогресс в молочной отрасли промышленности в России тесно связан с внедрением безотходных и малоотходных технологий, позволяющих перерабатывать вторичное молочное сырье на ценные белковые продукты. Начало интенсивных исследований в области мембранной обработки сыворотки относится к 80-м годам двадцатого столетия. Результаты одного из первых исследований по электродиализной деминерализации молочной сыворотки приведены в работе [1]. Проведенные исследования показали возможность деминерализации молочной сыворотки от соли хлористого калия, но при этом не затрагиваются вопросы концентрирования и оценки эффективности работы ионообменных мембран в электродиализных установках. Экспериментальные исследования эффективности процесса нанофильтрации молочной сыворотки приведены в работе [2]. Данные исследования проведены в области высокого давления и с одним типом нанофильтрационных мембран вида ОПМН-П. Вопросы оценки ресурсов работоспособности мембран рассмотрены в работе [3], где авторы

проводят теоретический анализ работы микрофильтрационных мембран в процессе разделения растворов. Целью данной работы явились исследования эффективности ультрафильтрационного концентрированиямолочной сыворотки Бондарского сыродельного завода.

Методика исследований. Для исследования, в качестве концентрируемого раствора, использовалась молочная сыворотка, получаемая при производстве сычужных сыров в технологическом процессе ООО «Бондарский сыродельный завод» (Тамбовская область, с. Бондари).

В молочную сыворотку при производстве сыра переходит значительное количество белков молока, именуемых сывороточными белками, которые широко применяется в пищевой промышленности в виде сухих концентратов. Компонентный состав молочной сыворотки на ООО «Бондарский сыродельный завод» представлен в таблице 1.

Таблица 1. - Компонентный состав молочной сыворотки

Компонент	Содержание 100 г сыворотки
1	2
Сухое вещество, г	6,34
Белки, г	0,89
Жиры, г	0,36
Углеводы, г	4,55
Лимонная кислота, г	0,016
Минеральные вещества (зола), г	0,7
Аминокислоты, мг	873
Макроэлементы (суммарно), мг	283
Микроэлементы (суммарно), мкг:	501,15
Витамины (суммарно), мг:	1,728
Вода, г	93,66

Исследования по ультрафильтрационному концентрированию молочной сыворотки осуществлялись на ультрафильтрационных полимерных мембранах вида УАМ-150, УПМ-К и УПМ-100, выпускаемых ЗАО НТЦ «Владипор» г. Владимир для концентрирования белковых растворов. Основные характеристики используемых ультрафильтрационных полупроницаемых мембран приведены в таблице 2 [4, 5].

Таблица 2. - Характеристики ультрафильтрационных мембран

Вид мембраны	Материал активного слоя полимерной мембраны	Производительность по выходному потоку дистиллированной воды при трансмембранном давлении		Коэффициент задержания		
				по миоглобину	по альбумину	по γ-глобулину
		МПа	$м^3/м^2с$			
УПМ-100	полисульфонамид «Сульфон–4Т»	0,1	$2,33 \cdot 10^{-4}$	0,950	0,970	0,980
УПМ-К		0,1	$2,78 \cdot 10^{-5}$			
УАМ-150	ацетат целлюлозы	0,15	$4,11 \cdot 10^{-6}$	0,985	0,970	0,985

Исследования коэффициента задержания и выходного удельного потока проводились на ультрафильтрационной установке, схема которой подробно описана в работах [6,7]. Значе-

ния концентраций белка в пермеате и в исходной молочной сыворотке определяли по методу формального титрования [8].

Результаты и обсуждение. Метод формального титрования основан на нейтрализации карбоксильных групп моноаминодикарбоновых кислот молочных белков раствором гидроксида натрия, количество которого, затраченное на нейтрализацию, пропорционально массовой доле белков в растворе. По полученным значениям концентраций белка в пермеате и исходной молочной сыворотке, рассчитывали коэффициент задержания по формуле:

$$R = 1 - \frac{C_{\text{пер}}}{C_{\text{исх}}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{пер}}$ – концентрация растворенных белков в пермеате, кг/м^3; $C_{\text{исх}}$ – концентрация растворенных белков в исходной молочнойсыворотке, кг/м^3.

Величину выходного удельного потока ультрафильтрационного концентрирования молочной сыворотки определяли по формуле:

$$J = V/(F_{\text{м}}\tau), \quad (2)$$

где V– объем пермеата, м^3; $F_{\text{м}}$ – рабочая площадь мембраны, м^2; τ – время проведения экспериментальных исследований, с.

Важнейшей характеристикой ультрафильтрационного процесса является коэффициент задержания мембраной целевого компонента, в данном случае белка. Экспериментальные зависимости коэффициента задержания белков ультрафильтрационными мембранами УАМ-150, УПМ-К и УПМ-100 от выходного удельного потока (J, м^3\/м^{2}с) при различных концентрациях белка представлены на рисунках 1-3. На коэффициент задержания белков значительное влияние оказывают концентрация раствора, давление и структура активного (рабочего) слоя ультрафильтрационной мембраны. С увеличением концентрации белка возрастает вероятность формирования диффузионных пограничных слоев (концентрационной поляризации) у поверхности активного слоя мембран, что приводит к усилению влияния явления гелеобразования и концентрационной поляризации на коэффициент задержания, то есть с ростом концентрации появляется эффект проскока белка через мембрану.

Из приведенных на рисунках 1-3 зависимостей следует, что ультрафильтрационный процесс обеспечивает достаточную степень концентрирования сывороточных белков, однако, с ростом выходного удельного потока коэффициент задержания уменьшается. Это объясняется увеличением скорости проскока белков вместе с объемным потоком через ультрафильтрационные мембраны, которые имеют высокую порозность и достаточно большой размер пор в активном слое мембраны [4].

Аналитически значения коэффициента задержания по белкам описаны ниже приведенной формулой (3) модифицированной эмпирическими коэффициентами. При получении модифицированной формулы (3) в качестве аналога взято уравнение, приведенное в монографии и статье [9, 10]. Численные значения эмпирических коэффициентов k_1, k_2, k_3,приведенных в формуле (3), находили из аппроксимации экспериментальных кривых по коэффициенту задержания белка ультрафильтрационного разделения молочной сыворотки на мембранах УАМ-150, УПМ-100, УПМ-К (рисунки 2-4).

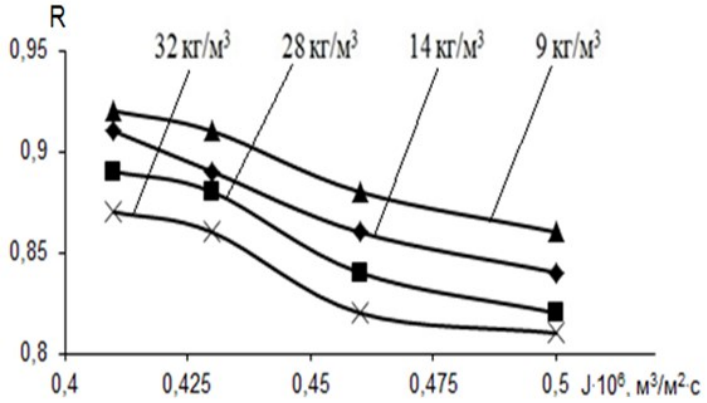


Рисунок 1. - Зависимости коэффициента задержания (*R*) белков от выходного удельного потока (*J*, м^{3}\/м^{2}с) при различных концентрациях белка для ультрафильтрационной мембраны УАМ-150. Точки- эксперимент, линии- расчет

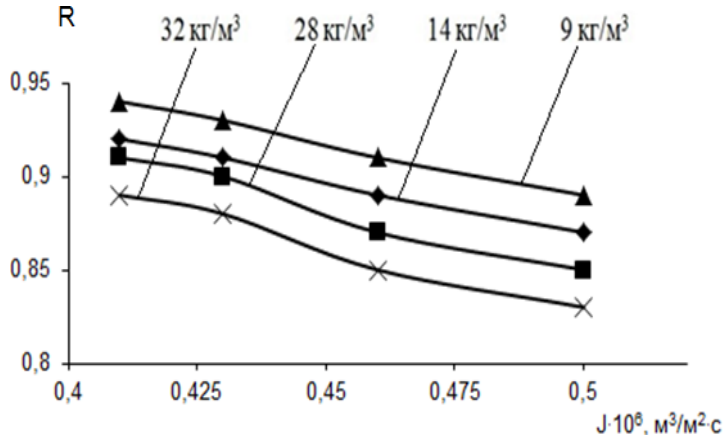


Рисунок 2. - Зависимости коэффициента задержания (*R*) белков от выходного удельного потока (*J*, м^{3}\/м^{2}с) при различных концентрациях белка для ультрафильтрационной мембраныУПМ-100. Точки- эксперимент, линии- расчет

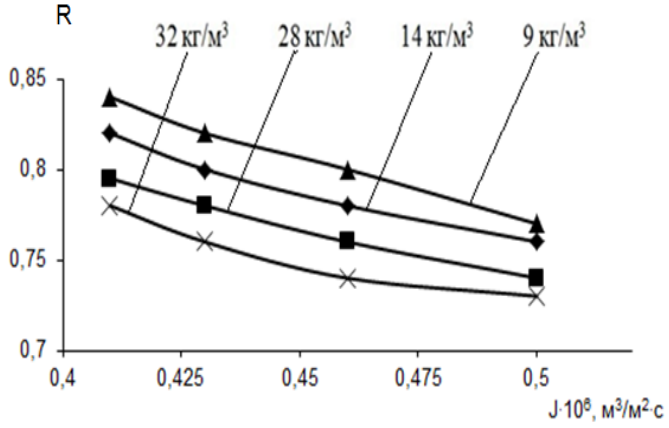


Рисунок 3. - Зависимости коэффициента задержания (*R)* белков от выходного удельного потока (*J*, м^{3}\/м^{2}с) при различных концентрациях белка для ультрафильтрационной мембраны УПМ-К. Точки- эксперимент, линии- расчет

Эмпирические коэффициенты k_1, k_2, k_3 характеризуют физический смысл взаимодействия системы мембрана – молочная сыворотка, k_1 - коррелирует значение равновесного ко-

эффициента распределения, k_2 - коррелирует значение коэффициента диффузии белка в мембране k_3– коррелирует значение выходного удельного потока.

$$R = 1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{k_p k_1} - 1 \right) \left[1 - \exp\left(- \frac{Jk_p k_2}{D} \right) \right] \cdot \exp\left(- Jk_3 \right)}, \quad (3)$$

Коэффициент k_p, приведенный в выражении (3), это равновесный коэффициент распределения, определяемый как отношению величины концентрации белка в мембране к соответствующей концентрации белка в молочной сыворотке, контактирующего с мембраной [11]. Коэффициент диффузии белка в мембране приведенный в формуле (3) экспериментально определить не возможно, поэтому дополнительно определяли коэффициент диффузионной проницаемости [12]. Затем численные значения коэффициента диффузии рассчитывали через отношение коэффициента диффузионной проницаемости белка к равновесному коэффициенту распределения белка между мембраной и молочной сывороткой [12, 13].

Численные значения величин эмпирических коэффициентов для теоретического расчета коэффициента задержания белков в молочной сыворотке приведены в таблице 3.

Таблица 3.- Значения эмпирических коэффициентов для уравнения 3

Мембрана	k_1	k_2, с	k_3, с/м
УАМ-150	0,12770	1,00267	1,00557
УПМ-100	0,12896	1,00751	1,00434
УПМ-К	0,13358	1,00430	1,00812

Отклонение расчетных от экспериментальных данных, показанных на рисунках 2-4 не превышает 10% и величина размерных эмпирических приведенных в выражение (3) в пределах единице, что указывает на сравнительно приемлемое преобразование уравнения (3) для теоретического расчета коэффициента задержания.

Наряду с характеристиками качества концентрирования, характеризуемого коэффициентом задержания белка в ультрафильтрационном процессе, большое значение имеет и его производительность. Показателем производительности служит величина выходного удельного потока растворителя через мембрану, характеризующая объемом пермеата, проходящего через единицу площади мембраны за единицу времени. Результаты экспериментальных исследований выходного удельного потока через ультрафильтрационные мембраны УАМ-150, УПМ-100 и УПМ-К при различных концентрациях белка приведены на рисунках 1-3. С повышением концентрации белков в разделяемом растворе, как показано на зависимостях, представленных на рисунках 1-3, выходной удельный поток снижается. Это явление можно объяснить формированием диффузионных пограничных слоев, которые ведут к повышению влияния явления концентрационной поляризации на процесс ультрафильтрационного концентрирования. Так же следует отметить, что с повышением концентрации возрастает и осмотическое давление молочной сыворотки, которое в свою очередь снижает движущую силу (трансмембранное давление) ультрафильтрационного процесса разделения молочной сыворотки [14, 15].

Расчет численных значений выходного удельного потока для ультрафильтрационного концентрированиямолочной сыворотки производился по ниже приведенному уравнению (4) модифицированному эмпирическими коэффициентами, аналог которого взят из монографии

[15]. Численные значения эмпирических коэффициентов B, n, A находили в результате аппроксимации экспериментальных кривых выходного удельного потока ультрафильтрационного разделения молочной сыворотки на мембранах УАМ-150, УПМ-100, УПМ-К.

$$J = k\left(\Delta P - \left(B_i \ \exp\ \left(n_i\, C_{\text{исх}}\right) \exp\ \left(A_i / T\right)\right)\right), \qquad (4)$$

В уравнение (4) приведенный эмпирические коэффициент B – коррелирует величину осмотического давления, эмпирический коэффициент n - учитывает степень отклонения концентрации, а коэффициент A_i отражает влияния температурной среды в молочной сыворотке на изменение осмотического давления. Коэффициент k, приведенный в уравнении (4), это коэффициент водопроницаемости мембраны, его величина определяется, как отношение паспортной величины производительности по дистиллированной воде к величине паспортного значения трансмембранного давления взятого из каталога [4].

Значения эмпирических коэффициентов для теоретического расчета выходного удельногопотока приведены в таблице 4.

Таблица 4.- Значения эмпирических коэффициентов для уравнения 4

Мембрана	B_i, МПа	n_i, м^3/кг	A_i , 1/К
УАМ-150	0,45806	0,00001	1,03157
УПМ-100	0,45811	0,00001	1,03160
УПМ-К	0,45809	0,00001	1,03161

Погрешность расчетных от экспериментальных данных приведенных на рис. 2-4 не превышает 10 % и величина размерных эмпирических приведенных в выражение (4) лежит в пределах единицы, что указывает на сравнительно приемлемое преобразование уравнения для теоретического расчета выходного удельного потока.

Вывод. В результате проведенных исследований полученные экспериментальные значения коэффициентов задержания по белкам и выходному удельному потоку отмечают, что исследуемые полупроницаемые ультрафильтрационные мембраны УАМ-150, УПМ- 100 и УПМ - К целесообразно применять в процессах ультрафильтрационной переработки вторичного молочного сырья и получения белковых концентратов. Высокие численные значения по коэффициенту задержания и выходному удельному потоку при концентрациях 9-32 кг/м^3 и трансмембранных давлениях от 0,5 до 2 МПа говорят о хорошем качестве и производительности процесса концентрирования молочной сыворотки на ультрафильтрационных мембранах. Анализ экспериментальных исследований позволил получить модифицированные математические выражения и численные значения величин эмпирических коэффициентов для теоретического расчета коэффициента задержания и выходного удельногопотока в зависимости от концентрации белка, величины трансмембранного давления и структуры активного слоя ультрафильтрационной мембраны.

Список литературы

1. Лаврова, З.Д.Электродиализная деминерализация молочной сыворотки. / *З.Д.* Лаврова, Г.А. Бедюх, И.А. Анищенко //Теория и практика сорбционных процессов. -1981. -Вып. 14. -С.119 – 122.

2. Мирончук, *В.Г.* Экспериментальное исследование влияния высокого давления на эффективность процесса нанофильтрации молочной сыворотки при использовании мембран ОПМН-П / В.Г. Мирончук, И.О. Грушевская, Д.Д. Кучерук, Ю.Г. Змиевский //Мембраны и мембранные технологии. -2013. -Т. 3(1). -С.3 –8.

3. Филиппова, Т.С.Теоретическая оценка ресурса микрофильтрационной мембраны / Т.С. Филиппова, А.Н. Филиппов // Мембраны и мембранные технологии. -2013. - Т. 4(4). - С.308 – 313.

4. Мембраны, фильтрующие элементы, мембранные технологии. Каталог.Владимир: ЗАО НТЦ «Владипор», 2007. -22 с.

5.Пористые проницаемые материалы: Справ изд./Под ред. Белова С.В. М.: Металлургия. 1987. -335 с.

6. Богомолов, В.Ю. Разработка и научное обоснование процесса ультрафильтрационного концентрирования и деминерализации подсырной сыворотки: дис. канд. техн. наук. - Тамбов, 2015. - 191с.

7. Лазарев, С.И. Очистка сточных вод производств сульфенамида Ц обратным осмосом / С.И. Лазарев, В.Б. Коробов, М.Б. Клиот, А.В. Пирогов // Изв. вузов. Химия и химическая технология.-1993. -№6. -С. 76-80.

8. ГОСТ 25179-90. Молоко. Методы определения белка.

9. Дерягин, Б.В. Поверхностные силы. / Б.В. Дерягин, Н.В. Чураев, В.М. Муллер. - М.: Наука. 1985. -398 с.

10. Мартынов, Г.А. К теории мембранного разделения растворов. 2. Анализ полученных решений. / Г.А. Мартынов, В.М. Стеров, Н.В. Чураев // Коллоидный журнал. -1980. -Т. 42, - №4. -С. 657 – 664.

11. Лазарев,С.И. Исследование коэффициента распределения ультрафильтрационных мембран в среде подсырной сыворотки. / С.И. Лазарев, С.А. Вязовов, В.Ю. Богомолов //Современные проблемы теории машин: сборник докладов III межд. научн.-практич. конференции. НОЦ"МС" Новокузнецк: Изд. центр "СибГИУ" 2015.- С.16-17.

12. Богомолов, В.Ю. Исследование диффузионной проницаемости ультрафильтрационных мембран в среде подсырной сыворотки./ В.Ю. Богомолов,С.И. Лазарев,С.А. Вязовов //Материалы VII Международной научно-инновационной молодежной конференции.: ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет». - 2015, -С.326-329.

13. Николаев, Н.И. Диффузия в мембранах. М.: Химия, 1980. - 232 с.

14. Пономарев, А.Н., Основные направления мембранных технологий при переработке молочной продукции./ А.Н. Пономарев, А.И. Ключников, К.К. Полянский. Воронеж: Истоки, 2011. - 356 с.

15. Дытнерский Ю.И. Баромембранные процессы. Теория и расчет. М.: Химия, 1986. - 272 с.

References

1. Lavrov, Z. D. Electrodialysis demineralization of whey. / Z. D. Lavrov, G. A. Baduh, I. A., Anishchenko //Theory and practice of sorption processes. -1981. - Vol. 14. - P. 119 – 122.

2. Mironchuk V. G. Experimental study of high pressure influence on the efficiency of the process of nanofiltration of whey when using membranes OPMN-P / V. G. mironchuk, I. O. Hrushevsky, D. D. Kucheruk, Y. G. Zmievskaya //Membranes and membrane technologies. -2013. - Vol. 3 (1). -P. 3 – 8.

3. Filippova, T. S. a Theoretical evaluation of the resource microfiltration membranes / T. S. Filippova, A. N. Filippov // Membranes and membrane technologies. -2013. - Vol. 4 (4). - P. 308 – 313.

4. Membranes, filter elements, membrane technology. Catalogue. Vladimir: ZAO STC "Vladipor", 2007. - 22 p.

5. Porous permeable materials: Reference edition./Edited by Belov S. V. M.: metallurgy. 1987. -335 p.

6. Bogomolov, V. Yu. Development and scientific substantiation of the process of ultrafiltration concentration and demineralization of subcircuit serum: dis. kand. tech. sciences'. Tambov, 2015. - 191c.

7. Lazarev, S. I. wastewater treatment production of sulfenamide C reverse osmosis / S. I. Lazarev, V. B. Korobov, M. B. Kliot, A. V. Pirogov, Izv. higher educational. Chemistry and chemical technology. -1993. -No. 6. - Pp. 76-80.

8. GOST 25179-90. Milk. Methods of protein determination.

9. Deryagin, B. V., Surface forces. / B. V. Deryagin, N. In. Churayev And V. M. Muller. - M.: Science. 1985. -398 p.

10. Martynov, G. A. to the theory of membrane separation of solutions. 2. The analysis of the obtained solutions. G. A. Martynov, V. M. Der, N.In. Churayev // Colloid journal. -1980. -Vol. 42, No. 4. -P. 657 – 664.

11. Lazarev, S. I. Investigation of the distribution coefficient of ultrafiltration membranes in the medium of subcircuit serum. / S. I. Lazarev, S. A. Bazavov, Bogomolov, V. Y. // Modern problems of theory of machines: a collection of reports of III int. scientific.-practical. conferences. REC MS Novokuznetsk: Izd. SibGIU center 2015.- P.16-17.

12. Bogomolov, V. Y. Research of diffusion permeability of ultrafiltration membranes in the environment of cheese whey. / V. Yu. Bogomolov, S. I. Lazarev, S. A. Vyazov // Proceedings of the VII international scientific and innovation youth conference.: FGBOU VPO "Tambov state technical University". -2015, -P. 326-329.

13. Nikolaev, N. And. Diffusion in membranes. M.: Chemistry, 1980. - 232 p.

14. Ponomarev, A. N., The main directions of membrane technologies in the processing of dairy products./ A. N. Ponomarev, A. I. Klyuchnikov, K. K. Polyansky. Voronezh: Origins, 2011. - 356 p.

15. Dynarski Y. I. Baromembrane processes. Theory and calculation. M.: Chemistry, 1986. - 272 p.

УДК 631:628.8

МЕТОД РАСЧЕТА И РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ИНФРАКРАСНОГО ОБОГРЕВАТЕЛЯ МОЛОДНЯКА ЖИВОТНЫХ

Тихомиров Дмитрий Анатольевич,
доктор технических наук, главный научный сотрудник, e-mail: tihda@mail.ru
ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва

Реферат. *Анализ существующих инфракрасных обогревателей молодняка животных выявил несоответствие площади обогрева с размерами зон расположения молодняка, неравномерность энергетической освещенности (150…250 Вт/м^2), снижение их срока действия из-за агрессивности окружающей среды. Изучали влияние ИК-облучения на создание требуемых параметров температуры для выращивания молодняка. Основные результаты получены на базе фундаментальных законов и положений теории теплопередачи, применением физического и компьютерного моделирования. Определили основные уравнения для расчета ИК облученности, являющейся определяющим параметром при проектировании и выборе технических средств для локального обогрева молодняка животных. Установили эмпирические зависимости теплоотдачи телят и поросят от их веса и температуры помещения. Получили аналитическую зависимость конвективного коэффициента теплоотдачи животного в зависимости от его массы, пренебрегая теплопотерями молодняка через пол при его размещении на подстилках с низкой теплопроводностью. Экспериментально установлено, что методика для определения энергетической облученности с учетом скорректированных уравнений теплового баланса повышает точность расчета на 10-15% по сравнению с традиционной методикой. Предложили конструкцию энергоэффективного излучателя пластинчатого типа и систему автоматического управления группой таких облучателей для условий сельскохозяйственного производства. Нагреватель ИК облучателя - электрический элемент сопротивления, встроенный методом вжигания в стальную пластину толщиной 1- 2 мм и размером 200 х 300 мм, характеризуется малой инерционностью, высоким уровнем надежности и долговечностью (12000 ч), экологической безопасностью, температура поверхности ~ 400…450 °С.*

Ключевые слова: *ИК-обогрев, облучатель, электрообогрев, сельское хозяйство, молодняк животных.*

METHOD OF CALCULATION AND DEVELOPMENT OF ENERGY-EFFICIENT INFRARED HEATER FOR YOUNG ANIMALS

Tikhomirov Dmitry,
Full Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, e-mail: tihda@mail.ru

Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Agroengineering Center VIM», Moscow

Abstract. *Analysis of the existing infrared heaters of young animals revealed a discrepancy between the heating area and the size of the young growth zones, the unevenness of the energy illuminance (150 ... 250 W / m2), the reduction in their lifetime due to environmental aggression. The effect of IR irradiation on the creation of the required temperature parameters for the growth of*

young animals was studied. The main results were obtained on the basis of fundamental laws and theories of the theory of heat transfer, the application of physical and computer modeling. The basic equations for calculating IR irradiance, which is the determining parameter in the design and selection of technical means for local heating of young animals, have been determined. Empirical dependences of the heat transfer of calves and pigs on their weight and room temperature were established. An analytical dependence of the convective heat transfer coefficient of an animal as a function of its mass was obtained, neglecting the heat losses of the young animals through the floor when placed on litter with low thermal conductivity. It has been experimentally established that the method for determining the energy irradiation with allowance for the corrected heat balance equations raises the accuracy of calculation by 10-15% in comparison with the traditional method. The design of an energy efficient plate-type radiator and the automatic control system of a group of such irradiators for agricultural production conditions were proposed. The heater of the irradiator is an electrical resistance element built in by a method of burning into a steel plate 1 - 2 mm thick and 200x300 mm in size, characterized by low inertia, high level of reliability and durability (12,000 h), environmental safety, surface temperature ~ 400 ... 450 ° C.

Keywords: *infrared heater, radiator, defroster, agriculture, young animals.*

Введение. Сельское хозяйство является крупным потребителем теплоты [1] в различных процессах теплообеспечения: системы горячего водо- и парообеспечения [2], создание микроклимата в помещениях [3], приготовление кормов, переработка сельхозпродукции, отопление и т.д.

При разработке систем микроклимата применение локального (местного) электрообогрева эффективно в помещениях, где содержится молодняк животных, так как в этом случае для него могут быть созданы необходимые тепловые условия в зависимости от возрастных групп, а также в помещениях периодического действия (молочные, доильные залы, денники, ветеринарные санпропускники, склады, комнаты отдыха персонала и т.п.).

Анализ предлагаемого рынком оборудования показал, что в настоящее время в основном применяются облучатели типа ОРИ, ОВИ, ССПО, ОЭИ-500, ИКУФ, S28 (Fog Agentur & Agrotechnik), в которых источником нагрева служат инфракрасные лампы ИКЗК-220-250 [5] с длиной волны до 2500 нм. Также используются лампы, в том числе и галогенные, зарубежных изготовителей LPLPB (Inter Heat), IR 175 R-PAR (Philips) и др. [6]. Небольшой срок службы ламп (1000 ч), невысокий КПД (60…70%), неравномерный конусообразный тепловой поток в зоне размещения животных, негативное воздействие на животных светового потока, исходящего от таких ламп, являются основными недостатками таких облучателей. К облучателям с длиной воны свыше 2500 нм следует отнести установку ЭИС-0,25-И1 «Ирис», обогреватели на базе ТЭНов, слюдопластовых, углеграфитовых и других электрических нагревателей. Необходимо также отметить керамические нагреватели Elstein (Германия) [7], а также плоские нагреватели (панели, пленки). Нагреватели Elstein серии IOT и IPT обладают высокой надежностью и КПД, равномерным тепловым потоком, но стоимость их весьма велика.

К общим недостаткам облучателей следует отнести несоответствие площади обогрева с размерами зон в станках, логове, клетках, боксах, то есть в специальных местах, где располагается молодняк животных. Это приводит к рассеянию части теплового потока и снижению КПД облучателя. Кроме того, большинство облучателей не обеспечивает равномерную энергетическую освещенность (150…250 Вт/м^2) на заданной поверхности, что приводит к пере-

греву или недогреву животных. Агрессивная окружающая среда животноводческих помещений уменьшает срок службы локальных обогревателей. Применение газовых обогревателей вынуждает значительно увеличить затраты на приточно-вытяжную вентиляцию для удаления продуктов горения топлива.

Целью исследований является разработка энергоэффективных инфракрасных облучателей локального действия, а также метода их расчета, обеспечивающих снижение энергозатрат и повышение продуктивности животных.

Результаты и их обсуждение. По данным [8] одним из основных параметров, по которому следует производить выбор ИК-облучателя следует считать энергетическую освещенность или плотность теплового потока E (Вт/м^2). Значения этой величины можно определить из системы уравнений, описывающих теплообмен животного с окружающей средой.

$$Q_{яв}=Eл_{пов}=Q_к+Q_л+Q_т, \quad (1)$$

$$Q_к=\alpha_к F_ж(t_к - t_п), \quad (2)$$

$$Q_т = \frac{1}{R}(t_к - t_{пл}), \quad (3)$$

$$Q_л = C_0 F_ж \varepsilon_{пр} \left[\left(\frac{273 + t_к}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + t_п}{100} \right)^4 \right]^4 \varphi r_и, \quad (4)$$

где $Q_{яв}$ – теплоотдача организма животного (явная), Вт; $\alpha_к$ – коэффициент теплоотдачи конвекцией поверхностью животного, Вт/м^2 °С; $Q_к$, $Q_л$, $Q_т$ – теплоотдача животного конвекцией, теплопроводностью и излучением, Вт; $л_{пов}$ – коэффициент поглощения поверхностью животного ИК излучения; $F_ж$ – площадь поверхности животного, м^2; $t_к$ – температура животного, °С; $t_п$ – температура помещения, °С; $t_{пл}$ – температура пола, °С; C_0 = 5,76 Вт/(м^2 К^4) – коэффициент излучения абсолютно черного тела; $\varepsilon_{пр}$ – приведенная степень черноты кожи животного $\varepsilon_ж$ и ограждающих конструкций $\varepsilon_{кон}$; ϕ – коэффициент взаимной облученности физической модели и ограждений; $r_и$ – коэффициент, учитывающий долю излучающей поверхности тела для всех видов животных.

По данным [8] площадь поверхности животного $F_ж$ пропорциональна его массе $m_ж$ и принимает значение: для телят: $F_ж$=0,09$m_ж^{2/3}$; для поросят: $F_ж$=0,092$m_ж^{2/3}$.

Уравнения 2 и 4 учитывают зависимость конвективной и лучистой составляющей теплообмена животного с окружающей средой от массы (возраста) животного.

В результате проведения анализа данных по выделениям животными явной теплоты по нормам [9] и в условиях климатической камеры [10], а также их обработки и систематизации, нами получены следующие зависимости:

– для телят с массой от 30 до 80 кг:

$$Q_{яв}(m, t_п)= –56,9+5,5m+5,3t_п–0,087\ mt_п–0,017m^2–0,23t_п^2, \quad (5)$$

– для поросят с массой от 7 до 40 кг:

$$Q_{яв}(m, t_п)= 38,5 +5,3m–1,1t_п–0,072\ mt_п–0,046m^2–0,011t_п^2, \quad (6)$$

где m – масса животного, кг; $t_п$ – температура помещения от 0 до 20 °С.

Для расчета конвективной составляющей теплообмена животного с окружающей средой нами проанализированы, обобщены и систематизированы результаты научных исследований, устанавливающих связь между размером, возрастом и массой животных на примере телят и поросят.

Применив известные критериальные уравнения, нами была получена аналитическая зависимость конвективного коэффициента теплоотдачи $a_к$ животного от его массы:

$$\alpha_к = 4,11\left(\frac{t_к - t_п}{k_ж m + q}\right)^{0,25}, \quad (7)$$

где $t_к$ – температура кожи животного, °С; $t_п$ – температура помещения, °С; $k_ж$, q – коэффициенты, характеризующие вид животного.

Коэффициенты, характеризующие вид животного, имеют значения для телят: $k_ж$= 0,2; q=16,3; для поросят: $k_ж$= 0,35; q=12,0.

При ИК обогреве молодняка во избежание их переохлаждения со стороны пола животных следует размещать на подстилке, полах, матах и ковриках, выполненных из материалов, обладающих низкой теплопроводностью даже в условиях повышенной влажности. В этом случае теплопотери через пол $Q_т$ могут не учитываться при составлении уравнения теплового баланса. Полученные зависимости позволяют определить тепловой поток животных с учетом их массы (рисунок 1).

Для определения радиационного теплового потока от плоского нагревателя на заданную поверхность с использованием теоретических положений теории теплообмена излучением нами разработан алгоритм и программа автоматизированного расчета для ПК [11].

Совместно с МЭФ «Оникс» (г. Ярославль) нами обоснованы параметры, разработано техническое задание, изготовлен ИК облучатель, а также система автоматического управления группой таких облучателей для условий сельскохозяйственного производства [12].

Нагревателем ИК облучателя служит электрический элемент сопротивления, встроенный методом вжигания в стальную пластину толщиной 1...2 мм и размером 200х300 мм. Нагреватель характеризуется малой инерционностью, высоким уровнем надежности и долговечностью (12000 ч), экологической безопасностью. Температура поверхности нагревателя в среднем составляет 400…450 °С [13].

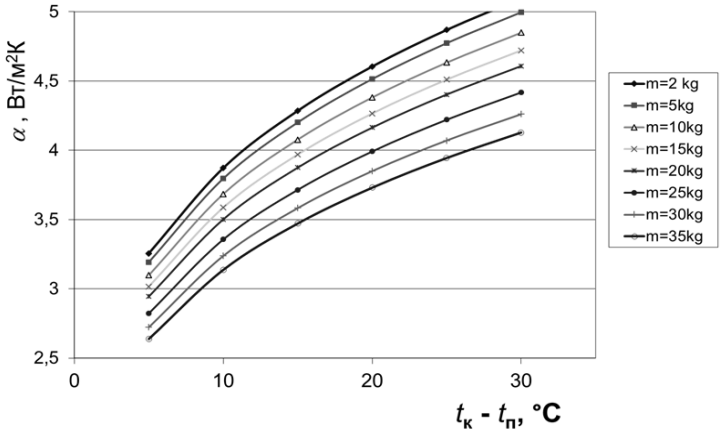


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента теплоотдачи $\alpha_к$ от массы животного

Разработанный ИК облучатель молодняка животных (рисунок 2) содержит металлический корпус 1, электрический нагреватель 2, отражатель 3, защитную решетку 4. Металлический корпус 1 прямоугольной формы с внутренней стороны покрыт антикоррозионной, огнестойкой, теплоизоляционной термокраской типа «Изоллат-05» и изолирован помимо экрана слоем термостойкой теплоизоляции от нагревателя. Обогреватель отличается равно-

мерным тепловым потоком на заданной площади, устойчивостью к брызгам, большим сроком службы [14].

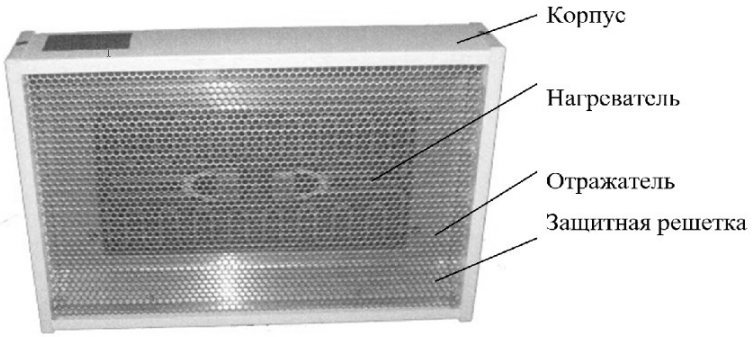


Рисунок 2 – ИК-облучатель с пластинчатым электронагревателем производства МЭФ «Оникс»

Разработаны методика, алгоритм и программа расчета [15] лучистых электрообогревателей пластинчатого типа, обоснован их типоразмерный ряд, разработана станция управления группой облучателей с ПИД-регулированием температуры в зоне нахождения молодняка животных. Встроенный в систему управления микроконтроллер позволяет программным путем в течение заданного периода времени (дни, недели) поддерживать требуемый тепловой поток в зоне размещения животных.

Для содержания телят профилакторного периода на базе разработанного ИК облучателя создана энергосберегающая установка с регулированием теплового потока в зависимости от положения теленка [16]

Основные результаты получены на базе фундаментальных законов и положений теории теплопередачи, применением физического и компьютерного моделирования. Использованы методы анализа и синтеза существующих знаний, методов расчета и промышленных установок в области ИК обогрева. Новизна разработки защищена патентами на изобретения [17]. Полученные результаты доложены и обсуждены на международных научных конференциях, прошли практическую апробацию в лабораторных и производственных условиях. Образцы инфракрасных облучателей применялись для обогрева молодняка животных (телята, поросята) в ряде хозяйств Республики Удмуртия. Получены в целом положительные акты и заключения о работе облучателей.

Заключение. Таким образом, в результате изучения, обобщения, систематизации и анализа данных, устанавливающих связь между размером, возрастом и массой животных (телят, поросят), а также норм выделения животными теплоты нами получены аналитические зависимости, устанавливающая связь между: конвективной составляющей теплообмена животного с окружающей средой и массой (возрастом) животного, явной теплоотдачей организма животного в окружающую среду и массой животного и температурой помещения. Разработан алгоритм и программа расчета определения теплового потока от плоского нагревателя на заданную прямоугольную поверхность. Изготовленные образцы прошли лабораторные, хозяйственные и государственные испытания и подтвердили высокие эксплуатационные параметры.

Список литературы

1. Тихомиров, Д.А. Энергосберегающие электрические средства и системы теплообеспечения основных технологических процессов в животноводстве / Д.А. Тихомиров // Вестник НГИЭИ.– № 8 (63), 2016.- С.129-138.

2. Тихомиров, Д.А. Энергосберегающая система горячего паро-и водообеспечения животноводческих объектов / Д.А. Тихомиров // Техника и оборудование для села. – 2013№ – 10.– С.14-15.

3. Дудин, С.Н. Устройства аккумуляционного типа для нагрева воздуха / С.Н. Дудин Д.А. Тихомиров // Вестник ВИЭСХ.–2012.–№3.– С. 73-74.

4. Васильев А.Н. Разработать методы и модели построения систем электроснабжения сельских потребителей. Выполнить научное обоснование параметров и режимов работы новых системообразующих технических средств теплоэнергообеспечения сельскохозяйственных объектов /А.Н. Васильев, Е.В. Халин, Д.А. Тихомиров и др. / Отчет о НИР/НИОКР.- Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. –2017. – 104 с.

5. Растимешин С.А. Локальный обогрев молодняка животных / С.А. Растимешин. − М.: Агропромиздат, 1991. – 140 с.

6. Мишуров, Н.П. Энергосберегающее оборудование для обеспечения микроклимата в животноводческих помещениях / Н.П. Мишуров, Т.Н. Кузьмина. –М.: «ФГНУ Росинформагротех», 2004. – 94 с.

7. Каталог фирмы Elstein-Werk M. Steinmetz GmbH & Co. KG [Электронный ресурс]: http://www.elstein-werk.ru.

8. Электрические установки инфракрасного излучения в животноводстве / Д.Н. Быстрицкий, Н.Ф. Кожевникова, А. К. Лямцов, В. П. Муругов. − М.: Энергоиздат, 1981. − 152 с.

9. РД-АПК 1.10.01.02-10. Методические рекомендации по технологическому проектированию ферм и комплексов крупного рогатого скота. – М.: Минсельхоз РФ. – 2011. – 108 с.

10. Поляков И. В. Зоогигиеническое обоснование нормативных показателей тепло-, влаго- и газовыделений у молодняка крупного рогатого скота: автореф. дис. … канд. биол. наук: 16.00.08 / Поляков Игорь Витальевич. – М. 1993.– 26 с.

11. Тихомиров, Д.А. Программный проект расчета теплоэнергетических параметров объектов животноводства / Д.А. Тихомиров, А.Н. Васильев // Международный научно-исследовательский журнал. Екатеринбург. - 2016.- №8 (50).-Ч.3. С.95-98.

12. Кузьмичев, А.В. Теплоэнергетические показатели ИК облучателей для молодняка животных / Кузьмичев А.В., Лямцов А.К., Тихомиров Д.А.// Светотехника 2015. − №3.− С. 57–58.

13. Тихомиров Д.А., Кузьмичев А.В. Инфракрасные обогреватели для молодняка / Д.А. Тихомиров // Сельский механизатор.– 2012.–№3. –С.25.

14. Тихомиров, Д.А. Энергоэффективные электрические средства и системы теплообеспечения технологических процессов в животноводстве Д.А. Тихомиров // /Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2016. –№4 (24). –С.15-23.

15. Тихомиров, Д.А. Программный проект для расчета потребной мощности теплоэнергетического оборудования и годового расхода тепловой энергии на объектах животноводства / Д.А. Тихомиров // Вестник ВИЭСХ. –2013.– Вып. 1(10).– С. 47–50.

16. Тихомиров, Д.А. Энергосберегающая установка для содержания и обогрева телят / Д.А Тихомиров, А.В. Кузьмичев, Н.Г. Ламонов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. –2015. – №12. –С.19-21.

17. Патент. № 159022 РФ. Лучистый электрический обогреватель молодняка животных / А.В. Кузьмичев, С.С. Трунов, Д.А. Тихомиров и др. //Заявка № 2015119390. Опубл. 27.01.2016. Бюл. №3.

References

1. Tihomirov, D.A. Energosberegayushchie elektricheskie sredstva i sistemy teploobespecheniya osnovnyh tekhnologicheskih processov v zhivotnovodstve / D.A. Tihomirov // Vestnik NGIEI.– № 8 (63), 2016.- S.129-138.

2. Tihomirov, D.A. Energosberegayushchaya sistema goryachego paro-i vodoobespecheniya zhi-votnovodcheskih ob"ektov / D.A. Tihomirov // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. – 2013№ – 10.– S.14-15.

3. Dudin, S.N. Ustrojstva akkumulyacionnogo tipa dlya nagreva vozduha / S.N. Dudin D.A. Tihomirov // Vestnik VIESH.–2012.–№3.– S. 73-74.

4. Vasil'ev A.N. Razrabotat' metody i modeli postroeniya sistem elektrosnabzheniya sel'skih potrebitelej. Vypolnit' nauchnoe obosnovanie parametrov i rezhimov raboty novyh siste-moobrazuyushchih tekhnicheskih sredstv teploenergoobespecheniya sel'skohozyajstven-nyh ob"ektov /A.N. Vasil'ev, E.V. Halin, D.A. Tihomirov i dr. / Otchet o NIR/NIOKR.- Federal'nyj nauchnyj agroinzhenernyj centr VIM. –2017. – 104 s.

5. Rastimeshin S.A. Lokal'nyj obogrev molodnyaka zhivotnyh / S.A. Rastimeshin. − M.: Agropromizdat, 1991. – 140 s.

6. Mishurov, N.P. Energosberegayushchee oborudovanie dlya obespecheniya mikroklimata v zhivotnovodcheskih pomeshcheniyah / N.P. Mishurov, T.N. Kuz'mina. –M.: «FGNU Rosinforma-grotekh», 2004. – 94 s.

7. Katalog firmy Elstein-Werk M. Steinmetz GmbH & Co. KG [Elektronnyj resurs]: http://www.elstein-werk.ru.

8. Elektricheskie ustanovki infrakrasnoro izlucheniya v zhivotnovodstve / D.N. Bystrickij, N.F. Kozhevnikova, A. K. Lyamcov, V. P. Mypygov. − M.: Energoizdat, 1981. − 152 s.

9. RD-APK 1.10.01.02-10. Metodicheskie rekomendacii po tekhnologicheskomu proektiro-vaniyu ferm i kompleksov krupnogo rogatogo skota. – M.: Minsel'hoz RF. – 2011. ¬ 108 s.

10. Polyakov I. V. Zoogigienicheskoe obosnovanie normativnyh pokazatelej teplo-, vlago- i gazovydelenij u molodnyaka krupnogo rogatogo skota: avtoref. dis. … kand. biol. nauk: 16.00.08 / Polyakov Igor' Vital'evich. – M. 1993. – 26 s.

11. Tihomirov, D.A. Programmnyj proekt rascheta teploenergeticheskih parametrov ob"ektov zhivotnovodstva / D.A. Tihomirov, A.N. Vasil'ev // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. Ekaterinburg. -2016.- №8 (50).-Ch.3. S.95-98.

12. Kuz'michev, A.V. Teploenergeticheskie pokazateli IK obluchatelej dlya molodnyaka zhivotnyh / Kuz'michev A.V., Lyamcov A.K., Tihomirov D.A.// Svetotekhnika 2015.− №3.− S. 57–58.

13. Tihomirov, D.A., Kuz'michev A.V. Infrakrasnye obogrevateli dlya molodnyaka / D.A. Tihomirov // Sel'skij mekhanizator.– 2012.–№3. –S.25.

14. Tihomirov, D.A. Energoeffektivnye elektricheskie sredstva i sistemy teploobes-pecheniya tekhnologicheskih processov v zhivotnovodstve D.A. Tihomirov // /Vestnik Vserossijskogo nauch-no-issledovatel'skogo instituta mekhanizacii zhivotnovodstva. 2016. –№4 (24). –S.15-23.

15. Tihomirov, D.A. Programmnyj proekt dlya rascheta potrebnoj moshchnosti teploenergeticheskogo oborudovaniya i godovogo raskhoda teplovoj energii na ob"ektah zhivotnovodstva / D.A. Tihomirov // Vestnik VIESH. –2013. – Vyp. 1(10). – S. 47–50.

16. Tihomirov, D.A. Energosberegayushchaya ustanovka dlya soderzhaniya i obogreva telyat / D.A Tihomirov, A.V. Kuz'michev, N.G. Lamonov // Mekhanizaciya i elektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. –2015. –№12. –S.19-21.

17. Patent. № 159022 RF. Luchistyj elektricheskij obogrevatel' molodnyaka zhivotnyh / A.V. Kuz'michev, S.S. Trunov, D.A. Tihomirov i dr. // Zayavka № 2015119390. Opubl. 27.01.2016. Byul. №3.

УДК 631:628.8

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСУШЕНИЕ ВОЗДУХА В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Трунов Станислав Семенович,
кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: alla-rika@yandex.ru
Тихомиров Дмитрий Анатольевич,
доктор технических наук, главный научный сотрудник, e-mail: tihda@mail.ru

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

Реферат. *Известно, что высокая влажность воздуха в животноводческих помещениях отрицательно сказывается на санитарном состоянии воздушной среды, здоровье животных, их продуктивности и работе технологического оборудования. Исследовали современные традиционные способы осушения воздуха в помещениях сельскохозяйственного назначения, оценив их преимущества и недостатки. Определили на примере коровника на 200 коров для температур наружного воздуха от - 26 ^{0}С до +9 ^{0}С, что в помещении можно обеспечить условия постоянства температуры и влажности широко применяемыми отопительно - вентиляционными системами за счёт поэтапного увеличения воздухообмена. Анализ влияния объёма вентиляционного воздуха на относительную влажность в помещении показал, что при достижении равных значений влагосодержания наружного воздуха и воздуха внутри помещения количество вентиляционного воздуха стремится к бесконечности. Рассмотрели вопрос осушения воздуха помещений сельскохозяйственного назначения с применением термоэлектрических модулей. Предложили способ осушения воздуха в помещении с использованием охлаждения осушаемого воздуха с последующим его нагревом с помощью термоэлектрического теплового насоса на базе элементов Пельтье. Разработали и представили технологическую схему термоэлектрической установки по осушению воздуха, характеризующуюся высокими теплоэнергетическими показателями, надежностью, малыми потерями тепловой энергии, отсутствием подвижных частей. Определили алгоритм её работы. Для уменьшения потерь тепловой энергии термоэлектрические модули и теплообменники холодного и горячего спаев предложили помещать в теплоизолированный корпус снаружи обслуживаемого помещения.*

Ключевые слова: *относительная влажность, влагосодержание, объём воздуха, осушение, термоэлектрический элемент.*

THERMOELECTRIC DEHUMIDIFICATION IN AGRICULTURAL

Trunov Stanislav,
Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, e-mail: alla-rika@yandex.ru
Tikhomirov Dmitry,
Full Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, e-mail: tihda@mail.ru

Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Agroengineering Center VIM»

Abstract. *It is known that high air humidity in livestock buildings adversely affects the sanitary condition of the air, animal health, their productivity and operation of process equipment. Modern traditional methods of dehumidifying air in agricultural premises, assessing their advantages and disadvantages, were investigated. It was determined on an example of a barn for 200 cows for external air temperatures from - 26 0C to +9 0C, that in a room it is possible to ensure conditions of constant temperature and humidity by widely used heating and ventilation systems due to a stepwise increase in air exchange. An analysis of the effect of the volume of ventilation air on the relative humidity in premises showed that when the moisture content of the outside air and air inside the room are equal, the amount of ventilation air tends to infinity. The issue of dehumidifying air in agricultural premises using thermoelectric modules was considered. A method for dehumidifying air in premises using the cooling of the dried air and then heating it with a thermoelectric heat pump based on Peltier elements was proposed. The technological scheme of the thermoelectric plant for air drying, characterized by high heat-energy indicators, reliability, low losses of thermal energy, lack of moving parts was developed and presented. The algorithm of its work was determined. To reduce heat losses, thermoelectric modules and heat exchangers for cold and hot junctions were proposed to be placed in a heat-insulated enclosure outside the service room.*

Keywords: *relative humidity, moisture content, air volume, dehumidification, thermoelectric element.*

Введение. В последнее время, в научной литературе все чаще стала обсуждаться тема применения термоэлектричества. Так, например, на форуме «Термоэлектричество, как энергия будущего» отмечалось, что у термоэлектричества есть широкий круг источников теплоты, недоступных другим видам преобразователей. Они находятся в земной поверхности, толще Мирового океана, в различных видах промышленных производств, где могут возникать даже незначительные градиенты температур, которые невозможно использовать в других типах преобразователей энергии [1].

На рисунке 1 представлена принципиальная схема термоэлемента. Если через такой термоэлемент пропустить постоянный ток в указанном направлении, то верхний спай будет охлаждаться, а нижний нагреваться. Здесь две ветви, образованные полупроводниками n- p-типов, соединены последовательно с помощью металлических проводников (заштрихованы) через них проходит ток I. Вследствие разности температур ($\Delta T = T_h - T_c$) возникает термоэлектродвижущая сила, под действием которой в цепи появляется термоэлектрический ток, выделяющий в нагрузке полезную мощность $I^2 R$. При этом от источника тепла, находящегося при температуре T_h отбирается тепловая энергия Q_h, а на тепловом радиаторе – охладите-

ле с температурой T_c, выделяется за счёт эффекта Пельтье тепловая энергия Q_c. Для эффективной работы термоэлемента эту тепловую энергию Q_c. необходимо активно отводить.

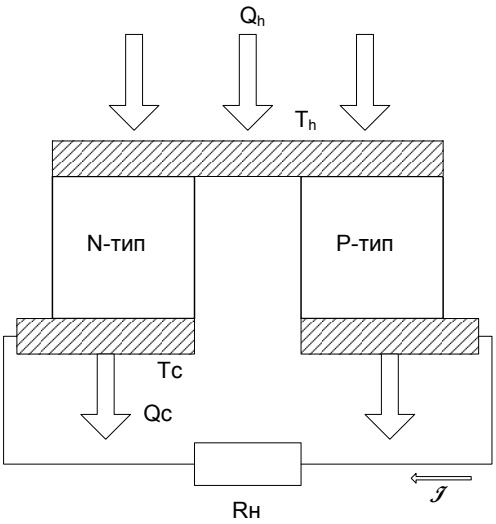


Рисунок 1 - Спай термоэлектрического преобразователя n-и p-типа

Для увеличения отдаваемой электрической мощности применяется метод каскадирования термоэлементов. Каскадная термоэлектрическая батарея представляет собой последовательное соединение термоэлементов (каскадов), при котором горячий спай предыдущего каскада стыкуется (и охлаждается) с холодным спаем последующего каскада при этом они образуют термобатарею или термоэлектрический модуль, работающий в режиме электрогенератора или источника холода

Современная технология производства термоэлектрических модулей широко развивается. В результате термоэлектричество с к.п.д. термоэлектрических модулей 20 % и более становится серьёзным конкурентом других способов получения электроэнергии из возобновляемой или сбросной энергии. С появлением более эффективных полупроводниковых материалов многие отрасли экономики изменятся: исчезнут фреоновые холодильники, повысится эффективность двигателя внутреннего сгорания и появится универсальное устройство генерации энергии [3]. Так, например, за последние годы компания «Криотерм» разработала и внедрила в серийное производство термоэлектрические модули для различных областей народного хозяйства. Реализован широкий спектр термоэлектрических холодильных установок различной холодильной мощности, начиная от нескольких десятков до 20 кВт.

Актуальность проблемы. На современных животноводческих фермах в результате внедрения промышленной технологии производства продукции значительно усложнилось взаимодействие организма животных с внешней окружающей средой.

При большой концентрации животных с уплотненным размещением решающая роль в повышении резистентности организма, увеличении продуктивности и улучшении воспроизводительных функций животных отводится созданию оптимального микроклимата. Оптимальный микроклимат - это комплекс действующих факторов внешней среды, способствующий наилучшему проявлению физиологических функций организма животных и получению от них максимальной продуктивности при минимальных затратах кормов и средств [4].

На организм животных главное воздействие оказывает температурно-влажностный режим воздушной среды помещения. Температура воздушной среды в помещении оказывает

влияние на организм животных в совокупности с другими факторами - влажностью, скоростью движения воздуха [5].

Влажность воздуха в сочетании с температурным фактором сильно воздействует на санитарное состояние воздушной среды, здоровье животных и их продуктивность.

Результаты и обсуждение. Как правило, для создания и поддержания оптимальных температурно-влажностных параметров воздуха используется общеобменная система вентиляции помещений (естественная или принудительная) в зависимости от климатического района с подогревом приточного воздуха или без подогрева [6]. При этом технологический процесс удаления избытков влаги заключается в том, что приточный воздух с меньшим влагосодержанием, смешивается с внутренним с большим влагосодержанием. Полученная воздушная смесь должна иметь оптимальное влагосодержание (относительную влажность 60-75%) [7].

Расчётное значение количества приточного воздуха, поддерживающее указанное влагосодержание определяется по выражению

$$L = \frac{G}{(d_{вн} - d_{н})}, \qquad (1)$$

где - G количество влаги, удаляемое вентиляционным воздухом, кг/ч; $d_{вн}$, $d_{н}$ - влагосодержание внутреннего и наружного воздуха, г/кг.

На примере коровника на 200 коров с помощью уравнения (1) исследован характер изменения количества приточного воздуха $L_{пр}$ при следующих условиях: $t_в$ - температура внутреннего воздуха, °С и $\varphi_в$ - относительная влажность в помещении, % не меняются в диапазоне температур наружного воздуха от $t_{н\,расч}$ = - 26 ^{0}С до $t_{н1}$= +9 ^{0}С.

Из уравнения баланса влажности и графика на рисунке 2 видно, что воздухообмен $L_{пр}$ по мере роста температуры наружного воздуха увеличивается до бесконечности, если достигается равенство влагосодержания внутреннего и наружного воздуха.

Указанные параметры воздуха на постоянном уровне можно соблюдать только в определенном диапазоне температур наружного воздуха от $t_{н\,расч}$ =-26 ^{0}С до $t_{н1}$=+9 ^{0}С, при этом необходимо в несколько раз увеличить воздухообмен (таблица 1).

Таблица 1 - Расход воздуха в зависимости от температуры наружного воздуха

$t_н$, ^{0}С	-26	-20	-15	-10	-5	0	+5	+9
$d_н$, г/кг	0,3	0,4	1,3	1,8	2,5	3,5	4,7	6
$t_{вн}$, ^{0}С	+8	+8	+8	+8	+8	+8	+8	+8
$d_{вн}$, г/кг	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
L, кг/ч	14168	14550	17455	19643	23810	34162	71431	

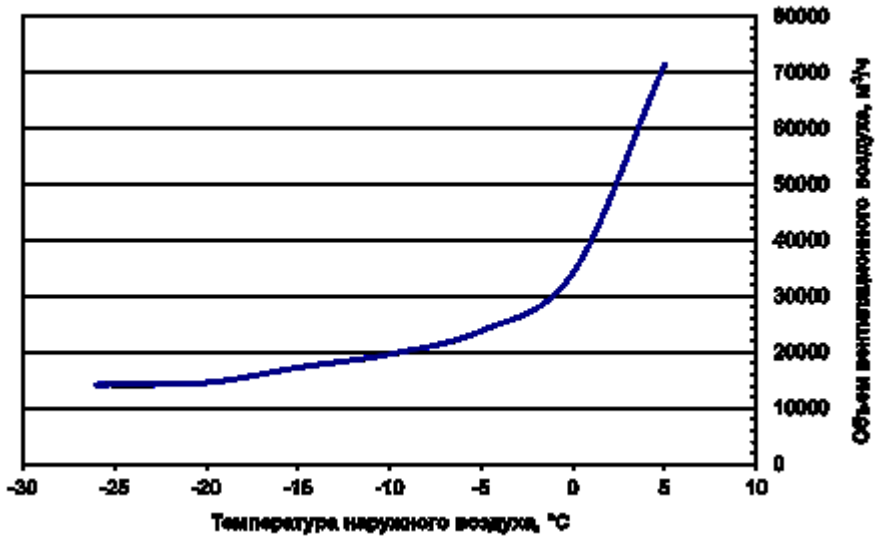


Рисунок 2 - Зависимость воздухообмена от температуры наружного воздуха

Как видно из таблицы 1 и графика, изображенного на рисунке 2, при температуре наружного воздуха $t_{н\ расч} = t_{н1}$ потребуется величина воздухообмена, стремящаяся к бесконечности. Следовательно, возможности данного способа поддержания параметров воздуха в помещении в требуемых пределах ограничены, а именно в диапазоне изменения температур наружного воздуха от $t_{н\ расч}$ до $t_н = +9\ ^0C$ разность влагосодержания внутреннего и наружного воздуха всегда положительна $\Delta d > 0$. Это означает, что во всём рассматриваемом диапазоне наружных температур в помещении практически можно обеспечить условия постоянства температуры и влажности широко применяемыми отопительно - вентиляционными системами за счёт поэтапного увеличения воздухообмена.

При температуре наружного воздуха $t_{н1}$ равной $+9\ ^0C$ и выше величина $\Delta d < 0$ (отрицательна) и обычными системами отопления и вентиляции условия постоянства температуры и влажности в помещении, обеспечить невозможно.

Способ решения вопроса. Решить проблему борьбы с повышенной влажностью помогают осушители воздуха. Осушители воздуха бывают четырёх основных типов: адсорбционные, компрессорные, роторные и осушители на термоэлементах Пельтье [8].

Адсорбционные осушители содержат в себе специальное вещество - адсорбент, которое способно поглощать влагу из воздуха. Приборы не имеют подвижных частей, не потребляют электроэнергии, абсолютно бесшумны и безопасны в работе. Однако количество поглощаемой влаги невелико, а сам адсорбент имеет свойство насыщаться влагой, в результате чего его способность поглощать влагу понижается. Тем не менее, подобные приборы широко применяются для набольших помещений [8]

В компрессорных (испарительных) осушителях влажный воздух из помещения направляется на сильно охлажденную поверхность - испаритель (охлажденный радиатор), на котором влага, содержащаяся в воздухе, конденсируется, и впоследствии стекает в специальную ёмкость. Далее воздух проходит через конденсатор - нагретый радиатор и поступает обратно в помещение. Это нужно для того, чтобы прибор не охлаждал помещение. Такое оборудование обычно обладает высокой эффективностью осушения. Однако оно имеет достаточно большие габариты и энергопотребление, а также обладает подвижными механическими частями и значительным шумом [8].

Роторные адсорбционные приборы являются достаточно новым классом осушителей, объединяющие принципы работы двух предыдущих. Прибор имеет медленно вращающийся ротор, заполненный адсорбентом. Через ротор продувается два потока воздуха. Влажный воздух из помещения проходит через большую часть поверхности ротора (85%) и отдает влагу адсорбенту. В обратном направлении через меньшую часть поверхности ротора продувается подогретый воздух регенерации, который отбирает влагу у адсорбента. Данные приборы работают несколько тише и потребляют меньше энергии, чем компрессорные. [8].

Осушители, основанные на технологии Пельтье аналогичные предыдущим, но вместо испарителя в них присутствует термоэлектрический преобразователь. Термоэлектрические преобразователи имеют ряд преимуществ перед компрессионными: не боятся тряски и вибраций, в нем отсутствуют подвижные детали, работают на постоянном токе, что обеспечивает ему высокую экономичность.

В зависимости от направления тока одна из сторон элемента Пельтье охлаждается, а другая нагревается. Таким образом, электрический ток переносит тепло с одной стороны элемента Пельтье на противоположную и создаёт разность температур.

Для эффективного использования тепловой энергии, выделяющейся на термоэлектрическом модуле, применяются две основных схемы, а именно: схема «воздух - воздух», когда тепловые потоки с горячих и холодных сторон термоэлектрических модулей отводятся непосредственно на воздушные радиаторы; «воздух - вода - вода - воздух», когда для отвода тепла с модулей на радиатор используется жидкий теплоноситель (например, вода). Могут быть также использованы промежуточные варианты указанных схем, когда жидкий теплоноситель используется только для одного из контуров [9].

Для обеспечения эффективной и надёжной эксплуатации термоэлектрического устройства необходимо обеспечить отвод тепла от горячей стороны термоэлектрического модуля в более холодную окружающую среду. Существует несколько способов сделать это.

В зависимости от уровня отдаваемой мощности $Q_{гор}$ возможны следующие варианты:

$Q_{гор} < 15$ Вт - монтаж термоэлектрического модуля на металлический корпус; 15 Вт $< Q_{гор} < 35$ Вт - локальный радиатор; 35 Вт $< Q_{гор} < 80$ Вт - выносной радиатор-вентилятор; 80 Вт $< Q_{гор} < 800$ Вт - медный выносной радиатор + вентилятор; $Q_{гор} > 800$ Вт - водяное охлаждение [10, 11].

Учитывая специфические условия сельскохозяйственных объектов, проявляющиеся в наличии повышенной влажности, агрессивной газовой среды (наличие углекислого газа, сероводорода, аммиака и т.д.) для создания термоэлектрического осушителя воздуха принимаем схему «воздух- вода - вода – воздух».

По этой схеме теплообмен между термоэлектрическим модулем, как с горячей, так и с холодной стороны и осушаемым воздухом осуществляется с помощью теплообменников, установленных в помещении. Сам термоэлектрический блок вынесен из помещения, где происходит осушение воздуха, а передача тепловой энергии теплообменникам осуществляется с помощью промежуточного теплоносителя (вода), циркулирующего по трубопроводам с помощью циркуляционного насоса.

Схема термоэлектрического осушителя воздуха представлена на рисунке 3. Термоэлектрическая установка осушения воздуха помещений сельскохозяйственного назначения содержит корпус 18 с теплоизоляцией 15 и с расположенными в нем термоэлектрическими модулями 1, помещенными между теплообменниками холодного спая 2 и горячего спая 6;

пластинчатый теплообменник холодного контура 3, установленный в корпусе-трубе осушителя воздуха 17. Циркуляционный насос холодного контура 4, используется для циркуляции жидкости в холодном контуре установки.

Электровентилятор 5 расположен в корпусе-трубе и предназначен для подачи осушаемого воздуха в установку. Осушитель также включает в себя теплообменник горячего спая 6, пластинчатый теплообменник горячего контура 7, установленный в корпусе-трубе осушителя, расширительный бак 8, установленный в горячем контуре и использующийся для компенсации жидкости при ее нагреве, циркуляционный насос горячего контура 9, источник питания термоэлектрических модулей 10.

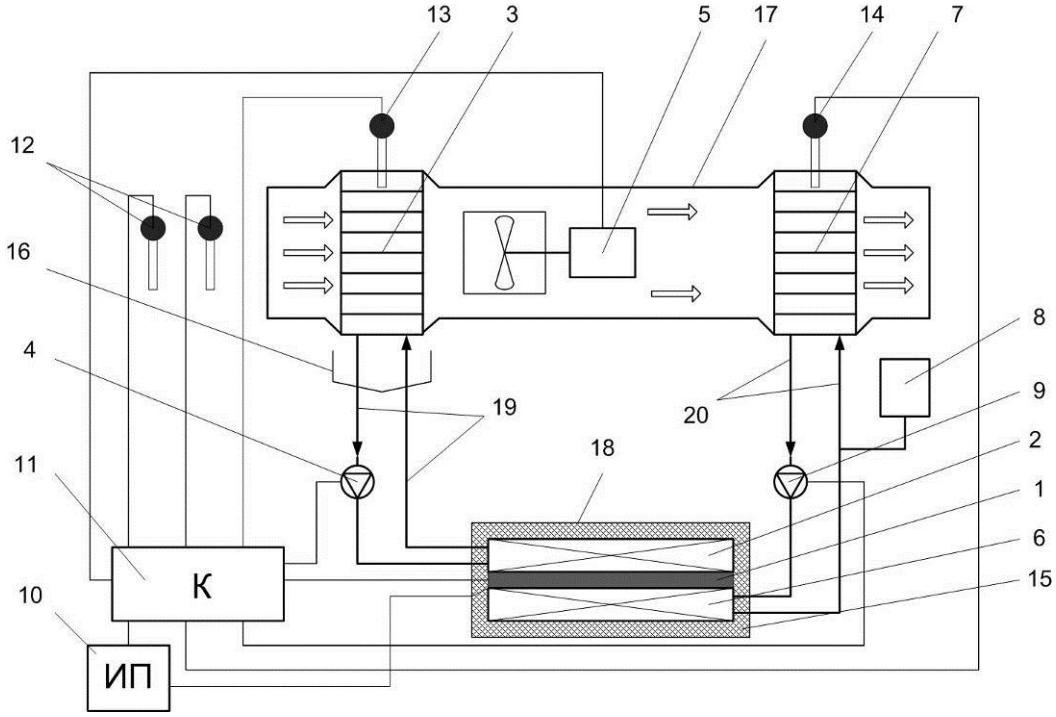


Рисунок 3 - Схема термоэлектрического осушителя воздуха помещений сельскохозяйственного назначения

Микроконтроллер 11 обеспечивает автоматический режим работы установки, получая сигналы от датчиков температуры и влажности воздуха 12, установленных в помещении, датчиков температуры теплообменников холодного 13 горячего 14 контуров. Поддон 16 предназначен для сбора воды. Установка содержит трубопроводы холодного 19 и горячего 20 контуров.

При повышении влажности в помещении выше допустимого уровня производится включение вентилятора 5, термоэлектрических модулей 1, циркуляционных насосов 4 и 9. Вентилятор начинает прокачивать влажный воздух из помещения через воздушный тракт осушителя воздуха. При движении воздуха через пластинчатый теплообменник 3 воздух за счёт теплообмена с холодной поверхностью теплообменника охлаждается, при этом излишняя влага конденсируется на теплообменной поверхности теплообменника холодного контура и стекает в поддон 16. Далее осушенный и охлажденный воздух проходит через пластинчатый теплообменник горячего контура 7, где нагревается до первоначальной температуры. Это нужно для того, чтобы осушитель воздуха не охлаждал помещение. Осушенный и подогретый воздух подается в помещение, где смешивается с внутренним воздухом помещения. В результате смешения осушенного воздуха с воздухом помещения влажность воздуха в по-

мещении постепенно понижается, и при достижении заданного уровня влажности вентилятор 5, термоэлектрические модули 1 и циркуляционные насосы 4 и 9 подачи хладагента в теплообменники выключаются. Регулируемый источник питания 10 необходим для работы микроконтроллера 11, термоэлектрических модулей Пельтье и циркуляционных насосов. Величина выходного тока источника питания задает градиент температур на термоэлектрических модулях. Для эффекта осушения воздуха необходимо добиться на холодной стороне модульного блока 1 температуры, которой соответствует точка росы, т.е. температуры, при которой влага будет конденсироваться на теплообменнике и стекать в поддон. Ее величина зависит от температуры окружающей среды и влажности воздуха в обслуживаемом помещении. Для отслеживания этих параметров используются датчики температуры и датчик влажности 12, установленные в помещении.

Датчики температуры установлены также на пластинчатых теплообменниках холодного и горячего контуров. Это позволяет предотвратить перегревания горячей стороны и охлаждения холодной стороны термоэлектрических модулей, ниже точки росы.

Теплообменники холодного и горячего контура, а также электровентилятор образуют единую конструкцию и устанавливаются в помещении, в котором необходимо осушать воздух. Для уменьшения потерь тепловой энергии термоэлектрические модули и теплообменники холодного и горячего спаев помещены в теплоизолированный корпус и образуют термоэлектрический блок, установленный снаружи обслуживаемого помещения.

Выводы. Предложенная конструкция осушителя воздуха с применением термоэлектрических модулей характеризуется высокими теплоэнергетическими показателями, надежностью, малыми потерями тепловой энергии, отсутствием подвижных частей. Совокупность новых признаков, отсутствующих в известных технических решениях, позволяет достигнуть нового положительного технического результата при осушении воздуха в животноводческих помещениях.

Список литературы

1. Форум «Термоэлектричество как энергия будущего», [Электронный ресурс]. URL: uran.ru gazetanu/2011/06/nu15/wvmn, p 5-15 .

2. Термоэлектрические материалы и преобразователи / под редакцией А.И. Карчевского. М.: «Мир». -1964.-351 с.

3. Вайнер А.Л. Каскадные термоэлектрические источники холода. М.: Сов. Радио.-1976.-136 с.

4. Тихомиров А.В., Уханова В.Ю., Николаева Е.Н. Показатели оценки эффективности систем энергообеспечения сельских объектов. М.: Вестник ВИЭСХ. -2012. -Т. 3. -№ 8. -С. 18-20.

5. Тихомиров, Д.А. Энергоэффективные электрические средства и системы теплообеспечения технологических процессов в животноводстве. М.: Вестник ВНИИМЖ, Вып. 4 (24). 2016г. С.15-23.

6. Тихомиров, Д.А. Программный проект для расчета потребной мощно-сти теплоэнергетического оборудования и годового расхода тепловой энергии на объектах животноводства / Д.А. Тихомиров // Вестник ВИЭСХ.– М.: ГНУ ВИЭСХ, 2013.– Вып. 1(10).– С. 47–50.

7. Мурусидзе Д.Н., Зайцев А.М., Степанова Н.А. и др. Установки для создания микроклимата на животноводческих фермах.- М.: Колос, 1979.- 327 с., ил.

8. Вишневский, Е.П. Анализ использования основных методов осушения воздуха. Технический бюллетень.-2003.-№1.- С.4-6.

9. Мусоров, И. С. Осушитель воздуха на элементе Пельтье / И. С. Мусоров, С. Н. Торгаев, Д. С. Чертихина // Современные техника и технологии: сборник трудов XX международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 14-18 апреля 2014 г. : в 3 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2014. — Т. 1. — С. 123-124.

10. Разиньков В.В., Стари З. Термоэлектрический кондиционер для городского электротранспорта. [Электронный ресур]. http://www.ioffe.ru/Thermolab/seminar2012/ poster/57p_ Razinkov.pdf

11. Шостаковский, П.А. Современные решения термоэлектрического охлаждения для радиоэлектронной, медицинской промышленности и бытовой техники. Компоненты и технологии №1 2010 [Электронный ресурс]. http://ecogenthermoelectric.com/tpl/docs/ Modern_solutions_ rus_1.pdf

References

1. Forum «Termoehlektrichestvo kak ehnergiya budushchego», [Elektronnyj resurs]. URL: uran.ru gazetanu/2011/06/nu15/wvmn, p 5-15 .

2. Termoelektricheskie materialy i preobrazovateli / pod redakciej A.I. Karchevskogo. M.: «Mir». -1964.-351 s.

3. Vajner A.L. Kaskadnye termoelektricheskie istochniki holoda. M.: Sov. Radio.- 1976.-136 s.

4. Tihomirov A.V., Uhanova V.YU., Nikolaeva E.N. Pokazateli ocenki effektivnosti sistem energoobespecheniya sel'skih ob"ektov. M.: Vestnik VIESH. -2012. -T. 3. -№ 8. -S. 18-20.

5. Tihomirov, D.A. Energoehffektivnye elektricheskie sredstva i sistemy teploobespecheniya tekhnologicheskih processov v zhivotnovodstve. M.: Vestnik VNIIMZH, Vyp. 4 (24). 2016g. S.15-23.

6. Tihomirov, D.A. Programmnyj proekt dlya rascheta potrebnoj moshchnosti teploenergetiche-skogo oborudovaniya i godovogo raskhoda teplovoj energii na ob"ektah zhivotnovodstva / D.A. Tihomirov // Vestnik VIESH.– M.: GNU VIESH, 2013.– Vyp. 1(10).– S. 47–50.

7. Murusidze, D.N., Zajcev A.M., Stepanova N.A. i dr. Ustanovki dlya sozdaniya mikroklimata na zhivotnovodcheskih fermah.- M.: Kolos, 1979.- 327 s., il.

8. Vishnevskij, E.P. Analiz ispol'zovaniya osnovnyh metodov osusheniya vozduha. Tekhniche-skij byulleten'.-2003.-№1.- S.4-6.

9. Musorov, I. S. Osushitel' vozduha na elemente Pel't'e / I. S. Musorov, S. N. Torgaev, D. S. CHertihina // Sovremennye tekhnika i tekhnologii: sbornik trudov XX mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh, Tomsk, 14-18 aprelya 2014 g. : v 3 t. — Tomsk : Izd-vo TPU, 2014. — T. 1. — S. 123-124.

10. Razin'kov V.V., Stari Z. Termoelektricheskij kondicioner dlya gorodskogo elektrotransporta. [Elektronnyj resur]. http://www.ioffe.ru/Thermolab/seminar2012/poster/57p_ Razinkov.pdf

11. Shostakovskij, P.A. Sovremennye resheniya termoelektricheskogo ohlazhdeniya dlya radio-elektronnoj, medicinskoj promyshlennosti i bytovoj tekhniki. Komponenty i tekhnologii №1 2010 [Elektronnyj resurs]. http://ecogenthermoelectric.com/tpl/docs/Modern_solutions_ rus_1.pdf

УДК 631.312.021.3

СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ДИЗЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

Лебедев Анатолий Тимофеевич,
доктор технических наук, профессор, E-mail:lebedev.1962@mail.ru
Захарин Антон Викторович,
кандидат технических наук, доцент, E-mail:anton-zaharin@mail.ru
Лебедев Павел Анатольевич,
кандидат технических наук, доцент, E-mail:zoya_lebedeva@mail.ru
Павлюк Роман Владимирович,
кандидат технических наук, доцент, E-mail: roman_pavlyuk_v@mail.ru
Марьин Николай Александрович,
кандидат технических наук, E-mail:gshmatko@yandex.ru
ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь

Реферат. *Выдвинута рабочая гипотеза о возможности повышения эффективного КПД газодизельного двигателя до соответствующих значений дизельного. Изучали параметры газодизельного режима, определяли закономерности эффективного регулирования подачи топлив. Установили, что на более качественный процесс сгорания газодизеля оказывают влияние: частота вращения коленчатого вала двигателя; коэффициент наполнения; теплотворная способность смеси, определяющая коэффициент избытка воздуха α и скорость сгорания; относительная запальная доза топлива; степень гомогенности газо-воздушной смеси (для газодизеля с внешним смесеобразованием). Увеличения эффективного КПД газодизеля добивались регулированием теплотворной способности смеси, за счет обеспечения необходимого крутящего момента, соответствующего эксплуатационным требованиям. На участке внешней скоростной характеристики с n = 1000...1900 мин$^{-1}$ выделяли три зоны: эффективной работы с n = 1500 -1900 мин$^{-1}$; снижения эффективности; неэффективной работы. Показали, что при снижении частоты вращения уменьшается эффективный КПД газодизельного режима в сравнении с дизельным. Установили, что использование новой конструкции системы регулирования обеспечивает качественную работу двигателя, снижение токсичных выбросов, за счет применения более экологичного вида топлива, дополнительным эффектом является упрочнение прецизионных деталей топливной аппаратуры тонкопленочными покрытиями. Общий расход топлива снизился на 32 г/кВт·ч. Снижение неравномерности подачи топлива на всех скоростных режимах двигателя можно обеспечить формирование тонкопленочных покрытий на прецизионных деталях топливной аппаратуры. Неравномерность подачи топлива экспериментальных плунжерных пар ниже в 4 -5 раз по отношению к выпускаемым.*

Ключевые слова*: эффективный коэффициент полезного действия, расход топлива, дизельная техника, система регулирования*

REDUCTION OF CARBON-GAS EMISSIONS FROM DIESEL ENGINEERING AT THE EXECUTION OF TECHNOLOGICAL OPERATIONS

Lebedev Anatoly,
Full doctor of Technical Sciences, Professor, E-mail: lebedev.1962@mail.ru
Pavlyuk Roman,
Candidate of Technical Sciences, associate Professor, E-mail: roman_pavlyuk_v@mail.ru
Zaharin Anton,
Candidate of Technical Sciences, associate Professor, E-mail: anton-zaharin@mail.ru
Lebedev Pavel,
Candidate of Technical Sciences, associate Professor, E-mail: zoya_lebedeva@mail.ru
Marin Nikolai,
Candidate of Technical Sciences

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education Stavropol State Agrarian University, Stavropol

Abstract*. The working hypothesis of the possibility of increasing for effective coefficient of useful action of a gas-diesel engine to the corresponding values of diesel is advanced. The parameters of the gas-diesel regime were studied, the regularities of effective fuel supply regulation were determined. Established that the engine speed of the crankshaft; coefficient of filling; the calorific value of the mixture, which determines the coefficient of excess air α and the combustion rate; the relative ignition dose of fuel; degree of homogeneity of the gas-air mixture (for gas diesel with external mixture formation) affect the more qualitative combustion process of gas diesel. It is established that the engine speed of the crankshaft; coefficient of filling; the calorific value of the mixture, which determines the coefficient of excess air α and the combustion rate; the relative ignition dose of fuel; degree of homogeneity of the gas-air mixture (for gas diesel with external mixture formation) affect the more qualitative combustion process of gas diesel. Increases in the effective coefficient of useful action of gas diesel have been achieved by adjusting the heating value of the mixture, by providing the necessary torque that meets the performance requirements. Three zones were allocated at the section of the external speed characteristic with n = 1000 ... 1900 min-1: effective operation with n = 1500 -1900 min-1; ineffective work. It was shown that effective coefficient of useful action of the gas-diesel mode decreases in comparison with the diesel regime decreases with a decrease in the rotational speed. It was established that the use of the new design of the control system ensures the high-quality operation of the engine, the reduction of toxic emissions, through the use of a more environmentally friendly fuel, an additional effect is the hardening of precision parts of fuel equipment with thin-film coatings. The total fuel consumption decreased by 32 g / kW h. Reduction in the unevenness of fuel supply at all engine speeds can provide the formation of thin-film coatings on precision parts of fuel equipment. The unevenness in the fuel supply of the experimental plunger pairs is lower by a factor of 4-5 compared to the output.*

Key words*: effective coefficient of useful action, fuel consumption, compressed natural gas, diesel, fuel*

Введение. В настоящее время в России ежегодно потребляется около 100 млн тонн моторных топлив, производимых из нефти, при этом основными потребителями нефтепродук-

тов являются автомобильная и сельскохозяйственная техника. В ближайшей перспективе предполагается повышение пользования нефтепродуктов при таких же объемах их производства. Эти факторы привели к необходимости реконструкции топливно-энергетического комплекса. Одним из основных путей совершенствования двигателей внутреннего сгорания, остающихся основными потребителями нефтяных топлив, является их адаптация к работе на альтернативных топливах. Применение в двигателях внутреннего сгорания альтернативных топлив с требуемыми физико-химическими свойствами даст возможность улучшать рабочие процессы дизелей и тем самым усовершенствовать их экологические и экономические показатели.

Особенную важность приобретает снижение выбросов в атмосферу углекислого газа CO_2. Это объясняется значительным повышением его концентрации в атмосфере, вызванным быстрым ростом промышленного производства и резким увеличением количества транспортных средств. Альтернативные топлива имеют физико-химические свойства отличные от свойств дизельного топлива (таблица 1), поэтому при использовании возникают проблемы адаптации этих топлив к транспортировке, хранению и использованию в дизельных двигателях.

Таблица 1. - Физико-химические свойства дизельного и альтернативных топлив [1].

Показатель	Топлива						
	ДТ	КПГ	СНГ	Метанол	ДМЭ	РМ	МЭРМ
Формула состава	$C_{16,2}H_{28,5}$	CH_4	C_3H_8	CH_3OH	CH_3OCH_3	-	$C_{19,6}H_{36,6}O_2$
Плотность при 20°С, [кг/м^3]	830	416	490	795	668	916	877
Вязкость кинематическая при 20°С, [мм^2/с]	3,8	-	0,17	0,55	0,22	75	8
Коэффициент поверхностного натяжения при 20°С, [мН/м]	27,1	33,2	-	-	12,5	33,2	30,7
Теплота сгорания низшая, $H_и$ [МДж/кг]	42,5	50,3	46,5	20,1	28,9	37,3	37,8
Цетановое число	45	3	16	3	55-60	36	48
Температура самовоспламенения, °С	-25	-	-	-	-	-9	-13
Температура застывания, °С	-35	-	-	-97,9	-	-20	-21
Температура кипения, °С	180…360	-161,5	-42	64,5	-25	-	348…434
Теплота испарения при температуре кипения, кДж/кг	250	511	427	1115	467	-	-
Давление насыщенных паров при 0,1 МПа и 20°С, МПа	-	21,4	0,84	0,013	0,51	-	-
Содержание, % по массе С Н О	11111 87,0 12,6 0,4	1111 76,0 24,0 0	1111 81,8 18,2 0	1111 37,5 12,5 50,0	1111 52,2 13,0 34,8	1111 77,0 12,0 11,0	111 77,5 12,0 10,5
Общее содержание серы, %, по массе	0,20	-	0,015	-	-	0,002	0,002
Коксуемость 10 %-ного остатка, % , по массе	0,2	-	-	-	-	0,4	0,3
Примечание: «-» - свойства не определялись; ДТ – дизельное топливо, КПГ – компримированный природный газ; СНГ – сжиженный нефтяной газ; ДМЭ – диметиловый эфир; РМ – рапсовое масло; МЭРМ – метиловый эфир рапсового масла							

Повышение содержания в атмосфере CO_2 способствует образованию озоновых дыр. При снижении концентрации озона в атмосфере повышается отрицательное воздействие жесткого ультрафиолетового излучения на организм человека.

Применение некоторых нетрадиционных топлив позволяет устранить и еще ряд недостатков (таблица 2), присущих нефтяным топливам. Так, не смотря на невозобновляемость ресурсов природного газа, они существенно больше (в 4 – 7 раз), чем запасы нефти. Кроме того, производство компримированного природного газа и его сжигание в дизельных двигателях весьма экологично. Понижение токсичности отработавших газов дизеля при его работе на природном газе обусловлено значимым усовершенствованием процесса смесеобразования, поскольку природный газ и воздух находятся в одном агрегатном состоянии. В результате топливовоздушная смесь оказывается гомогенной и наблюдается ее более полное сгорание по сравнению с дизельным топливом.

Применение компримированного природного газа (КПГ) как топлива для дизельных двигателей требует использование специальных битопливных систем питания и регулирования смеси. Для повышения эффективности энергосредств, выполняющих технологические процессы, эти конструкции должны обеспечивать эффективное битопливное сгорание и типовую механическую характеристику двигателя.

Таблица 2 - Выбросы токсичных компонентов отработавших газов дизелей, работающих на различных топливах [1].

Вид топлива или компонента	Выброс с продуктами сгорания, г(кВт/ч)						
	Бензин	Бензин метанольный	Дизельное топливо	Природный газ	Пропан-бутановая смесь	Метанол	Этанол
Оксиды азота, NO_x	13,2	10,0	19,2	10,6	13,2	3,3	6,6
Монооксид углерода, CO	232	200	10,6	70	230	70	95
Углеводороды, CH_x	18,9	18,0	4,95	13,2	16,1	13,2	15,0
Твердые частицы, (сажа С)	0,94	0,90	3,6	0,31	0,91	0,15	0,2
ПАУ	0,0135	0,013	0,015	0,007	0,009	0,0005	0,001
Оксиды серы, SO_x	0,94	0,90	2,6	0,7	0,45	-	-
Реактивность	Высокая	Высокая	Высокая	Низкая	Средняя	Низкая	Низкая

С целью исследования и улучшения таких систем необходимо изучение параметров газодизельного режима, формирование закономерностей эффективного регулирования подачи топлив.

Использование природного газа в качестве моторного топлива в двигателях внутреннего сгорания осуществимо в двух типах двигателей: поршневых газовых двигателях с искровым

зажиганием и газодизельных двигателях, с воспламенением рабочей смеси от подачи запальной дозы дизельного топлива.

При этом переоборудование универсальных энергосредств связано с правильным выбором не только принципиальной схемы системы регулирования подачи топлив, но и ее адаптацией для работы двигателя в газодизельном режиме.

Дополнительным фактором, оказывающим влияние на экологические и экономические показатели, дизельных двигателей является техническое состояние прецизионных деталей топливной аппаратуры. Из-за повышенного зазора между плунжером и втулкой неравномерность подачи дизельного топлива при различных оборотах кулачкового вала варьируется от 10 до 37%.

Упрочнение рабочих поверхностей прецизионных деталей плазменными технологиями позволяет обеспечить минимальный зазор в сопряжении без схватывания контактируемых поверхностей [2].

Экспериментальная часть. Сгорание газодизельной смеси - появление множественных очагов первоначального воспламенения запального дизельного топлива в газовоздушной смеси с дальнейшим объемным развитием. Камера сгорания газодизеля разделена на три зоны, в каждой из которых различное значение коэффициента избытка воздуха. На более качественный процесс сгорания газодизеля оказывают влияние следующие параметры [3]: частота вращения коленчатого вала двигателя; коэффициент наполнения; теплотворная способность смеси, определяющая коэффициент избытка воздуха α и скорость сгорания; относительная запальная доза топлива; степень гомогенности газо-воздушной смеси (для газодизеля с внешним смесеобразованием).

Увеличения эффективного КПД газодизеля добивались регулированием теплотворной способности смеси. При использовании газодизельного процесса параметры изменяются таким образом, что участок внешней скоростной характеристики с n = 1000...1900 мин$^{-1}$, можно разделить на три зоны по параметру эффективности (рисунок 1) [4]. Это зона эффективной работы с n = 1500...1900 мин$^{-1}$ (зона 3), зона снижения эффективности (зона 2) и зона неэффективной работы (зона 1).

Основание для такого разделения служат значения теплотворной способности смеси, которые обеспечивают необходимый крутящий момент, соответствующий эксплуатационным требованиям. Сравнительные исследования осуществлялись с существующей системой ВИМ-ВНИИГАЗ [4]. Анализ исследований показал, что точки для газодизельного режима предлагаемой системы находятся на кривой *АБВГ*, что не обеспечивает существующая конструкция ВИМ-ВНИИГАЗ, регулирующая теплотворная способность смеси по $ГВКБ_1А_2$ [4]. При этом в зоне работы 2 и 3 происходит снижение теплотворной способности смеси по участкам $ВБ_1$ и $Б_1А_2$, что является причиной для снижения крутящего момента в этом диапазоне изменения частот вращения [4].

При условии работы в дизельном режиме теплотворность регулируется по $ГВ_1Б_1А_1$. Из рисунка 1 видно, что при снижении частоты вращения снижается эффективный КПД газодизельного режима (кривая $ДЕ_1К_1Ж_1А_2$) в сравнении с дизельным (кривая ДЕЖЗ) [3]. Наибольшее ухудшение газодизельного процесса характеризуют отрезки $ЕЕ_1$ и $ЖЖ_1$ [4]. Такое ухудшение в зоне 2 заметно снижает крутящий момент, однако при увеличении подачи газа эксплуатационные параметры не будут нарушены, а в зоне 3, и эти меры будут недостаточны.

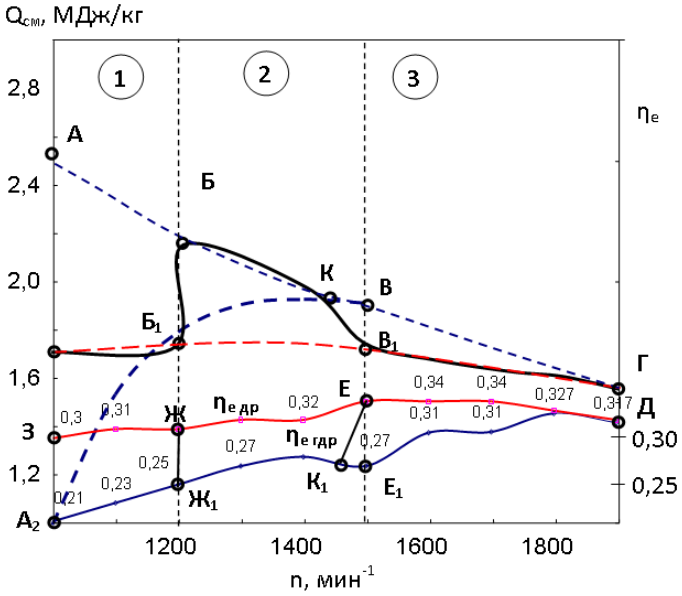


Рисунок 1 - Регулирование теплотворной способности смеси в зависимости от частоты вращения

Для качественной работы дизельного двигателя с газодизельной смесью необходимо создать среднее значение эффективного КПД как при работе в дизельном режиме. Этого можно достичь, если:

- на участках скоростной характеристики n = 2100 - 1500 мин$^{-1}$, необходимо регулирование по дизельной модели изменения $Q_{см}$, что позволит увеличить КПД в зоне 3 [4];

- для сохранения газодизельного режима в диапазоне n = 1200 - 1500 мин$^{-1}$, необходимо повышение $Q_{см}$ за счет газа;

- для повышения эффективного КПД на участке n=1000 - 1200 мин$^{-1}$ необходимо временное включение дизельного режима [4].

Приведенный анализ практически полученных экспериментальных параметров подтверждает рабочую гипотезу о возможности повышения эффективного КПД газодизельного двигателя до соответствующих значений дизельного. Основные параметры работы двигателя экспериментального трактора с разработанной газодизельной системой в сравнении с системой ВИМ-ВНИИГАЗ представлены в таблице 3[4].

Экспериментальные параметры, приведенные в таблице 3, показали повышение эффективности работы двигателя с новой конструкцией системы регулирования, при использовании которой обеспечивается не только более качественная работа двигателя, но и уменьшенное количество выброса токсичных компонентов, за счет применения более экологичного вида топлива.

Техническое состояние прецизионных деталей топливной аппаратуры оказывает существенной влияние на экологичность выбросов отработавших газов. При проведении исследований неравномерности подачи топлива, в зависимости от режимов работы двигателя была установлена зависимость. Аналитическая зависимость неравномерности подачи топлива плунжерных пар от оборотов кулачкового вала и положения рейки представлена на рисунке 2.

Таблица 3. – Сравнительная характеристика расхода топлива с различными конструкциями газодизельных систем.

Наименование параметра	К-701 с эжекторной системой ВИМ-ВНИИГАЗ	К-701 с экспериментальной конструкцией системы регулирования	Параметры эффективности новой конструкции
Точка номинальной мощности: а) мощность, кВт б) общий расход топлива, кг/ч в) расход газа, кг/ч г) расход дизельного топлива, кг/ч д) относительная запальная доза, %	 192 49,1 27,7 21,4 43	 198,6 44,5 32 12,5 28	увеличение на 6,6 кВт понижение на 4,6 кг/ч увеличение на 4,3 кг/ч понижение на 8,9 кг/ч понижениев 1,5 раза
Точка холостого хода: а) общий расход топлива, кг/ч б) расход газа, кг/ч в) расход дизельного топлива, кг/ч г) относительная запальная доза, %	 21 13 8 38	 12,4 9,4 3 24	понижение на 8,6 кг/ч понижение на 3,6 кг/ч понижение на 5 кг/ч понижение в 1,58 раза
Суммарный удельный расход топлива, г/кВт·ч	256	224	снижение на 32 г/кВт·ч

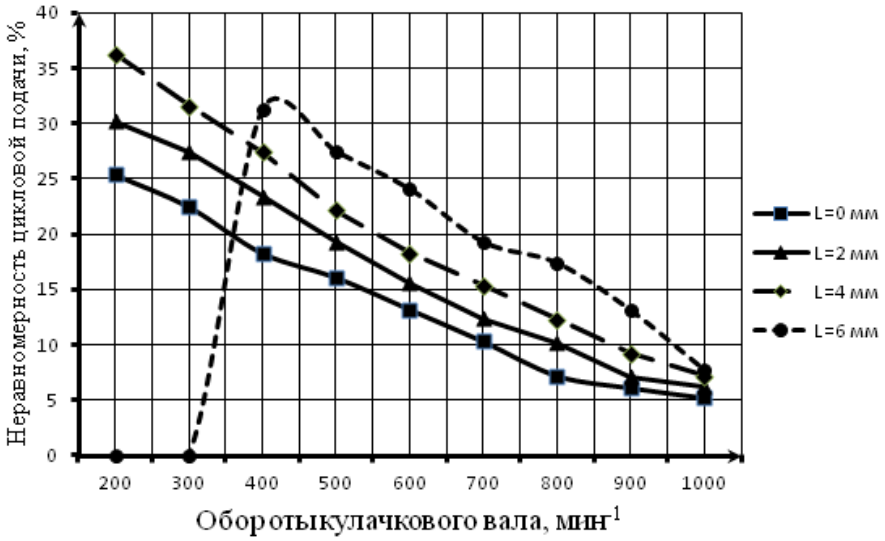


Рисунок 2 - Неравномерность цикловой подачи при различном положении рейки

При оборотах кулачкового вала 1000 мин$^{-1}$ неравномерность подачи топлива заводских плунжерных пар по секциям при *L=0 мм*, *L=2 мм, L=4 мм* и *L=6 мм* составила 5,2 %, 6,2 %, 7,2 % и 7,7 % соответственно [5], что объясняется высокой скоростью перемещения плунжера относительно втулки и малой продолжительности процесса топливоподачи. Отклонение неравномерности цикловой подачи по секциям от нормы (5%) не значительно [6]. При сниже-

нии оборотов кулачкового вала неравномерность подачи топлива возрастает при всех положениях рейки. Например, при *L=0 мм* и n=1000 мин$^{-1}$ неравномерность подачи топлива составляет 5,2 %, а при n = 200 мин$^{-1}$ неравномерность в 4,9 раза выше и составляет 25,4 %. В тех же условиях при положении рейки *L=2 мм, L=4 мм* и *L=6 мм* неравномерность цикловой подачи увеличилась в 4,8, 5 и 4 раза соответственно [5,6].

Аналитическая зависимость неравномерности подачи топлива плунжерных пар, имеющих тонкопленочное покрытие, от оборотов кулачкового вала и положения рейки представлена на рисунке 3.

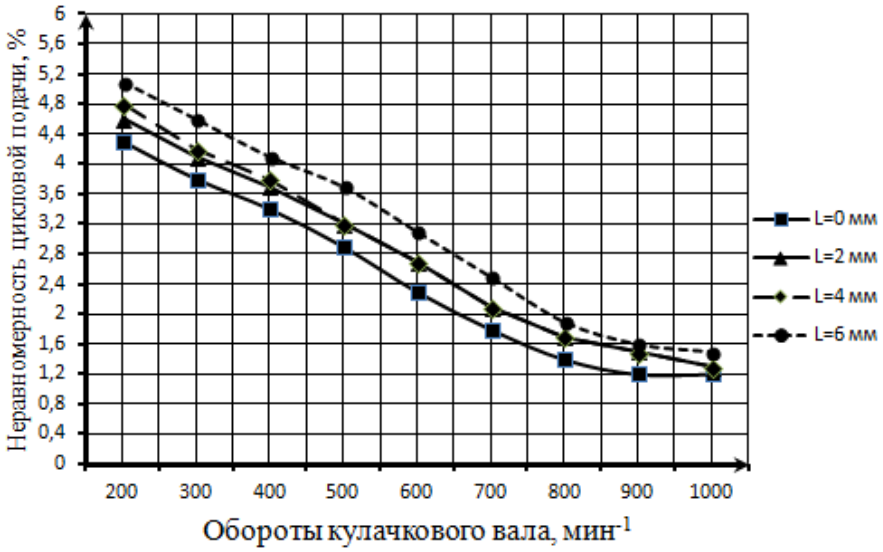


Рисунок 3- Неравномерность цикловой подачи плунжерных пар, имеющих тонкопленочное покрытие, при различном положении рейки

При проведении анализа рисунка 3, установлено, что при номинальной частоте вращения кулачкового вала на всем диапазоне положения рейки неравномерность цикловой подачи колеблется в пределах 1,2 - 1,5% [5]. Исследования показали, что при использовании экспериментальных плунжерных пар неравномерность подачи топлива по секциям не превышает допустимых значений.

Выводы. Таким образом, предлагаемая система регулирования газодизельной смеси, позволит обеспечить снижение токсичных выбросов, а дополнительным эффектом является упрочнение прецизионных деталей топливной аппаратуры тонкопленочными покрытиями.

Список литературы

1. Анискин, В.И. Внедрение в сельскохозяйственное производство техники, работающей на компримированном природном газе [Текст] / В.И. Анискин // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. - 2005.- № 1(19).- 84 с..

2. Наумов, О.П. Теоретический метод комплексной оценки эффективности тракторных битопливных систем [Текст] / О.П. Наумов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2009. - № 4. – С. 20-24.

3. Наумов, О.П. Анализ работы эжекторной системы подачи газа газодизельного трактора К-701 [Текст] / О.П. Наумов, И.М. Коклин // Транспорт и подземное хранение газа. Научно- технический сборник. - 2008. - № 2. – С. 67-70.

4. Наумов, О.П. Повышение эффективности использования машинно-тракторных агрегатов на операциях обработки почвы газодизельными энергосредствами. Диссертация на со-

искание ученой степени кандидата технических наук / Ставропольский государственный аграрный университет. Ставрополь, 2010. 156с.

5. Лебедев, А.Т. Надежность и эффективность МТА при выполнении технологических процессов/А.Т. Лебедев, О.П. Наумов, Р.А. Магомедов, А.В. Захарин, П.А. Лебедев, Р.В. Павлюк. //Ставрополь. 2015. 332с.

6. Лебедев А.Т., Лебедев П. А. Повышение эффективности дизельной топливной аппаратуры//Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 7. С. 43-45

References

1. Aniskin, V.I. Vnedrenie v sel'skohozjajstvennoe proizvodstvo tehniki, rabotajushhej na komprimirovannom prirodnom gaze [Tekst] / V.I. Aniskin // Avtogazozapravochnyj kompleks + al'ternativnoe toplivo.- 2005.- № 1(19).- 84 s..

2. Naumov, O.P. Teoreticheskij metod kompleksnoj ocenki jeffektivnosti traktornyh bitoplivnyh sistem [Tekst] / O.P. Naumov // Traktory i sel'skohozjajstvennye mashiny. - 2009. - № 4. – S. 20-24.

3. Naumov, O.P. Analiz raboty jezhektornoj sistemy podachi gaza gazodizel'nogo traktora K-701 [Tekst] / O.P. Naumov, I.M. Koklin // Transport i podzemnoe hranenie gaza. Nauchno-tehnicheskij sbornik. - 2008. - № 2. – S. 67-70.

4. Naumov, O.P. Povyshenie jeffektivnosti ispol'zovanija mashinno-traktornyh agregatov na operacijah obrabotki pochvy gazodizel'nymi jenergosredstvami. Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehnicheskih nauk / Stavropol'skij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. Stavropol', 2010. 156s.

5. Lebedev, A.T. Nadezhnost' i jeffektivnost' MTA pri vypolnenii tehnologicheskih processov/A.T. Lebedev, O.P. Naumov, R.A. Magomedov, A.V. Zaharin, P.A. Lebedev, R.V. Pavljuk. //Stavropol'. 2015. 332s.

6. Lebedev A.T., Lebedev P. A. Povyshenie jeffektivnosti dizel'noj toplivnoj apparatury//Traktory i sel'hozmashiny. 2011. № 7. S. 43-45

УДК 631.017.3:621.181

СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ СОИ ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Машков Алексей Николаевич,
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, E-mail: vniiti@mail.ru
Шувалов Анатолий Михайлович,
доктор технических наук, профессор, E-mail: vniiti@mail.ru
ФГБНУ «Всероссийский научно- исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов, Российская Федерация

Реферат. *Ранее для удаления антипитательных веществ из сои предложена технология и технологическое оборудование, обеспечивающее двусторонний нагрев (сверху инфракрасными излучателями, снизу - электронагревательной поверхностью транспортирующего устройства) в высокотемпературной рабочей камере до 120…130 ºС, темперирование при температуре 110…100 ºС. Разработанная в ФГБНУ ВНИИТиН установка для термической обработки сои, производительностью 240 кг/ч, выполнена на базе вибрационного транспортера, несущим устройством которого является качающийся от вибропривода желоб. Обоснован выбор и параметры системы охлаждения темперированной сои на базе второго вибрационного транспортера с качающимся желобом, включенным в противофазу толкающего устройства и использующего реактивную энергию вибропривода первого транспортера – разжимающей пружины. Кожух с дефлекторами, образующие воздухопровод – камеру охлаждения движущегося по желобу темперированного зерна сои, над качающимся желобом позволяет исключить второй электровибропривод, экономить электроэнергию, повысить эффективность охлаждения сои, так как вибрация желоба частично отрывает зерно от желоба и поворачивает его в процессе движения, в результате увеличивается поверхность обдува сои холодным воздухом. Анализ различных схем охлаждения зерна сои применительно к вибрационному транспортер показал преимущественную зависимость отобранного теплового потока от обдуваемой поверхности сои и от температурного напора. Наилучшие результаты по охлаждению получены при обеспечении турбулентного движения воздуха за счет применения отражательных пластин.*

Ключевые слова: *соя, система охлаждения, термическая обработка, вибрационный транспортер*

THE SOY COOLING SYSTEM AFTER HEAT TREATMENT

Mashkov Alexey,
Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, E-mail: vniiti@mail.ru
Shuvalov Anatoliy,
Full Doctor of Technical Sciences, professor, laboratory chief, E-mail: vniiti@mail.ru

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

Abstract. *Technology and technological equipment that provides two-sided heating (from above by infrared radiators, from below - by the electric heating surface of the transporting device) in a high-temperature working chamber up to 120 ... 130 ºC, tempering at a temperature of 110 ... 100 ºC, have been proposed earlier for removal of anti-wetting substances. The unit for heat treatment of soybeans, developed at FGBNU VNIITiN, with a capacity of 240 kg / h, is made on the basis of a vibrating conveyor, the carrying device of which is a trough swinging from the vibratory drive. The choice and parameters of the tempered soybean cooling system based on the second vibrating conveyor with a swinging chute included in the antiphase of the pushing device and using the reactive energy of the vibrating drive of the first conveyor, the expansion spring, is justified. The casing with the deflectors forming the air duct - the cooling chamber of the tempered soybean grains moving over the trough above the swinging trough - allows eliminating the second electric drive, saving energy, improving the cooling efficiency of the soybean, as the trough vibration partially tears the grain from the trough and turns it in the process movement, as a result, the surface of the soybean is blown with cold air. The analysis of various soybean grain cooling schemes applied to the vibrating conveyor showed a predominant dependence of the selected heat flux on the soybean surface to be blown and on the temperature head. The best cooling results were obtained by providing turbulent air movement through the use of reflective plates.*

Keywords: *soy, the cooling system, heat treatment, the combined heating, vibrating conveyor*

Введение. В России стоит остро проблема обеспечения животных кормами. Альтернативное решение – создание кормов с высоким содержанием протеина на основе растительного сырья. Среди перспективных сырьевых ресурсов ученые выделяют сою. Соевые бобы содержат 38-45 % протеина, что в 2 раза больше, чем в говядине. Протеин содержит все незаменимые аминокислоты, витамины Е, В1, В2, В6.

Несмотря на высокие кормовые достоинства соевых бобов, присутствие в них антипитательных веществ существенно снижает питательную ценность. Классические методы снижения антипитательных веществ – высокотемпературная обработка соевых бобов.

В последние десятилетия учеными предложены различные способы и технические средства тепловой обработки сои: установки с инфракрасным нагревом, экструдеры с специальными насадками, устройства поджаривания зерна, СВЧ-установки и др. [1, 2]. Каждый из них имеют недостатки: неравномерный прогрев по объему зерна, высокие энергозатраты, сложность конструкции, высокая стоимость установок.

Сотрудниками ФГБНУ ВНИИТиН обоснована перспективность применения технологического оборудования для термической обработки сои с комбинированным (двухсторонним) ее нагревом. Обоснованы параметры системы энергообеспечения, разработана конструктивная схема, эскизные чертежи установки с комбинированным нагревом сои, выполненной на базе вибрационного транспортера. Создан действующий экспериментальный образец установки, проведены исследования энергетических и режимных параметров системы энергообеспечения, вибрационного транспортера. Разработаны, созданы и исследованы рекуператор теплоты и температор – специальный теплоизолированный бункер для отстоя сои [3-5].

Использование системы энергообеспечения процесса термической обработки сои с комбинированным нагревом, выполненной на базе вибрационного транспортера позволяет повысить в 1,4 раза производительность обработки зерна, сократить расход электроэнергии на 26,3%.

Ранее нашими исследованиями [6] было установлено, что для качественной обработки сои, то есть для удаления из нее антипитательных веществ требуется технология и технологическое оборудование, обеспечивающее ее нагрев в высокотемпературной рабочей камере до 120…130 ºС, темперирование при температуре 110…100 ºС. Однако с такой температурой ее нельзя отправлять на хранение. В результате возникает задача по разработке простой и надежной системы охлаждения сои применительно к действующему экспериментальному образцу установки для термической обработки сои с комбинированной системой энергообеспечения процесса нагрева.

Для охлаждения зерна после сушки или термической обработки широкое распространение получили охладители барабанного типа и шахтные [7]. Преимущества применяемых в настоящее время охладителей барабанного типа – охлаждение при интенсивном перемешивании. Недостатком их является: конструкция сложная, громоздкая и дорогостоящая.

Известна также линия экструдирования и охлаждения сои. Основным оборудованием в составе линии являются экструдер, охладитель барабанного типа, транспортер, бункер, вентилятор и др. Недостатком линии является сложность, громоздкость конструкции и трудность очистки оборудования [8].

В данной работе для повышения качества, производительности и более полного и быстрого охлаждения полученного продукта предлагается шахтная линия охлаждения полножирной сои, включающая экструдер, транспортер, норию, охладитель. Линия дополнительно содержит циклон-разгрузитель, вентиляторы высокого и среднего давления. Охладитель имеет шахтную схему с движением продукта сверху вниз и продувкой воздухом в горизонтальном направлении [9, 10]. Недостатком линии является сложность конструкции, высокие материальные и энергетические затраты, она рассчитана на производительность 5-6 т/ч и для маломощных линий термической обработки сои 250-1000 кг/ч она не эффективна.

Разработанная в ФГБНУ ВНИИТиН установка для термической обработки сои (удаления антипитательных веществ) имеет производительность 240 кг/ч. То есть применение технологических линий охлаждения зерна с барабанной и шахтной схемой из-за низкой эффективности их использования при охлаждении сои нецелесообразно.

Результаты и их обсуждение. Так как действующий образец экспериментальной установки с комбинированным нагревом для термической обработки сои выполнен на базе вибрационного транспортера, несущим устройством которого является качающийся от вибропривода желоб, то для упрощения конструкции и экономии материальных затрат и электроэнергии была выдвинута гипотеза о создании системы охлаждения темперированной сои (t=100…110 ºС) на базе второго вибрационного транспортера с качающимся желобом, включенным в противофазу толкающего устройства и использующего реактивную энергию вибропривода первого транспортера – разжимающей пружины. При этом над качающим желобом предложено установить кожух с дефлекторами, образующие воздухопровод – камеру охлаждения движущегося по желобу темперированного зерна сои. Это позволяет: 1. Исключить сложный в конструктивном исполнении и дорогостоящий второй электровибропривод; 2. Обеспечить экономию электроэнергии, так как второй вибропривод не требуется, а используется реактивная энергия основного вибротранспортера; 3. Повысить эффективность охлаждения сои, так как вибрация желоба частично отрывает зерно от желоба и поворачивает его в процессе движения, в результате увеличивается поверхность обдува сои холодным воздухом.

Проведен анализ различных схем охлаждения зерна сои применительно к вибрационному транспортеру. В общем случае тепловой поток от обдуваемой холодным воздухом сои определяется по формуле

$$Q = \alpha \cdot F_{\text{обд}} \cdot (t_{\text{з}} - t_{\text{ов}}),$$

где α – коэффициент теплоотдачи от сои к воздуху, Вт/м^2·ºС; $F_{\text{обд}}$ – поверхность сои, обдуваемая холодным воздухом, м^2; $t_{\text{з}}$ – температура зерна темперированной сои, ºС; $t_{\text{ов}}$ – температура охлаждающего воздуха, ºС.

Величина $t_{\text{з}}$–$t_{\text{ов}}$ представляет собой температурный напор между нагретой, темперированной соей и охлаждающим воздухом.

Так как величина α в процессе охлаждения сои может изменяться незначительно, то в основном отобранный тепловой поток зависит от обдуваемой поверхности сои и от температурного напора.

Условно поверхность сои можно разделить на четыре поверхности (рисунок 1): поверхность слева F_1, сверху F_2, справа F_3, снизу F_4.

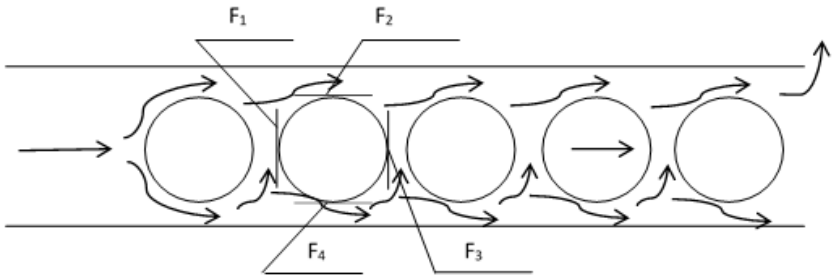


Рисунок 1 – Схема обдува сои холодным потоком воздуха при вибрации желоба.

При этом (рисунок 1) соя обдувается со всех сторон и поверхность обдува равна сумме четырех условно принятых поверхностей

$F_{\text{обд}} = F_1+F_2+F_3+F_4$

При встречном движении сои и охлаждающего воздуха (рисунок 2) эффект охлаждения может быть выше за счет увеличения коэффициента теплоотдачи при встречном столкновении воздуха и зерна. Однако скорость движения зерна по отношению к скорости движения воздуха минимальная и преимущества встречного движения могут быть близки к нулю.

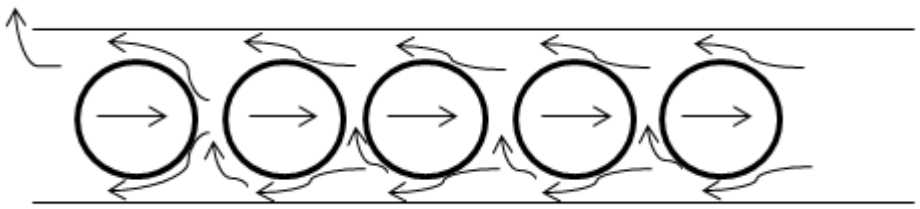


Рисунок 2 – Встречное движение сои и воздуха при вибрации желоба

Общим недостатком предложенных схем обдува зерна является то, что вся теплота от нагретой сои передается всему движущемуся потоку воздуха по всей длине желоба и постепенно нагревает его к концу выхода из камеры охлаждения, в результате уменьшается температурный напор и, следовательно, эффективность охлаждения, то есть $t_{\text{ов}} \rightarrow \max$, а температурный напор $t_{\text{з}}$–$t_{\text{ов}} \rightarrow \min$.

Уменьшить интенсивность снижения температурного напора можно, если применить схему рисунок 3.

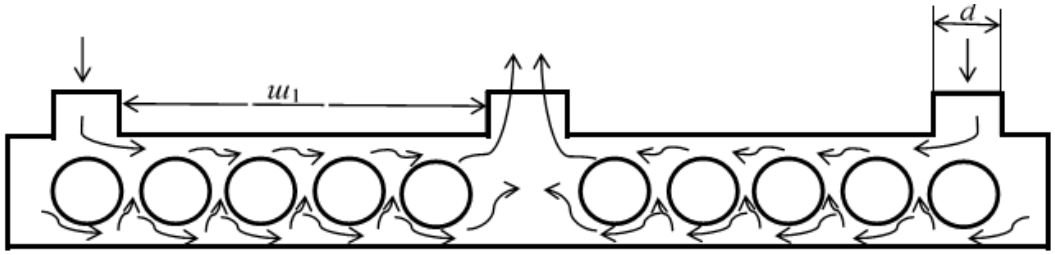


Рисунок 3 – Схема обдува сои с поперечным движением охлаждаемого воздуха и с вибрацией желоба

В этой схеме охлаждающий воздух движется поперек качающего желоба и частично по его длине и температурный напор между нагретой соей и охлаждающим воздухом уменьшается незначительно по отношению, если бы весь воздух двигался лишь длине желоба.

Наилучшие результаты по охлаждению сои могут быть получены, если обеспечить турбулентное движение воздуха за счет применения отражательных пластин (рисунок 4).

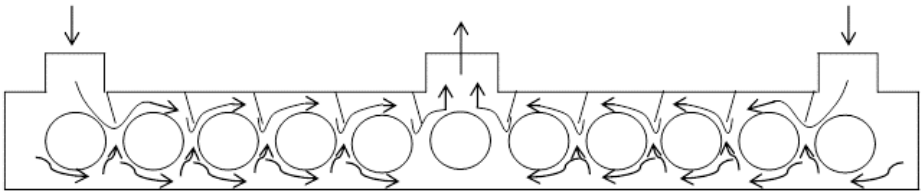


Рисунок 4 – Схема обдува темперированной сои при турбулентном движении воздуха.

Последний вариант схемы принят за основу при расчете параметров и разработке конструктивной схемы, эскизных чертежей на экспериментальный образец системы охлаждения сои.

Конструктивная схема системы охлаждения приведена на рисунке 5.

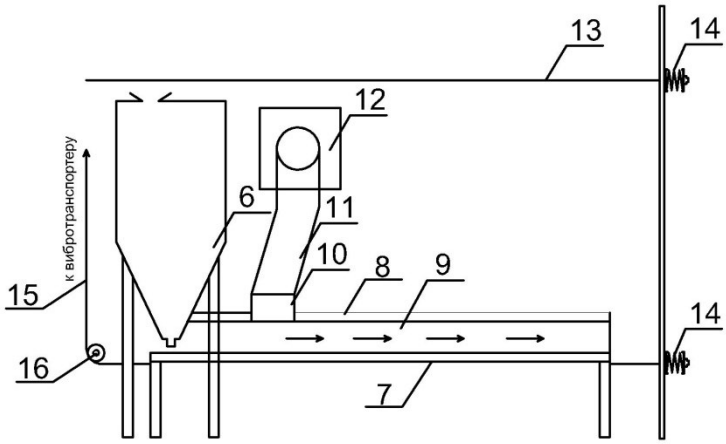


Рисунок 5 – Конструктивная схема системы охлаждения темперированной сои

Система охлаждения сои выполнена на базе второго вибрационного транспортера. Транспортирующее устройство вибрационного транспортера (желоб) 7 и верхняя крышка 8 образуют прямоугольный воздуховод 9. Для подачи воздуха в воздуховод предусмотрен центробежный вентилятор 12 Ц4-70 № 5. Вентилятор сочленен двумя гофрированными воздуховодами 11 с патрубками верхней крышки 10.

Вибропривод для второго вибрационного транспортера не предусмотрен, что позволяет экономить энергозатраты. Колебания желоба второго вибротранспортера осуществляются от вибропривода первого транспортера посредством сочленения его тросом 15 через вращающиеся блоки 16 с желобом первого транспортера. При этом мощность электропривода пер-

вого транспортера (рассчитанная лишь на один транспортер) не увеличена, так используется для совершения колебаний второго желоба реактивная энергия пружин вибропривода первого транспортера.

Следует отметить, что примерно одинаковой производительности выпускает оборудование для термической обработки зерна сои с инфракрасным ее нагревом производственная компания «Старт», ООО, Московская область, г. Долгопрудный. В комплект входит агрегат охлаждения зерна, стоимость которого составляет 574 тыс. руб. С учетом стоимости дозатора, необходимого для согласования потока зерна суммарная стоимость системы охлаждения составит 639 тыс. руб. В тоже время стоимость предлагаемой системы охлаждения темперированной сои на базе бесприводного транспортера составляет в пределах 120-150 тыс. руб., что в 4 раза дешевле, чем серийно выпускаемое оборудование для охлаждения зерна.

Заключение. Разработана малозатратная, простая в изготовлении и надежная в работе система охлаждения темперированной сои, которая может использоваться в комплекте с технологическим оборудованием для комбинированного ее нагрева.

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. Оценка энергетической эффективности применения комбинированного нагрева зерна сои / А.М. Шувалов, А.Н. Машков, В.Ф. Калинин, Д.С. Чернов // Вестник ВИЭСХ. –2015. –№2 (19). – С. 52–56.

3. Шувалов, А.М. Экспериментальное определение оптимального соотношения тепловых потоков при комбинированном нагреве зерна сои. / А.М. Шувалов, А.Н. Машков, Д.С. Чернов, Н.А. Вотановская, Г.М. Шулаев. // Вестник ВИЭСХ. –2015. –№2 (19). – С.46–51.

4. Шувалов, А.М. Исследование качественных показателей зерна сои в процессе термообработки / А.М. Шувалов, А.Н. Машков, Н.А. Вотановская, Г.М. Шулаев, Д.С. Чернов. // Наука в центральной России. –2015. –№1 (13). – С. 12–18.

5. Шувалов, А.М. Теоретический анализ тепловых процессов в системе энергообеспечения с комбинированным нагревом зерна сои / А.М. Шувалов, А.Н. Машков, Д.С. Чернов, Г.М. Шулаев, Н.А. Вотановская // Наука в центральной России. –2015. –№2 (14). – С. 12–21.

6. Шувалов, А.М. Обоснование исходной влажности зерна сои перед термической обработкой / А.М. Шувалов, Н.А. Вотановская, Д.С. Чернов, Г.М. Шулаев, А.Н. Машков. // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2015. – Т.20. – №2. – С. 446–448.

7. Савельев А.В. Обоснование конструктивно-технологических параметров шахтного охладителя полножирной сои.: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.01: Челябинск – 2012.

8. Линия экструдирования и охлаждения сои. Оборудование для производства комбикормов. НПП «Экспро». URL:http:// www.eks-bio.ru

9. Фоминых, А.В., Охлаждение полножирной сои / А.В. Фоминых, Д.Н. Овчинников, С.В. Алексеев, А.В Савельев // Сельский механизатор. – 2011. – № 11. – С. 30-31.

10. Бледных, В.В. Методика расчета конструктивных и технлогических параметров шахтного охладителя полножирной, экструдированной сои / В.В. Бледных, А.В. Фоминых, А.В. Соловьев // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – №11. – С. 66-68.

References

1. Shuvalov, A.M. Perspektivy primenenija kombinirovannogo jelektronagreva zerna soi dlja udalenija antipitatel'nyh veshhestv / A.M. Shuvalov, D.S. Chernov, A.N. Mashkov, V.F. Kalinin // Vestnik VIJeSH. – 2014. – № 3 (16). – S. 75-77.

2. Shuvalov, A.M. Ocenka jenergeticheskoj jeffektivnosti primenenija kombinirovan-nogo nagreva zerna soi / A.M. Shuvalov, A.N. Mashkov, V.F. Kalinin, D.S. Chernov // Vest-nik VIJeSH. –2015. –№2 (19). – S. 52–56.

3. Shuvalov, A.M. Jeksperimental'noe opredelenie optimal'nogo sootnoshenija teplo-vyh potokov pri kombinirovannom nagreve zerna soi. / A.M. Shuvalov, A.N. Mashkov, D.S. Chernov, N.A. Votanovskaja, G.M. Shulaev. // Vestnik VIJeSH. –2015. –№2 (19). – S.46–51.

4. Shuvalov, A.M. Issledovanie kachestvennyh pokazatelej zerna soi v processe termo-obrabotki / A.M. Shuvalov, A.N. Mashkov, N.A. Votanovskaja, G.M. Shulaev, D.S. Chernov. // Nauka v central'noj Rossii. –2015. –№1 (13). – S. 12–18.

5. Shuvalov, A.M. Teoreticheskij analiz teplovyh processov v sisteme jenergoobespeche-nija s kombinirovannym nagrevom zerna soi / A.M. Shuvalov, A.N. Mashkov, D.S. Chernov, G.M. Shulaev, N.A. Votanovskaja // Nauka v central'noj Rossii. –2015. –№2 (14). – S. 12–21.

6. Shuvalov, A.M. Obosnovanie ishodnoj vlazhnosti zerna soi pered termicheskoj obra-botkoj / A.M. Shuvalov, N.A. Votanovskaja, D.S. Chernov, G.M. Shulaev, A.N. Mashkov. // Vest-nik Tambovskogo universiteta. Serija: Estestvennye i tehnicheskie nauki. – 2015. – T.20. – №2. – S. 446–448.

7. Savel'ev A.V. Obosnovanie konstruktivno-tehnologicheskih parametrov shahtnogo ohladitelja polnozhirnoj soi.: avtoref. diss. ... kand. tehn. nauk: 05.20.01: Cheljabinsk – 2012.

8. Linija jekstrudirovanija i ohlazhdenija soi. Oborudovanie dlja proizvodstva kombi-kormov. NPP «Jekspro». URL:http:// www.eks-bio.ru

9. Fominyh, A.V., Ohlazhdenie polnozhirnoj soi / A.V. Fominyh, D.N. Ovchinnikov, S.V. Alekseev, A.V Savel'ev // Sel'skij mehanizator. – 2011. – № 11. – S. 30-31.

10. Blednyh, V.V. Metodika rascheta konstruktivnyh i tehnlogicheskih parametrov shahtnogo ohladitelja polnozhirnoj, jekstrudirovannoj soi / V.V. Blednyh, A.V. Fominyh, A.V. Solov'ev // Dostizhenija nauki i tehniki APK. – 2011. – №11. – S. 66-68.

УДК 631.017.3: 621.181

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УСТАНОВКИ С КОМБИНИРОВАННЫМ НАГРЕВОМ СОИ

Машков Алексей Николаевич,
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, E-mail: vniiti@mail.ru
Шувалов Анатолий Михайлович,
доктор технических наук, профессор, E-mail: vniiti@mail.ru
ФГБНУ «Всероссийский научно- исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов, Российская Федерация

Реферат. *Известно, что среди общеизвестных способов снижения антипитательных веществ в сое, самым распространенным и эффективным является термическая обработка. Изучено влияние комбинированного нагрева (сверху ИК-излучателями, снизу электронагревательной поверхностью транспортирующего устройства) на питательные свойства сои. Обоснованы параметры и изготовлен экспериментальный действующий образец установки для комбинированной термической обработки сои производительностью 240 кг/ч. Установка состоит из электронагревательной поверхности вибрационного транспортера, загрузочного бункера, шкафа управления, источников инфракрасного излучения, теплоизолированного бункера для темперирования. Выявлены достоинства комбинированного нагрева: высокая равномерность прогрева по всему объему зерна (±3°С), снижение величины конечной температуры нагрева на 10-20 °С, сокращение времени нагрева в 1,4 раза. Сокращение времени нагрева за счет перераспределения тепловых потоков до заданной температуры зерна сои, приводит к увеличению производительности установки в этой же пропорции. Снижение верхнего предела допустимой температуры нагрева сои и сокращение времени нагрева позволяет экономить при комбинированном нагреве 29,3 % электроэнергии. Сравнительная технико-экономическая оценка показала при одинаковых единовременных затратах на установки снижение эксплуатационных затрат от применения системы энергообеспечения процесса термической обработки сои с комбинированным нагревом составляет по сравнению с серийно выпускаемой УТЗ-4М 28 %., срок окупаемости – 0,4 года.*

Ключевые слова: *соя, термическая обработка, комбинированный нагрев, экономическая эффективность.*

TECHNICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF APPLICATION OF INSTALLATION WITH THE COMBINED SOY HEATING

Mashkov Alexey,
Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, E-mail: vniiti@mail.ru
Shuvalov Anatoliy,
Full Doctor of Technical Sciences, professor, laboratory chief, E-mail: vniiti@mail.ru

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

Abstract. *It is known that among the generally known ways to reduce anti-nutrients in soy, the most common and effective is heat treatment. The effect of combined heating (from above with infrared radiators, from below the electric heating surface of the transport device) on the nutritional properties of soybean has been studied. The parameters are justified, the experimental operating sample of the unit, with a capacity of 240 kg / h, is made for combined heat treatment of soybean. The installation consists of an electric heating surface of a vibrating conveyor, a loading hopper, a control cabinet, sources of infrared radiation, a thermally insulated hopper for tempering. Advantages of combined heating were revealed: high uniformity of grain heating throughout the whole volume (± 3 ° C), reduction of the final heating temperature by 10-20 ° C, reduction of the heating time by 1.4 times. Reducing the heating time due to the redistribution of heat flows to a given soybean grain temperature leads to an increase in the capacity of the installation in the same proportion. Reducing the upper limit of the permissible temperature of soybean heating and shortening the heating time makes it possible to save 29.3% of the electric power when combined heating. A comparative technical and economic assessment showed a reduction in operating costs from the use of the power supply system for the heat treatment of soybean with combined heating, compared to the mass-produced UTZ-4M of 28%, a payback period of 0.4 years with the same one-time installation costs.*

Keywords: *soy, heat treatment, the combined heating, economic efficiency.*

Введение. За последние 10 лет соя показала себя ведущей сельскохозяйственной культурой в растениеводстве России. Выступая на совещании в г. Благовещенске в 2017 году Президент В.В. Путин отметил: «… российская соя – самая лучшая соя в мире, потому что она не генномодифицированная, натуральная, такой в мире практически уже не осталось нигде, кроме России» [1].

Согласно многочисленным исследованиям соевое зерно является высокоэффективным кормовым продуктом. Оно богато белком, незаменимыми аминокислотами, витаминами и энергией, но содержит антипитательные вещества, которые сильно снижают его поедаемость животными. Общеизвестны способы снижения в сое антипитательных веществ, самым распространенным и эффективным является термическая обработка зерна сои.

Сотрудниками ВНИИТиН теоретически и экспериментально обоснована перспективность применения системы энергообеспечения процесса термической обработки сои с комбинированным ее нагревом: сверху инфракрасными излучателями, снизу – электронагревательными элементами с передачей теплоты через теплопроводный желоб вибрационного транспортера [2]. Обоснованы ее энергетические и режимные параметры [3-5]. Проведен расчет конструктивных параметров, разработаны эскизные чертежи, создан действующий образец установки для термической обработки сои на базе вибрационного транспортера. В результате многофакторных экспериментов получено уравнение регрессии, устанавливающее взаимосвязь режимных параметров термической обработки сои: исходной влажности сои, времени разогрева и времени выдержки в температоре, а так же получено уравнение регрессии, описывающее взаимосвязь параметров вибрационного транспортера: частоты колебаний, угла наклона и амплитуды колебаний [6,7]. Составлено уравнение теплового баланса, определен требуемый тепловой поток установки для термической обработки сои. Разработана методика расчета конструктивных параметров температора – специального термоизолирующего бункера для отстоя разогретой сои. Обоснованы параметры рекуператора для отбора теплоты в температоре от нагретой до 120-130 °С сои. Проведены экспериментальные ис-

следования и обоснован коэффициент теплоотдачи от нагретой и увлажненной сои к стенке теплообменника.

На основе результатов исследований был создан действующий образец установки для термической обработки сои с комбинированной системой энергообеспечения процесса нагрева зерна (рисунок 1).

Рисунок 1 – Общий вид установки с комбинированным нагревом зерна сои

Ее достоинства: за счет перераспределения тепловых потоков сокращается в 1,4 раза нагрев до заданной температуры зерна сои, в этой же пропорции увеличивается производительность установки. Двухсторонний нагрев позволяет равномерно прогревать весь объем зерна, что повышает качество обработки. Снижается верхний предел допустимой температуры нагрева сои, вместо 140 °С ее достаточно нагревать до 120…130 °С. Это снижение, а так же сокращение времени нагрева позволяет экономить 29,3 % электроэнергии. При сравнительной технико-экономической оценке в качестве базового варианта широко распространенная серийно выпускаемая установка УТЗ-4М (установка термообработки зерна).

Результаты и их обсуждение. Исследования и расчеты показали, что при одной и той же мощности систем энергообеспечения (P=33 кВт) за счет двухстороннего нагрева производительность установки с комбинированным нагревом $m^{к}$=283 кг/ч, а производительность УТЗ-4М только при инфракрасном нагреве (некомбинированном нагреве) составляет $m^{н}$=186 кг/ч. Так как расход электроэнергии за 1 час равен мощности $W=P$, то удельные затраты электроэнергии на термообработку составит:

для установки с комбинированным нагревом $\omega^{к} = \frac{W}{m^{к}} = 0,12$ кВт·ч/кг

для установки с инфракрасным нагревом $\omega^{н} = \frac{W}{m^{н}} = 0,177$ кВт·ч/кг

При трехсменной работе на установке с комбинированным обогревом можно обработать $m_{г}$=1578000 кг.

Тогда годовой расход электроэнергии составит

$$Э_{г}^{к} = m_{г} \cdot \omega^{к} = 189360 \text{ кВт·ч}$$

Если же такое количество зерна сои обработать на установке с некомбинированным нагревом, то годовой расход электроэнергии составит

$$Э_{г}^{н} = m_{г} \cdot \omega^{н} = 279306 \text{ кВт·ч}$$

Для экономической оценки эффективности применения установки термообработки с комбинированным нагревом определим годовые затраты на оплату за электроэнергию при комбинированном нагреве:

$$З_{э}^{к} = 189360 \cdot 5 = 946300 \text{ руб.}$$

При некомбинированном нагреве

$$З_{Э}^{н} = 279306 \cdot 5 = 1396530 \text{ руб.}$$

Для расчета годового экономического эффекта необходимо определить капитальные вложения в сравниваемых вариантах.

Для реализации комбинированного нагрева необходимо приобрести и смонтировать 12 штук ТЭНов. В тоже время в новой установке уменьшается количество ИК-излучателей. Приняв стоимость ИК-излучателей равной стоимости ТЭНов и стоимость вибрационного транспортера равной стоимости транспортера установки УТЗ-4М, будем считать капитальные вложения в обоих случаях одинаковыми. По данным ООО «Старт» - производителя УТЗ-4М минимальная цена установки равна 380 тыс.руб.

С учетом монтажа и транспортных расходов капитальные вложения составят:

$$K = 380 \cdot 1,3 = 494 \text{ тыс. руб.}$$

Так как производительность установок при комбинированном и некомбинированном нагревах различная, определим затраты труда в каждом варианте. Всю технологическую линию термической обработки зерна сои, включая загрузку, увлажнение, термическую обработку, темперирование, охлаждение и выгрузку, обслуживают два оператора.

При трехсменной работе за 250 рабочих дней в году трудозатраты при некомбинированном нагреве составят:

$$\tau^{н} = 250 \cdot 2 \cdot 24 = 12000 \text{ ч.}$$

При комбинированном нагреве время обработки в 1,4 раза меньше, тогда

$$\tau^{к} = 12000 / 1,4 = 8571 \text{ ч.}$$

Определим часовую тарифную ставку рабочего.

Если среднемесячная зарплата рабочего составляет 30000 руб, то с налогами и начислениями оплата труда составит:

$$З_{мес} = 41700 \text{ руб.}$$

В одном месяце 22 рабочих дня по 8 часов, что составляет 176ч.

Часовая ставка $З^{1} = \dfrac{41700}{176} = 236$ руб.

Оплата труда рабочих за год при некомбинированном нагреве составляет:

$$З_{отр}^{н} = 12000 \cdot 236 = 2832000 \text{ руб.}$$

Оплата труда при комбинированном нагреве:

$$З_{отр}^{к} = 8571 \cdot 236 = 2022756 \text{ руб.}$$

Эксплуатационные расходы:

$$З_{Э} = З_{А} + З_{то} + З_{эл} + З_{от} + З_{пр},$$

где $З_А$ – амортизационные отчисления, руб.; $З_{то}$ – затраты на техническое обслуживание и ремонт, руб.; $З_{пр}$ – прочие расходы, руб.

$$З_{А} = K \cdot A$$

где A=0,142 – коэффициент амортизационных отчислений.

$$З_{А} = 494000 \cdot 0,142 = 70148 \text{ руб.}$$

Затраты на техническое обслуживание и ремонт:

$$З_{то} = K \cdot (R_{т} + R_{о}) = 494000 \cdot (0,07 + 0,035) = 51870 \text{ руб,}$$

где $R_т$=0,07 – коэффициент отчислений на текущий ремонт; R_0=0.035 – коэффициент отчислений на техническое обслуживание.

Следует отметить, что если капвложения в сравниваемых вариантах одинаковые, то амортизационные отчисления и отчисления на техническое обслуживание и ремонт в сравниваемых вариантах тоже одинаковые.

Эксплуатационные расходы при комбинированном нагреве:

$$З_э^к = 70148 + 51870 + 946800 + 2022756 + 24700 = 3116274 \text{ руб.}$$

Эксплуатационные расходы при некомбинированном нагреве:

$$З_э^н = 70148 + 51870 + 1396530 + 283200 + 24700 = 4375248 \text{ руб.}$$

Следовательно, снижение эксплуатационных затрат от применения системы энергообеспечения процесса термической обработки сои с комбинированным нагревом составляет по сравнению с серийно выпускаемой УТЗ-4М ~ 28 %.

Приведенные затраты определяются по формуле:

$$П = З_э + 0,15K$$

При комбинированном нагреве:

$$П^к = 3116274 + 0,15 \cdot 494000 = 3190374 \text{ руб.}$$

При некомбинированном нагреве:

$$П^н = 4375248 + 74100 = 4449348 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект:

$$Г_э = П^н - П^к = 4449348 - 3190374 = 1258974 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости капитальных вложений:

$$T_{ок} = \frac{K_н}{З_э^н - З_э^к},$$

где $K_н$ – единовременные капитальные вложения по новому варианту.

$$T_{ок} = \frac{494000}{4375248 - 3116274} = 0,392 \approx 0,4 \text{ года.}$$

Таблица 1 – Экономическая эффективность

Показатель	Ед. изм.	Базовый вариант (некомбинированный)	Новый Вариант (комбинированный)
Единовременные вложения	руб.	494000	494000
Эксплуатационные расходы в том числе:	руб.	4449348	3190374
амортизация	руб.	70148	
ремонт и ТО	руб.	51870	
электроэнергия	руб.	1396530	946800
оплата труда	руб.	2832000	2022756
Приведенные затраты	руб.	4449348	3190374
Годовой экономический эффект	руб.	—	1258974
Срок окупаемости новой установки	год	—	0,4

Заключение. Годовой экономический эффект от применения системы энергообеспечения процесса термической обработки сои с комбинированным нагревом составляет по сравнению с серийно выпускаемой УТЗ-4М – 1258974, руб., срок окупаемости – 0,4 года.

Список литературы

1. Сборник статей по материалам научно-практической конференции (с международным участием), посвященной 105-летию со дня рождения селекционера, Заслуженного агронома РФ, ветерана труда Т.П. Рязанцевой. Современные технологии производства и переработки сельскохозяйственных культур. – 2 ч. – 2017. – С. 21

2. 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.

3. Шувалов, А.М. Оценка энергетической эффективности применения комбинированного нагрева зерна сои / А.М. Шувалов, А.Н. Машков, В.Ф. Калинин, Д.С. Чернов // Вестник ВИЭСХ. –2015. –№2 (19). – С. 52–56.

4. Шувалов, А.М. Теоретический анализ тепловых процессов в системе энергообеспечения с комбинированным нагревом зерна сои / А.М. Шувалов, А.Н. Машков, Д.С. Чернов, Г.М. Шулаев, Н.А. Вотановская // Наука в центральной России. –2015. –№2 (14). – С. 12–21.4. Шувалов, А.М. Экспериментальное определение оптимального соотношения тепловых потоков при комбинированном нагреве зерна сои. / А.М. Шувалов, А.Н. Машков, Д.С. Чернов, Н.А. Вотановская, Г.М. Шулаев. // Вестник ВИЭСХ. –2015. –№2 (19). – С.46–51.

5. Шувалов, А.М. Исследование качественных показателей зерна сои в процессе термообработки / А.М. Шувалов, А.Н. Машков, Н.А. Вотановская, Г.М. Шулаев, Д.С. Чернов. // Наука в центральной России. –2015. –№1 (13). – С. 12–18.

6. Шувалов, А.М. Обоснование исходной влажности зерна сои перед термической обработкой / А.М. Шувалов, Н.А. Вотановская, Д.С. Чернов, Г.М. Шулаев, А.Н. Машков. // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2015. – Т.20. – №2. – С. 446–448.

References

1. Sbornik statej po materialam nauchno-prakticheskoj konferencii (s mezhdunarod-nym uchastiem), posvjashhennoj 105-letiju so dnja rozhdenija selekcionera, Zasluzhennogo agro-noma RF, veterana truda T.P. Rjazancevoj. Sovremennye tehnologii proizvodstva i perera-botki sel'sko-hozjajstvennyh kul'tur. – 2 ch. – 2017. – S. 21

2. Shuvalov, A.M. Perspektivy primenenija kombinirovannogo jelektronagreva zerna soi dlja udalenija antipitatel'nyh veshhestv / A.M. Shuvalov, D.S. Chernov, A.N. Mashkov, V.F. Kalinin // Vestnik VIJeSH. – 2014. – № 3 (16). – S. 75-77.

3. Shuvalov, A.M. Ocenka jenergeticheskoj jeffektivnosti primenenija kombinirovan-nogo nagreva zerna soi / A.M. Shuvalov, A.N. Mashkov, V.F. Kalinin, D.S. Chernov // Vest-nik VIJeSH. –2015. –№2 (19). – S. 52–56.

4. Shuvalov, A.M. Teoreticheskij analiz teplovyh processov v sisteme jenergoobespeche-nija s kombinirovannym nagrevom zerna soi / A.M. Shuvalov, A.N. Mashkov, D.S. Chernov, G.M. Shulaev, N.A. Votanovskaja // Nauka v central'noj Rossii. –2015. –№2 (14). – S. 12–21.4. Shuvalov, A.M. Jeksperimental'noe opredelenie optimal'nogo sootnoshenija teplovyh potokov pri kombinirovannom nagreve zerna soi. / A.M. Shuvalov, A.N. Mashkov, D.S. Cher-nov, N.A. Votanovskaja, G.M. Shulaev. // Vestnik VIJeSH. –2015. –№2 (19). – S.46–51.

5. Shuvalov, A.M. Issledovanie kachestvennyh pokazatelej zerna soi v processe termo-obrabotki / A.M. Shuvalov, A.N. Mashkov, N.A. Votanovskaja, G.M. Shulaev, D.S. Chernov. // Nauka v central'noj Rossii. –2015. –№1 (13). – S. 12–18.

6. Shuvalov, A.M. Obosnovanie ishodnoj vlazhnosti zerna soi pered termicheskoj obra-botkoj / A.M. Shuvalov, N.A. Votanovskaja, D.S. Chernov, G.M. Shulaev, A.N. Mashkov. // Vest-nik Tambovskogo universiteta. Serija: Estestvennye i tehnicheskie nauki. – 2015. – T.20. – №2. – S. 446–448.

УДК 621.899

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ТРЕНИЯ ПРИРАБАТЫВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ

Остриков Валерий Васильевич,
доктор технических наук, заведующий лабораторией, e-mail: viitinlab8@bk.ru
Афанасьев Дмитрий Игоревич,
младший научный сотрудник, e-mail: viitinlab8@bk.ru

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

Реферат. *Приработочное масло в процессе обкатки отремонтированных двигателей тракторов работает в условиях высоких нагрузок и температур, при этом на поверхностях трения происходит физические и химические процессы с изменением свойств металлов и смазочного масла. Для описания происходящих процессов, предложено уравнение теплового баланса, учитывающее теплоту, выделяемую при трении, теплоту, отводимую маслом, теплоту химической реакции, протекающей в приработочном масле и энергию разрушения трущихся поверхностей. Предложено в равенство для определения механической работы деформации слоёв металла ввести параметр твёрдости материала при холодной и горячей обкатке под действием специальных добавок. После математических преобразований получено выражение, описывающее энергию разрушения трущихся поверхностей. Установлено, что теплота, выделяемая при трении, в определённой степени зависит от чистоты работающего масла. Определено, что теплота химической реакции в масле на поверхности трения зависит от концентрации поверхностно-активных веществ в приработочном масле и содержания противоизносной присадки. На основании полученных зависимостей и известных характеристик работы двигателя, решая квадратичное уравнение, получена формула для определения износа для пары трения шейка коленчатого вала – вкладыш. Полученные выражения характеризуют механо-химические процессы, происходящие на поверхности трения при обкатке двигателя внутреннего сгорания, могут описывать не только износ, но и в первом приближении процесс старения приработочного масла. В целом теоретический анализ позволяет сформулировать представления об изменениях свойств приработочного масла, повышающем как эффективность обкатки, так и продление сроков службы отремонтированной техники.*

Ключевые слова: *приработочное масло; теплота; твёрдость; износ; химическая реакция; присадка; износ.*

THEORETICAL ANALYSIS OF THE PHYSICO-CHEMICAL PROCESSES OCCURRING ON THE FRICTION SURFACES OF RESEATING ENGINE PARTS

Ostrikov Valery,
Full Doctor of Technical Sciences, Head of Laboratory, e-mail: viitinlab8@bk.ru
Afanasyev Dmitry,
junior researcher, e-mail: viitinlab8@bk.ru

Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture", Tambov

Abstract. *Raw oil in the process of running out of repaired engines of tractors operates under conditions of high loads and temperatures, while on the friction surfaces physical and chemical processes occur with the change in the properties of metals and lubricating oil. The heat balance equation, taking into account the heat released during friction, the heat removed by the oil, the heat of the chemical reaction flowing in reseating oil, and the energy of the friction of the friction surfaces, was proposed to describe the processes occurring. The parameter of the hardness of the material during cold and hot running-in under the action of special additives is proposed to be introduced into the equation to determine the mechanical work of deformation of the metal layers. An expression describing the energy of destruction of rubbing surfaces was obtained after mathematical transformations. It is established that the heat released during friction depends to a certain extent on the purity of the operating oil. It is determined that the heat of the chemical reaction in the oil on the friction surface depends on the concentration of surfactants in the run-in oil and the content of the anti wear additive. The formula for determining wear for the friction pair of the crankshaft neck-the liner is derived from the dependences obtained and the known characteristics of the engine's operation when solving the quadratic equation. The obtained expressions characterize the mechanochemical processes occurring on the friction surface during the running-in of the internal combustion engine, can describe not only the wear, but also, in the first approximation, the aging process of reseating oil. In general, theoretical analysis allows us to formulate ideas about changes in the properties of oil for work, which increases both the efficiency of running-in and the extension of the service life of the repaired equipment.*

Keywords: *running oil; heat; hardness; wear; chemical reaction; additive; wear.*

Введение. Появление новых трибопрепаратов, присадок и добавок к маслам требуют расширения знаний и объяснения процессов, происходящих на поверхностях трения.

Приработочные масла, используемые в процессе обкатки отремонтированных тракторов, работают в особо жёстких условиях трения. Особенности процесса приработки отремонтированных деталей обусловлены прежде всего, качеством ремонта и свойствами используемого масла [1].

Как известно, состав приработочного масла несколько отличается от обычных моторных масел присутствием специальных присадок и добавок, выполняющих специфические функ-

ции. При этом на поверхностях трения происходят физические и химические процессы, связанные с изменением механо-химической структуры металлов и свойств масла [1].

Результаты и обсуждение. В соответствии с теорией Гаркунова Д.Н., Крагельского Н.В., Костецкого Б.И., тепловые процессы рассматриваются как генерация тепла с образованием вторичных веществ, находящихся во фрикционном взаимодействии [2, 3, 4].

Одним из важнейших прирабатываемых сопряжений после проведения ремонта, является коленчатый вал-вкладыш.

Уравнение теплового баланса для данной пары трения в соответствии с теорией термодинамики, можно представить следующей формулой:

$$Q = q_{тр.} + q_{хр.} - q_{ом} + \varepsilon_{рт.}, \quad (1)$$

где, $q_{тр.}$ – теплота, выделяемая при трении, кДж; $q_{ом}$ – теплота, отводимая из зоны трения приработочным маслом, кДж; $q_{хр}$ – теплота химической реакции, протекающей в приработочном масле при трении, кДж; $\varepsilon_{рт.}$ - энергия разрушения (изменения структуры, прочности) трущихся поверхностей, кДж.

Энергия разрушения трущихся поверхностей в соответствии с известной теорией скольжения [5] описывается формулой:

$$\varepsilon_{рт} = \frac{1}{2} W_s, \quad (2)$$

где W_s – механическая работа деформации слоёв металла, кДж.

$$W_s = \frac{\sigma^2 \cdot \Delta V}{E}, \quad (3)$$

где σ – предел упругости материала при сдвиге, скольжений, Па; E – модуль Юнга, Па; ΔV - изменение объёма материала при разрушении, м^3.

В силу того, что прочность материала зависит от его твёрдости (для наших условий твёрдость уменьшается под действием температуры и химического компонента, «размягчающего» металл); то с учётом данного эффекта в процессе износа деталей КШМ, введём в формулу (3) параметр твёрдости при нормальной температуре (холодной обкатки) и высокой температуре (горячей обкатки) – когда твёрдость уменьшается на поверхности под действием температуры и добавок, входящих в состав некоторых приработочных масел:

$$W_s = \frac{\sigma^2 \cdot \Delta V \cdot HB\ (t, k)}{E \cdot HB_{хо}}, \quad (4)$$

где, $HB_{хо}$ – твёрдость металла при нормальной температуре холодной обкатки, НВ; $HB\ (t, k)$ – твёрдость металла при высокой температуре трения и действия химдобавки, НВ.

Заменив отношение твёрдостей в уравнении (4) на коэффициент твёрдости h_T, получим:

$$W_s = \frac{\sigma^2 \cdot \Delta V}{E \cdot h_T} \quad (5)$$

Изменение объёма материала при трении зависит от времени процесса обкатки:

$$\frac{\Delta V}{T_0} = 3600 \cdot \upsilon \cdot S_T, \quad (6)$$

где, T_o – время обкатки двигателя, за которое происходит износ, час; υ - скорость движения трущихся деталей, которую принимают равной частоте вращения коленчатого вала (КВ) $\omega_{кв}$, с$^{-1}$; S_T - площадь трения, м^2.

Площадь трения S_T составляет:

$$S_T = \pi \cdot (i \cdot D_{KB}^{ш} + i^2), \quad (7)$$

где i – суммарный износ поверхностей КВ, м; $D_{KB}^{ш}$ – диаметр шейки или поверхности трения КВ, м.

В соответствии с чем, ΔV будет равно:

$$\Delta V = 3600 \cdot T_0 \cdot \pi \cdot (D_{KB}^{ш} \cdot i + i^2), \quad (8)$$

Тогда:

$$W_S = \frac{3600 \cdot \sigma^2 \cdot \pi \cdot T_0 \cdot \omega_{KB} \cdot (i \cdot D_{KB}^{ш} + i^2)}{E \cdot h_T} \quad (9)$$

Энергия разрушения трущихся поверхностей:

$$W_S = \frac{5655 \cdot \sigma^2 \cdot T_0 \cdot \omega_{KB} \cdot (i \cdot D_{KB}^{ш} + i^2)}{E \cdot h_T} \quad (10)$$

Как известно, в процессе работы масла, в нём накапливаются механические примеси M от времени работы T (рисунок 1, линия 1).

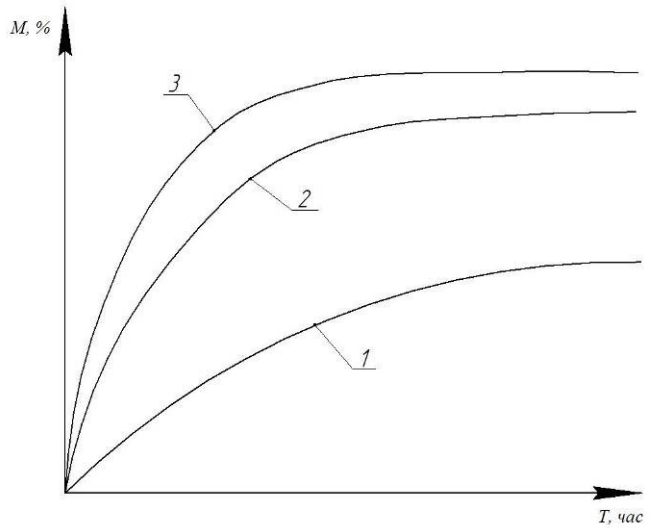


Рисунок 1 – Зависимость накопления продуктов износа в масле от времени работы ДВС

При проведении операции обкатки отремонтированного двигателя, содержание примесей увеличивается более интенсивно (рисунок 1, линия 2), чем в обычных условиях работы моторного масла.

А при добавлении в приработочное масло «абразивных материалов», способствующих интенсификации процесса выравнивания микровыступов (линия 3), содержание примесей возрастает значительно. При этом, из теории очистки моторных масел в двигателях тракто-

ров, известно, что механические примеси удаляются встроенными в систему смазки центрифугами, от эффективности работы которых, зависит износ деталей ЦПГ [6].

Тогда условно можно считать, что теплота, выделяемая при трении $q_{тр.}$ в определённой степени зависит от эффективности процесса очистки масла центрифугами, встроенными в ДВС, на основании чего, принимается решение о введении поправочного коэффициента, характеризующего эффективность очистки масла центрифугами $K_ц$, равного 0,2. Данное значение коэффициента принимается исходя из того, что известные конструкции центрифуг позволяют удалять или отсеивать 80 % механических примесей [6, 7]. На основании данного условия $q_{тр.}$ может быть уменьшено с учётом $K_ц$.

Следующей составляющей, входящей в уравнение теплового баланса, является теплота химической реакции в масле $q_{хр.}$, которая может быть определена с учётом уравнения Вант-Гоффа [8]:

$$q_{хр} = R \cdot t_T \cdot V_M \cdot (\ln C - \ln K_P), \quad (11)$$

где, R – универсальная газовая постоянная, K = 8,314 кДЖ/(кмоль · К); C – концентрация поверхностно-активных веществ, кмоль/м^3; K_p – константа химического равновесия, кмоль/м^3; V_M – объёмная подача масла в зону трения, м^3/с; t_T – температура масла в зоне трения, К.

Тогда:

$$q_{хр} = 3600 \cdot t_0 \cdot t_T \cdot V_M \cdot (\ln C_i - \ln K_{pi}), \quad (12)$$

где C_i – остаточное содержание противоизносной присадки в составе приработочного масла, кмоль/м^3.

Исходя из того, что в зависимости от времени работы масла в двигателе происходит срабатывание присадок, ПАВ, C_i будет изменяться:

$$C_i = C_{ММО} \cdot \exp(K_{СП} \cdot T_0), \quad (13)$$

где, $K_{СП}$ – константа скорости срабатывания присадки, принимаем равной 0,001 – 0,002 час$^{-1}$.

В результате приработки деталей в процессе обкатки двигателя, вырабатываемое на поверхности трения тепло, уносимое смазочным приработочным маслом $q_{ОМ}$, может быть определено по формуле:

$$q_{ом} = 3600 \cdot C_M \cdot \rho_M \cdot V_M \cdot T_0 \cdot (t_T - t_k), \quad (14)$$

где, C_M – теплоёмкость масла, кДж/(кг · К); $\rho_м$ – плотность масла, кг/м^3; t_k – температура масла в картере двигателя, К; V_M – объёмная подача масла в зону трения, м^3/с.

На основании полученных зависимостей и известных характеристик работы двигателя, решая квадратичное уравнение, получим формулу для определения износа для пары трения шеек КВ – вкладыш:

$$i = -\frac{D^{ш}_{КВ}}{2} \cdot 0,5 \cdot \sqrt{D^{ш}_{КВ} + \frac{0,02 \cdot h_0 \cdot h_T \cdot E \cdot (L \cdot K_ф - q_M + q_x)}{\sigma^2 \cdot \omega \cdot T_{ОМ}}}, \quad (2.15)$$

где, $K_ф$ – коэффициент фильтруемости масла; L – величина работы трения.

$$L = 3600 \cdot N_{тр} \cdot T_0 \quad (2.16)$$

где, $N_{тр}$ – мощность трения, принимаемая равной максимальной мощности двигателя, кВт.

Заключение. Полученные выражения характеризуют механо-химические процессы, происходящие на поверхности трения при обкатке двигателя внутреннего сгорания и в принципе могут описывать не только износ, но и процесс старения приработочного масла.

Список литературы

1. Шаронов Г.П. применение присадок к маслам для ускорения приработки двигателей. М.: Химия. 1965. 222 с.

2. Гаркунов Д.Н. Триботехника. М.: Машиностроение, 1985. 402 с.

3. Крагельский Н.В. и др. Трение, изнашивание и смазка. М.: Машиностроение, 1978. 400 с.

4. Краснов К.С. и др. Физическая химия. Строение вещества. Термодинамика. Кн. 1. М.: высшая школа, 1995. 512 с.

5. Браук Э.Д., Евдокимов Ю.А., Чичинадзе А.В. Моделирование трения и изнашивания в машинах. М.: Машиностроение, 1982. 191 с.

6. Григорьев М.А. Очистка масла и топлива в двигателях внутреннего сгорания. М.: Машиностроение, 1970. 217 с.

7. Григорьев М.А. Очистка масла и топлива в автотракторных двигателях. М. Машиностроение, 1983. 148 с.

8. Салмин В.В. Улучшение эксплуатационных показателей автотракторных двигателей совершенствованием триботехнических и гидро-термодинамических процессов в смазочных системах. Диссертация доктора технических наук. Саранск, 2003. 475 с.

References

1. Sharonov G.P. primenenie prisadok k maslam dlya uskoreniya prirabotki dvigateley. M.: Himiya. 1965. 222 s.

2. Garkunov D.N. Tribotehnika. M.: Mashinostroenie, 1985. 402 s.

3. Kragelskiy N.V. i dr. Trenie, iznashivanie i smazka. M.: Mashinostroenie, 1978. 400 s.

4. Krasnov K.S. i dr. Fizicheskaya himiya. Stroenie veschestva. Termodinamika. Kn. 1. M.: vyisshaya shkola, 1995. 512 s.

5. Brauk E.D., Evdokimov Yu.A., Chichinadze A.V. Modelirovanie treniya i iznashivaniya v mashinah. M.: Mashinostroenie, 1982. 191 s.

6. Grigorev M.A. Ochistka masla i topliva v dvigatelyah vnutrennego sgoraniya. M.: Mashinostroenie, 1970. 217 s.

7. Grigorev M.A. Ochistka masla i topliva v avtotraktornyih dvigatelyah. M. Mashinostroenie, 1983. 148 s.

8. Salmin V.V. Uluchshenie ekspluatatsionnyih pokazateley avtotraktornyih dvigateley sovershenstvovaniem tribotehnicheskih i gidro-termodinamicheskih protsessov v smazochnyih sistemah. Dissertatsiya doktora tehnicheskih nauk. Saransk, 2003. 475 s.

УДК 621.899

ЭНТРОПИЯ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ПРИРАБОТОЧНОГО МАСЛА ДЛЯ ОБКАТКИ ОТРЕМОНТИРОВАННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАКТОРОВ

Остриков Валерий Васильевич,
доктор технических наук, заведующий лабораторией, e-mail: viitinlab8@bk.ru
Афанасьев Дмитрий Игоревич,
младший научный сотрудник, e-mail: viitinlab8@bk.ru

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

Реферат. *Рассмотрены некоторые процессы изменения свойств приработочного масла в двигателях внутреннего сгорания, с точки зрения энтропийной теории внутренней энергии системы, изменяющейся пропорционально скорости химических превращений в масле на поверхности трения. Приняты допущения, что под воздействием высоких температур в смазочном приработочном масле в процессе обкатки, происходит изменение основы и химического состава присадок, а процесс старения можно считать повторяющимся. Получена циклограмма работы приработочного масла в двигателе внутреннего сгорания, с учётом восстановления его свойств после обкатки. Определено, что одним из важнейших показателей, характеризующим процесс химических превращений в масле под действием высоких температур, является вязкость масла, взаимосвязанная с накоплением продуктов окисления. Получена теоретическая зависимость изменения относительной вязкости к относительному времени работы масла в отремонтированном двигателе внутреннего сгорания. Энтропия, сопровождаемая накоплением энергии, будет изменяться по экспоненциальной зависимости и может быть описана логарифмическим уравнением, связывающим время работы масла с энтропией. Предельное изменение энтропии характеризуется изотермическим процессом при усреднённой температуре масла и максимальной нагрузке. Полученные выражения с определённой точностью описывают процесс изменения свойств приработочного масла при обкатке отремонтированных двигателей тракторов и позволяют в первом приближении прогнозировать увеличение сроков службы масла за счёт периодического удаления примесей и внесения специальных добавок в масло. На основании данного подхода к рассмотрению процесса старения масла, разрабатывается технологический процесс использования приработочного масла, способного увеличить ресурс использования масла и отремонтированных двигателей тракторов.*

Ключевые слова: *приработочное масло; энтропия; двигатель; обкатка; цикл; вязкость; зависимость; энергия; прогнозируемое время.*

ENTROPY OF CHANGING IN PROPERTIES OF RESEATING OIL FOR RUNNING-IN OF REPAIRED ENGINES OF TRACTORS

Ostrikov Valery,
Full Doctor of Technical Sciences, Head of Laboratory, e-mail: viitinlab8@bk.ru
Afanasyev Dmitry,
junior researcher, e-mail: viitinlab8@bk.ru

Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture", Tambov

Abstract. *Some processes of changing the properties of reseating oil in the engine of internal combustion, from the point of view of the entropy theory of the internal energy of the system, which varies in proportion to the rate of chemical transformations in oil on the friction surface, are considered. Assumptions are accepted that, under the influence of high temperatures in the lubricating oil during run-in, the base and the chemical composition of the additives change, and the aging process can be considered as repetitive The cycle of running oil in the internal combustion engine, taking into account the restoration of its properties after running-in was obtained. It is determined that one of the most important indicators characterizing the process of chemical transformations in oil under the effect of high temperatures is the viscosity of the oil, which is interrelated with the accumulation of oxidation products. The theoretical dependence of the change in the relative viscosity to the relative time of oil operation in the repaired internal combustion engine was obtained. The entropy, accompanied by the accumulation of energy, will vary exponentially and can be described by a logarithmic equation relating the time of operation of the oil to entropy. The limiting change in entropy is characterized by an isothermal process with an average oil temperature and maximum load. The obtained expressions describe the process of changing the properties of the oil during the running-in of the repaired tractor engines with a certain accuracy and allow in the first approximation to predict an increase in the service life of the oil due to the periodic removal of impurities and the introduction of special additives in the oil. The technological process of using reseating oil for use, which can increase the resource of oil and repaired engines of tractors, is developed on the basis of this approach to consideration of the aging process of oil*

Keywords: *running oil; entropy; engine; break-in; cycle; viscosity; addiction; energy; predicted time.*

Ведение. Как известно, приработочное масло достаточно короткое время, по сравнению с моторным маслом, выполняет свои функции в двигателе. То есть, за короткий промежуток времени, приработочное масло подвергается незначительной термической полимеризации, однако в нём накапливаются продукты сгорания топлива, масла, смолы, асфальтены, примеси. Все эти изменения характеризуют необходимость определения сроков службы приработочного масла, используемого при обкатке отремонтированной сельскохозяйственной техники.

В настоящее время, не смотря на большое количество разработок, направленных на определение оптимальных сроков службы моторных масел, отсутствуют рациональные модели прогнозирования сроков использования приработочных масел. Несовершенство системы использования, прошедшего одноразовую обкатку в двигателе, приработочного масла, требует обоснования новых подходов к его дальнейшему применению на основании показателей фактического состояния.

Результаты и обсуждение. Ряд авторов [1, 2, 3], рассматривая теорию процесса старения масла, используют энтропию, полагая, что внутренняя энергия системы изменяется пропорционально скорости химических превращений в смазочном масле с точки зрения изменения содержания присадок, их состава и свойств.

Рассматривая энтропию как основополагающую составляющую процесса старения и изменения свойств приработочного масла, сделаем некоторые допущения:

1. Приработочное масло представляет собой углеводородную основу с присадками, при этом под действием высоких температур в нём происходит ряд химических превращений, изменяющих структуру основы и химический состав присадок и добавок.

2. Процесс старения приработочного масла является в определённой степени необратимым. В то же время, за счёт добавления некоторых компонентов и удаления сработавшейся части основы и присадок, масло можно считать частично отработанным, а процесс циклично повторяющимся.

Процесс работы приработочного масла на основе сделанных допущений, можно представить как совокупность последующих циклов (рисунок 1).

0 – 1 – изобарный процесс нагрева приработочного масла в период холодной обкатки двигателя (от момента начала прокручивания), когда температура масла равна температуре окружающей среды t_o до рабочей температуры t_1;

1 – 2 – изотермический процесс работы масла, когда температура масла изменяется в зависимости от увеличивающейся нагрузки и доходит до какого-то определённого предела;

2 – 3 – изотермический процесс, когда температура масла практически не повышается за счёт установившегося режима и работы системы охлаждения;

3 – 4 –изохорный процесс, когда масло после проведения операции обкатки сливается и охлаждается до определённой температуры;

4 – 5 – изотермический процесс воздействия на масло при его очистке от продуктов износа при постоянной температуре (по специальной технологии на установке для очистки масла);

5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10 – 11 – 12 – 13 – 14 – процессы, повторяющие 0 – 4 при проведении обкатки последующих двигателей на масле, после его очистки.

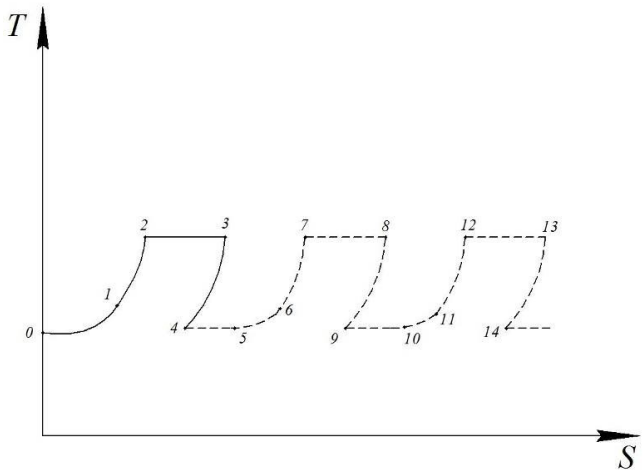


Рисунок 1 –Циклы работы приработочного масла в двигателях

Принятая трёхкратная цикличность, объясняется и ограничивается срабатыванием присадок и добавок в приработочном масле, что требует экспериментального подтверждения.

Изменение энтропии цикла будет определяться суммой изменения энтропии в каждом отдельном процессе, а общее изменение будет равно:

$$A_{si} = \sum_{i}^{n} \Delta A_{Si} \ (цикл \ ) \qquad (1)$$

где, ΔA_{Si} - изменение энтропии в *i* цикле, кДж/(кг · К).

Одним из показателей, характеризующим процесс старения масла, является вязкость масла, которая взаимосвязана с накоплением продуктов окисления углеводородной основы, образования смол и срабатывания присадок, добавок.

Для нашего цикла:

$$\nu_{M1} = \nu_{OM} \tag{2}$$

Для последующих циклов:

$$\nu_{M2} = \nu_{M1} \cdot \left(1 + 0,03 \cdot \left(\frac{T_{M(1-2)}}{24 \cdot n} \right)^{0,414} \right), \tag{3}$$

где, $T_{M(1-2)}$ – текущее время определения.

Весь процесс работы приработочного масла в ДВС за все циклы и этапы подчиняются степенной зависимости (рисунок 2).

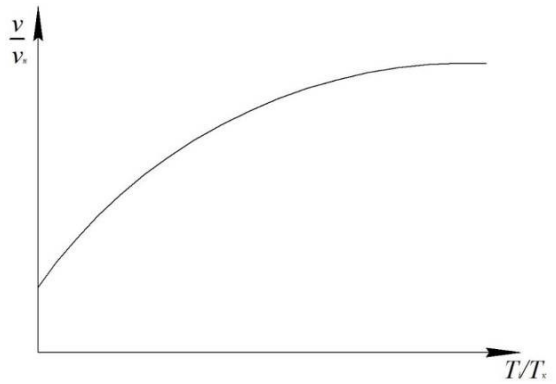


Рисунок 2 – Зависимость изменения относительной вязкости к относительному времени работы масла в ДВС

При этом энтропия сопровождаемая накоплением энергии, будет изменяться по экспоненциальной зависимости и может быть описана уравнением, связывающим время работы масла с энтропией:

$$T = -\frac{1}{\upsilon} \cdot \ln\left(1 - \frac{\Delta A_{Si}}{x \cdot \Delta A_{SP}} \right) \tag{4}$$

где, υ – коэффициент скорости срабатывания присадок, добавок ($\upsilon = 3 \cdot 10^{-3}$);

ΔA_{SP} - величина предельного изменения энтропии, когда дальнейшее использование приработочного масла нецелесообразно (кДж/кг · К); *x* – коэффициент, учитывающий работоспособность масла (принимаем в соответствии с результатами исследований по определению степени соответствия масла двигателю) [3].

Предельное изменение энтропии ΔA_{SP}, которое могло бы иметь приработочное масло в процессе всего периода использования, определим как изотермический процесс при усреднённой температуре масла и максимальной нагрузке:

$$\Delta A_{SP} = \frac{\Delta q_{xp}}{T_p} = \frac{\delta \cdot \varphi_x \cdot N \cdot T_{\text{ПП}} \cdot 3600}{\sigma_M \cdot T_P}, \tag{5}$$

где δ - коэффициент, учитывающий величину доли тепла, получаемой маслом [3] (принимаем равным 0,6); φ_x - коэффициент, учитывающий величину доли тепла, расходуемую на протекание химической реакции (φ_x = 0,015); $T_{ПП}$ – прогнозируемое время работы масла при максимальной мощности.

Заключение. На основании полученных выражений и зависимостей, возможно определить направления повышения эффективности использования приработочного масла в технологическом процессе обкатки отремонтированных двигателей тракторов.

Список литературы

1. Гуреев А.А., Фукс И.Г., Лашхи В.Л. Химмотология. М.: Химия, 1986. 368 с.

2. Серегин, Е.П. Химмотология и современность: достижения и проблемы // Химия и технология топлив и масел. № 11, 1992. С. 2-4.

3. Салмин, В.В. Математическая модель расчёта и прогнозирования срока службы моторных масел на основе энтропийной теории старения // Сборник научных трудов НТК С.-П. ГАУ, 2002. С. 159-169.

References

1. Gureev A.A., Fuks I.G., Lashhi V.L. Himmotologiya. M.: Himiya, 1986. 368 s.

2. Seregin, E.P. Himmotologiya i sovremennost: dostizheniya i problemyi // Himiya i tehnologiya topliv i masel. № 11, 1992. S. 2-4.

3. Salmin, V.V. Matematicheskaya model raschYota i prognozirovaniya sroka sluzhbyi motornyih masel na osnove entropiynoy teorii stareniya // Sbornik nauchnyih trudov NTK S.-P. GAU, 2002. S. 159-169.

УДК 532.55: 667.6

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ В НАПОРНОЙ МАГИСТРАЛИ ПРИ ТЕЧЕНИИ КОНСЕРВАЦИОННОЙ ЖИДКОСТИ

Петрашев Александр Иванович,
доктор технических наук, с.н.с., заведующий лабораторией,
e-mail: vitin-10.pet@mail.ru
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов

Реферат. *Известно, что производительность пневматического нанесения консервационной жидкости на рабочие органы сельскохозяйственных машин зависит от гидравлического сопротивления напорной магистрали. Рассмотрена напорная магистраль, включающая патрубок, обогреваемый шланг, соединительные штуцеры и пистолет-распылитель. Обоснованы теоретические зависимости для определения гидравлических потерь давления консервационной жидкости при течении из бака по каналам напорной магистрали. Экспериментальными исследованиями установлено, что оснащение обогреваемого шланга электрической спиралью увеличивает его гидравлическое сопротивление в 1,6 раза, при этом суммарные гидравлические потери давления в напорной магистрали возрастают на 27 %. Показано, что при ламинарном движении консервационной жидкости в напорной магистрали, значение произведения коэффициента гидравлического трения (λ) на число Рейноль-*

дса (Re) не зависит от расхода жидкости и равно: λRe = 71,4. Рассчитано распределение гидравлических потерь давления при движении консервационной жидкости в напорной магистрали: в шланге со спиралью – 71,5 %, в сопле пистолета-распылителя – 25 %, в штуцерах – 2,3 %, каналах пистолета – 1 %, патрубке – 0,2 %. На преодоление гидравлических сопротивлений в шланге со спиралью и в сопле пистолета-распылителя приходится 96,5 % потерь давления.

***Ключевые слова**: гидравлические потери, консервационная жидкость, напорная магистраль, обогреваемый шланг, пневматический пистолет-распылитель, расход, сельскохозяйственная машина.*

DISTRIBUTION OF HYDRAULIC LOSSES OF PRESSURE IN THE PRESSURE LINE UNDER THE FLOW OF CONSERVATIVE LIQUID

Petrashev Alexandr,
Full Doctor of Technical Sciences, associate professor, laboratory chief
Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Tambov

***Abstract**. It known that the productivity of pneumatic application of a conservation liquid on the working parts of agricultural machines depends on the hydraulic resistance of the pressure line. The pressure line, including a branch pipe, a heated hose, connecting fittings and a spray gun, is considered. Theoretical dependencies for the determination of hydraulic losses of pressure of the conservation liquid during flow from the tank along the channels of the pressure main are justified. It has established with the help of experimental studies that equipping of heated hose with an electric spiral increases its hydraulic resistance by 1.6 times, while the total hydraulic pressure losses in the pressure line increase by 27 %. It is shown that the value of the product of the coefficient of hydraulic friction (λ) by the Reynolds number (Re) does not depend on the fluid flow rate and is equal to λRe = 71.4 at laminar flow of the conservation liquid in the pressure line. The distribution of hydraulic pressure losses during the motion of the conservation liquid in the pressure line is calculate: 71.5% is in the hose with a spiral, 25% - in the nozzle of the spray gun, 2.3% - in the fittings, 1% - in the pistol canals, 0.2 % - in the branch pipe. 96.5% of the pressure loss is due to overcoming the hydraulic resistances in the hose with a spiral and in the nozzle of the spray gun.*

***Key words:** hydraulic losses, conservation liquid, pressure line, heated hose, pneumatic spray gun, consumption, agricultural machine.*

Введение. Производительность нанесения консервационных покрытий на поверхности сельскохозяйственных машин зависит от технических возможностей применяемого оборудования [1, 2] и реологических свойств консервационной жидкости. На расход консервационной жидкости при ее нанесении влияет давление сжатого воздуха, под действием которого жидкость истекает из бака, а также гидравлические сопротивления в напорной магистрали и в сопле пистолета-распылителя. Суммарные гидравлические потери давления $\Delta p_{\text{сум}}$ жидкости зависят от ее вязкости ν и расхода q, а также от значения произведения (λRe) параметров сопротивления.

При гидравлическом расчёте напорной магистрали требуется учитывать не только падение давления по длине, но и в местах изменения сечения магистрали: в соединениях, патрубках, штуцерах, каналах. Падение давления в этих местных гидравлических сопротивлениях

может составлять значительную часть от общих потерь в магистрали. После каждого изменения сечения напорной магистрали изменяются и кинематические параметры потока от начальных (на входе) до стабилизированных в зоне установившегося равномерного течения [3, 4].

При нанесении вязких консервационных жидкостей в нагретом состоянии, через напорную магистраль пропускают электрическую спираль, обеспечивая подогрев жидкости и компенсацию теплопотерь через стенки магистрали. Электрическая спираль увеличивает гидравлическое сопротивление напорной магистрали.

Результаты и обсуждение. Схематически состав оборудования для пневматического нанесения вязкой консервационной жидкости представлен на рисунке 1. В него включены бак 1, выпускной патрубок 2, кран 3, шланг 5 со спиралью, соединительные штуцеры 4 и пистолет-распылитель 6, имеющий проходной канал и сопло с иглой.

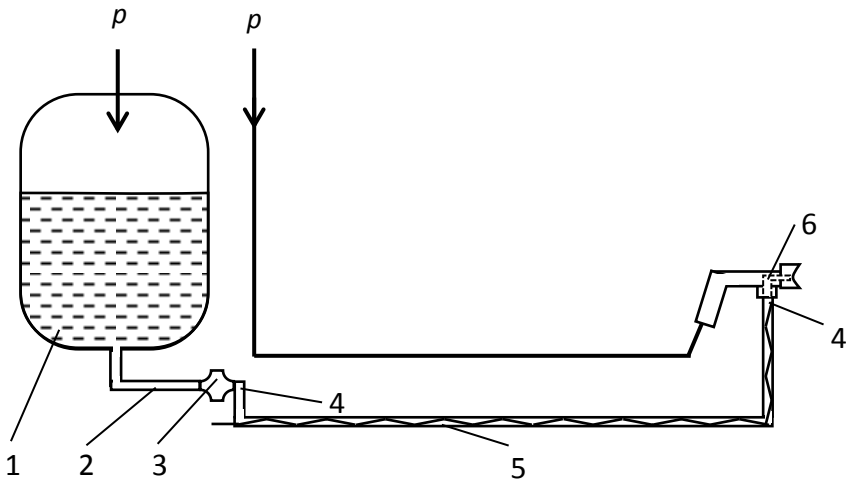


Рисунок 1 – Состав оборудования для пневматического нанесения консервационной жидкости

Давление $p_в$ сжатого воздуха в баке затрачивается на преодоление сопротивления движению жидкости по длине каналов напорной магистрали, включающей патрубок, шланг, пистолет-распылитель, штуцеров, а также на придание составу кинетической энергии при истечении из сопла пистолета-распылителя. Давление воздуха $p_р$ необходимо для распыления струи консервационной жидкости за соплом пистолета. Суммарные гидравлические потери $\Delta p_{сум}$ давления в напорной магистрали включают следующие показатели:

$$\Delta p_{сум} = \Delta p_д + \Delta p_м + \Delta p_с,$$

где $\Delta p_д$ – падение давления по длине каналов магистрали, Па; $\Delta p_м$ – падение давления в местных сопротивлениях (при изгибах каналов и изменении их сечений), Па; $\Delta p_с$ – затраты давления при истечении состава из сопла, Па.

Падение давления на длине всех участков напорной магистрали определяется по формуле Дарси-Вейсбаха [5]:

$$\Delta p_д = \sum \lambda_i \frac{L_i \rho u_i^2}{2 d_i},$$

где λ_i - коэффициент гидравлического трения в канале i-го участка; L_i - длина i-го участка, м; ρ - плотность консервационной жидкости, кг/м^3; d_i – диаметр канала i-го участка, м; u_i - средняя скорость движения жидкости по каналу i-го участка, м/с.

Суммарные потери в местных сопротивлениях при ламинарном движении жидкости

определим через эквивалентные длины местных сопротивлений, которые приведем к диаметрам каналов, расположенных за ними:

$$\Delta p_{\text{м}} = \sum \lambda_i \frac{L_{i.\text{экв}} \rho u_i^2}{2 d_i},$$

где $L_{i.\text{экв}}$ - эквивалентная длина местного сопротивления, м.

Затраты давления при истечении жидкости из сопла пистолета определим по формуле, приведенной в [6]:

$$\Delta p_{\text{с}} = \frac{30\, u_{\text{с}} \rho \nu}{d_{\text{с}}} + 0{,}85\, \pi u_{\text{с}}^2 \rho,$$

где $u_{\text{с}}$ - средняя скорость движения жидкости через сопло, м/с; $d_{\text{с}}$ – диаметр сопла, м; $\nu_{\text{к}}$ – кинематическая вязкость консервационной жидкости, $м^2/с$.

В приведенных формулах неизвестны коэффициенты гидравлического трения – λ_i, которые зависят от скорости u_i движения жидкости. Неизвестны значения эквивалентных длин – $L_{i.\text{экв}}$ в местных сопротивлениях. Поэтому имеется необходимость в обосновании нового метода, упрощающегося расчёт потерь давления.

С этой целью преобразуем выражения для $\Delta p_{\text{д}}$ и $\Delta p_{\text{м}}$, введя в них число Рейнольдса Re:

$$\Delta p_{\text{д}} = \sum \lambda_i \frac{L_i \rho u_i^2}{2 d_i} = \sum \left(\lambda_i \text{Re}_i\right) \frac{L_i u_i \rho \nu}{2 d_i^2},$$

$$\Delta p_{\text{м}} = \sum \lambda_i \frac{L_{i.\text{экв}} \rho u_i^2}{2 d_i} = \sum \left(\lambda_i \text{Re}_i\right) \frac{L_{i.\text{экв}} u_i \rho \nu}{2 d_i^2},$$

где Re_i - число Рейнольдса для i-участка напорной магистрали:

$$\text{Re}_i = \frac{d_i u_i}{\nu}.$$

В полученных выражениях заменим скорость (u_i) расходом (q) жидкости:

$$u_i = \frac{4q}{\pi d_i^2 \rho},$$

а эквивалентную длину ($L_{i.\text{экв}}$) – длиной (L_i) соответствующего канала на участке магистрали:

$$L_{i\text{экв}} = L_i k_{i.\text{экв}},$$

где $k_{\text{i.экв}}$ – коэффициент пропорциональности.

С учетом выполненных замен, потери давления консервационной жидкости по длине напорной магистрали и в местных сопротивлениях определятся по формуле:

$$\Delta p_{\text{д}} + \Delta p_{\text{м}} = \frac{2q\rho\nu}{\pi} \sum \left(\lambda_i \text{Re}_i\right)\left(1 + k_{i.\text{экв}}\right) \frac{L_i}{d_i^4}.$$

Формулу для определения затрат давления $\Delta p_{\text{с}}$ в сопле уточним, выразив скорость (u_c) жидкости через расход:

$$\Delta p_{\text{с}} = \frac{120\ q\nu}{\pi d_c^3} + \frac{13{,}6 q^2}{\pi \rho\, d_c^4}.$$

Таким образом, чтобы рассчитать суммарные потери давления консервационной жидкости по длине напорной магистрали, необходимо знать значения параметров λ_i, Re_i, $k_{i.\text{экв}}$ в каждом сечении участка магистрали. Опытным путём установить значения указанных параметров достаточно трудоемко.

Для упрощения расчётных формул допустим, что в области ламинарного течения при расходе жидкости до 10 г/с произведение указанных параметров постоянно на всех участках напорной магистрали. Выразив это произведение через приведенную величину, запишем:

$$(\lambda_i \, \mathrm{Re}_i)(1 + k_{i.\text{экв}}) = (\lambda \, \mathrm{Re}) = \mathrm{const} \quad ,$$

где (λRe) – приведенная величина произведения параметров сопротивления.

С учётом проведенных преобразований, замен и допущений, представим развернутую формулу для определения суммарных гидравлических потерь давления $\Delta p_{\text{сум}}$ консервационной жидкости по длине каналов напорной магистрали, в местных сопротивлениях и в сопле пистолета:

$$\Delta p_{\text{сум}} = \frac{2 q \nu}{\pi} (\lambda \, \mathrm{Re}) \left[\frac{L_{\text{п}}}{d_{\text{п}}^4} + \frac{L_{\text{ш}}}{d_{\text{ш}}^4} + \frac{L_{\text{т}}}{d_{\text{т}}^4} + \frac{L_{\text{к}}}{d_{\text{к}}^4} \right] + \frac{120 \; q \nu}{\pi d_c^3} + \frac{13,6 q^2}{\pi \rho \, d_c^4} , \qquad (1)$$

где $L_{\text{п}}$, $L_{\text{ш}}$, $L_{\text{т}}$, $L_{\text{к}}$ – длины каналов в патрубке, шланге, штуцере, пистолете и соответствующие им диаметры – $d_{\text{п}}$, $d_{\text{ш}}$, $d_{\text{т}}$, $d_{\text{к}}$, м.

Суммарные гидравлические потери давления $\Delta p_{\text{сум}}$ жидкости зависят от ее вязкости ν и расхода q, а также от значения произведения (λRe) параметров сопротивления.

Влияние расхода q консервационной жидкости на приведенную величину произведения (λRe) предполагается установить по опытным данным, исходя из следующих соображений:

1. Если опытное значение произведения (λRe) не зависит от величины расхода q, то формула (1) подходит для определения потерь давления $\Delta p_{\text{сум}}$.

2. Если опытное значение произведения (λRe) зависит от величины расхода q, то формула (1) требует корректировки.

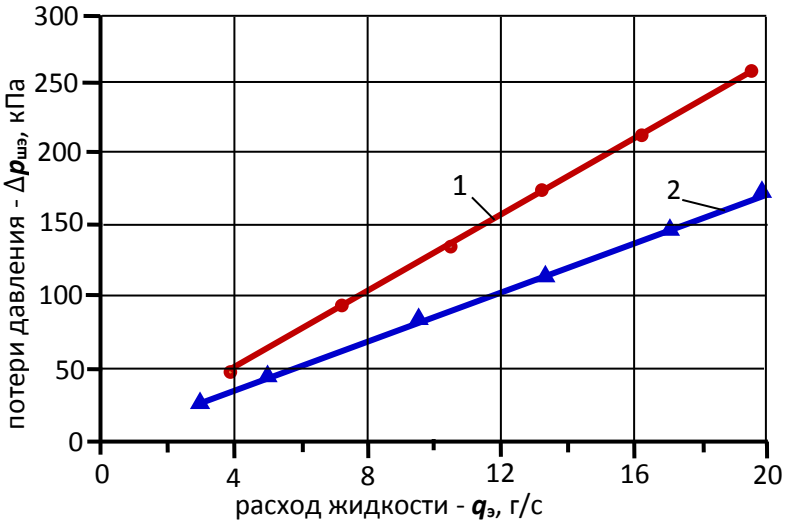
Экспериментальные гидравлические исследования проводили на специальном стенде, оснащенном герметичным баком с консервационной жидкостью, напорной магистралью с пистолетом-распылителем СО-71. В качестве экспериментальной жидкости использовали 80 % раствор мазута М100 в уайт-спирите, имеющий плотность – $\rho_{\text{э}} = 930$ кг/м^3 (определена по ареометру АОН-1) и кинематическую вязкость – $\nu_{\text{э}} = 184$ мм^2/с (определена по вискозиметру капиллярному ВНЖ-1,41). Под давлением сжатого воздуха жидкость вытекала из бака, двигалась через патрубок, штуцеры, шланг, пистолет СО-71 (без запорной иглы) и сливалась в мерную емкость. Массу слитой жидкости определяли взвешиванием на весах ВК-3000. Для изготовления шланга использовали рукав типоразмера МБС10х18,5-1,6 МПа длиной $L_{\text{ш}} = 10$ м, диаметром $d_{\text{ш}} = 10$ мм. На концах рукава имелись штуцеры $L_{\text{т}} = 0,08$ м, $d_{\text{т}} = 7,5$ мм. Потери давления на входе и выходе из шланга измеряли лабораторными манометрами с точностью до 0,5 кПа.

Опытным путем определяли влияние расхода $q_{\text{э}}$ жидкости на потери давления в шланге ($\Delta p_{\text{шэ}}$) без спирали и в шланге ($\Delta p_{\text{ш}s}$), оснащенном электрической спиралью (рисунок 2).

Экспериментально установлено, что потери давления жидкости в шлангах находились практически в прямо пропорциональной зависимости от величины ее расхода. При этом в шланге, оснащенном спиралью, потери давления были на 60 % выше, чем в шланге без спирали. По данным исследования определен коэффициент сопротивления спирали: $k_{\text{s}} = 1,6$.

Экспериментальные значения коэффициента гидравлического трения - $\lambda_{\text{э}}$ и числа Рейнольдса - $\mathrm{Re}_{\text{э}}$ для гладкого шланга (без спирали) вычисляли по формулам [7]:

$$\lambda_{\text{э}} = \frac{\Delta p_{\text{шэ}} \cdot \pi^2 d_{\text{ш}}^5 \rho_{\text{э}}}{8 L_{\text{ш}} q_{\text{э}}^2}, \qquad \mathrm{Re}_{\text{э}} = \frac{4 q_{\text{э}}}{\pi d_{\text{ш}} \rho_{\text{э}} \nu_{\text{э}}}.$$



Исполнение шланга: 1 – со спиралью; 2 – без спирали

Рисунок 2 – Изменение потерь давления $\Delta p_{шэ}$ в шланге в зависимости от расхода $q_э$ консервационной жидкости

Если исследуемая жидкость является ньютоновской, то произведение ($\lambda_э Re_э$) этих величин определяется отношением потерь давления ($\Delta p_{шэ}$) к расходу ($q_э$):

$$(\lambda_э \, Re_э) = \left(\frac{\pi d_ш^4}{2 L_ш \nu_э} \right) \cdot \frac{\Delta p_{шэ}}{q_э}.$$

Результаты обработки опытных данных сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты исследования гидравлического сопротивления напорной магистрали

Наименование показателя	Значение показателя				
	1	2	3	4	5
Расход состава, $q_э$, кг/с	0,004	0,008	0,012	0,016	0,02
Число Рейнольдса, $Re_э$	2,9	5,9	8,8	11,7	14,6
Коэффициент гидравлического сопротивления, $\lambda_э$	24,9	12,1	8,1	6,1	4,9
Произведение ($\lambda_э \cdot Re_э$)	72,1	71,3	71,2	71,1	71,2

Исследование процесса движения экспериментальной жидкости по шлангу без спирали показало, что с увеличением расхода $q_э$ от 4 до 20 г/с (в 5 раз) потери давления $\Delta p_{шэ}$ возросли от 36 до 174 кПа (в 4,83 раза), число Рейнольдса $Re_э$ повысилось от 2,9 до 14,6, а коэффициент гидравлического трения $\lambda_э$ снизился от 24,9 до 4,9. Результаты исследования позволяют характеризовать экспериментальную жидкость как ньютоновскую.

Увеличение расхода жидкости $q_э$ в 5 раз фактически не повлияло на произведение параметров сопротивления ($\lambda_э Re_э$), что указывает на отсутствие корреляционной связи между ним и расходом $q_э$ в рамках проводимого исследования. По данным таблицы 1 среднее значение произведения ($\lambda_э Re_э$) = 71,4.

Полученная величина произведения ($\lambda_э Re_э$) корреспондируется с результатами, приведенными В.С. Гейером и соавторами в [8]. Они полагают, что это произведение зависит от формы поперечного сечения, состояния трубопровода, от вида, числа и расположения зон местных сопротивлений. Для маслопроводов ими рекомендовано значение (λRe) = 75.

Подставляем установленные нами значение ($\lambda_э Re_э$) = 71,4 в выражение (1) и получаем уравнение для расчета суммарных гидравлических потерь давления в напорной магистрали с гладким шлангом (без электрической спирали):

$$\Delta p_{сум} = 45,5 q \nu \left[\frac{L_п}{d_п^4} + \frac{L_ш}{d_ш^4} + \frac{L_т}{d_т^4} + \frac{L_к}{d_к^4} \right] + \frac{38,2 q \nu}{d_c^3} + \frac{4,3 q^2}{\rho d_c^4}. \quad (2)$$

Если шланг оснащен электрической спиралью, то его сопротивление будет увеличено в 1,6 раза, а расчетная формула для напорной магистрали примет вид:

$$\Delta p_{сум} = 45,5 q \nu \left[\frac{L_п}{d_п^4} + 1,6 \frac{L_ш}{d_ш^4} + \frac{L_т}{d_т^4} + \frac{L_к}{d_к^4} \right] + \frac{38,2 q \nu}{d_c^3} + \frac{4,3 q^2}{\rho d_c^4}. \quad (3)$$

При расчете гидравлических потерь, сопутствующих процессу движения консервационной жидкости на распыление, учтены фактические параметры напорной магистрали, включающей патрубок – $L_п$ = 0,2 м, $d_п$ = 0,015 м; два штуцера – $L_т$ = 0,08 м, $d_т$ = 0,0075 мм; шланг – $L_ш$ = 10 м, $d_ш$ = 0,01 м; а также параметры пистолета-распылителя СО-71: канал – $L_р$ = 0,08 м, $d_к$ = 0,007 м; сопло – d_c = 0,0018 м. Вязкость консервационной жидкости кинематическая – $\nu_к$ = 0,000193 м^2/с; плотность жидкости – $\rho_к$ = 930 кг/м^3.

Расчеты по формуле (3) показали, что при расходе консервационной жидкости 0,36 кг/мин суммарные гидравлические потери давления в напорной магистрали, оснащенной спиралью, составят $\Delta p_{сум}$ = 112 кПа. При расходе жидкости 0,5 кг/мин суммарные гидравлические потери давления выше – 163 кПа. Если использовать гладкий шланг (без спирали), то суммарные гидравлические потери давления в напорной магистрали будут снижены на 27 %.

Распределение гидравлических потерь давления при подаче консервационной жидкости из бака на распыление, следующее: в шланге со спиралью – 71,5 %, в сопле пистолета – 25 %, в штуцерах – 2,3 %, каналах пистолета – 1 %, в патрубке – 0,2 %. Эти данные представлены на диаграмме (рисунок 3). Сравнительный анализ показывает, что 96,5 % потерь давления приходится на шланг со спиралью и сопло пистолета-распылителя.

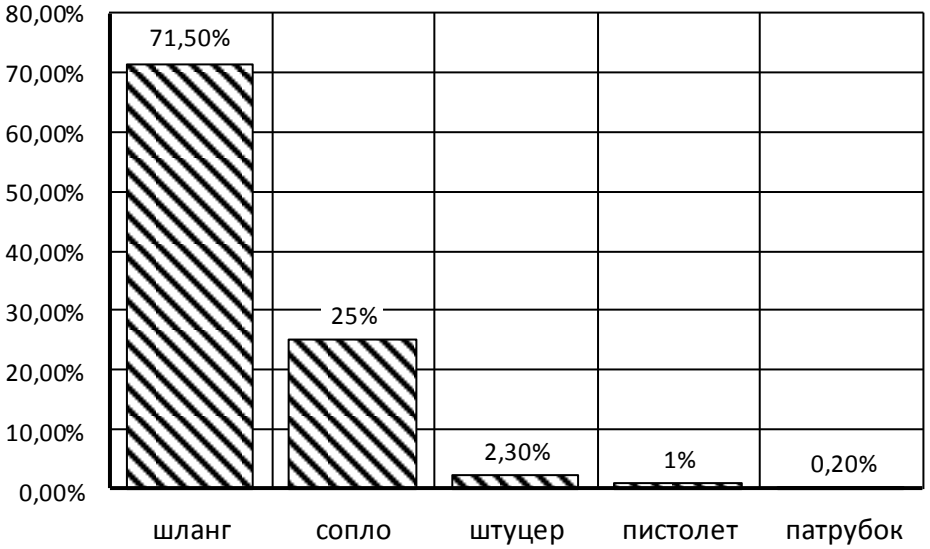


Рисунок 3 – Распределение гидравлических потерь в магистрали подачи

Выводы. В результате проведенных исследований получены расчетные зависимости для определения гидравлических потерь давления консервационной жидкости при течении из бака по напорной магистрали на распыление. Показано, что оснащение шланга электрической спиралью увеличивает его гидравлическое сопротивление в 1,6 раза, а суммарные гидравлические потери давление для всей напорной магистрали – на 27 %.

Установлено, что при ламинарном движении консервационной жидкости по напорной магистрали, значение произведения коэффициента гидравлического сопротивления на число Рейнольдса не зависит от расхода жидкости и равно: $\lambda Re = 71,4$. При этом 96,5 % затрат давления приходится на преодоление гидравлических сопротивлений в шланге со спиралью и в сопле пистолета-распылителя.

Список литературы

1. Петрашев, А.И. Научно-технические основы механизации процессов консервации аграрной техники / А.И. Петрашев, С.Н. Сазонов, В.В. Клепиков // Вестник МичГАУ. - 2014. - № 4. - С. 61-67.

2. Губашева, А.М. Навесной агрегат для консервации аграрной техники при пониженных температурах / А.М. Губашева, А.И. Петрашев, Л.Г. Князева, А.Н. Зазуля // Наука в центральной России. - 2017. - № 1 (25). - С. 43-54.

3. Петрашев, А.И. Анализ гидравлического сопротивления магистрали подачи консервационной жидкости на распыление / А.И. Петрашев, В.В. Клепиков / Перспективные технологии и технические средства в сельскохозяйственном производстве: матер. междунар. научно-практич. конференции, Минск, Белорусский ГАТУ. – Минск: изд-во БГАТУ, 2013. - С. 108-113.

4. Петрашев, А.И. Новый подход к расчету гидравлического сопротивления напорной магистрали / А.И. Петрашев, В.В. Клепиков // Наука в центральной России. - 2013. - № 5. - С.54-59.

5. Рабинович, Е.З. Гидравлика / Е.З. Рабинович. - М.: Недра, 1980. – 278 с.

6. Петрашев, А.И. Экспериментальные закономерности пневмораспыления консервационных материалов / А.И. Петрашев, В.Д. Прохоренков, В.В. Клепиков, Ф.Д. Таха // Труды ГОСНИТИ. – 2015. – Т. 120. – С. 59-63.

7. Петрашев, А.И. Совершенствование технологических процессов и ресурсосберегающих средств консервации сельскохозяйственной техники при хранении: дис. …д-ра техн. наук: 05.20.03. / Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова / Петрашев Александр Иванович. – Тамбов. – 2007. – 400 с.

8. Гейер, В.Г. Гидравлика и гидропривод. - 3-е изд. / В.Г. Гейер, В.С. Дулин, А.Н. Заря. – М.: Недра, 1991. – 331 с.

References

1. Petrashev, A.I. Nauchno-tehnicheskie osnovy mehanizacii processov konservacii agrarnoj tehniki / A.I. Petrashev, S.N. Sazonov, V.V. Klepikov // Vestnik MichGAU. - 2014. - № 4. - S. 61-67.

2. Gubasheva, A.M. Navesnoj agregat dlja konservacii agrarnoj tehniki pri ponizhennyh temperaturah / A.M. Gubasheva, A.I. Petrashev, L.G. Knjazeva, A.N. Zazulja // Nauka v central'noj Rossii. - 2017. - № 1 (25). - S. 43-54.

3. Petrashev, A.I. Analiz gidravlicheskogo soprotivlenija magistrali podachi konservacionnoj zhidkosti na raspylenie / A.I. Petrashev, V.V. Klepikov / Perspektivnye tehnologii i tehnicheskie

sredstva v sel'skohozjajstvennom proizvodstve: mater. mezhdunar. nauchno-praktich. konferencii, Minsk, Belorusskij GATU. – Minsk: izd-vo BGATU, 2013. - S. 108-113.

4. Petrashev, A.I. Novyj podhod k raschetu gidravlicheskogo soprotivlenija napornoj magistrali / A.I. Petrashev, V.V. Klepikov // Nauka v central'noj Rossii. - 2013. - № 5. - S.54-59.

5. Rabinovich, E.Z. Gidravlika / E.Z. Rabinovich. - M.: Nedra, 1980. – 278 s.

6. Petrashev, A.I. Jeksperimental'nye zakonomernosti pnevmoraspylenija konservacionnyh materialov / A.I. Petrashev, V.D. Prohorenkov, V.V. Klepikov, F.D. Taha // Trudy GOSNITI. – 2015. – T. 120. – S. 59-63.

7. Petrashev, A.I. Sovershenstvovanie tehnologicheskih processov i resursosberegajushhih sredstv konservacii sel'skohozjajstvennoj tehniki pri hranenii: dis. …d-ra tehn. nauk: 05.20.03. / Saratovskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. N.I. Vavilova / Petrashev Aleksandr Ivanovich. – Tambov. – 2007. – 400 s.

8. Gejer, V.G. Gidravlika i gidroprivod. - 3-e izd. / V.G. Gejer, V.S. Dulin, A.N. Zarja. – M.: Nedra, 1991. – 331 s.

УДК 66.047.38

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СУШКИ ПЛОДОВ С РАЗРАБОТКОЙ БАРАБАННОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Щербаков Сергей Юрьевич,
к.т.н., доцент, e-mail scherbakov78@yandex.ru
Завражнов Анатолий Иванович,
д.т.н., академик РАН, профессор e-mail aiz@mgau.ru
Лазин Павел Сергеевич,
аспирант,e-mail lazin.pavel@mail.ru
Криволапов Иван Павлович ,
к.т.н., доцент,e-mail:ivan0068@bk.ru
Аксеновский Алексей Васильевич,
к.с-х.н., доцент e-mail noky2002@mail.ru

Кафедра "Технологические процессы и техносферная безопасность",
Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск

Реферат. *Оптимальным решением по сохранению качества растительного сырья является сушка продукта. Исследован процесс сушки плодов боярышника кроваво-красного (Crataegus sanguinea Pall) в сушильном шкафу и барабанной сушильной установке, комплектуемой вращающимся цилиндрическим барабаном с жестко закрепленными на нем лопастями и установленной внутри барабана мешалкой с лопастями, которая вращается в противоположную сторону от барабана. Влажность продукта определялась с помощью прибора анализатора влажности «ЭВЛАС-2М» Установлено, что на процесс сушки плодов от начальной влажности 74,9% до конечного уровня 23,7% в сушильном шкафу затрачивается 10 часов при среднем расходе электроэнергии 2,2 кВт/ч, в то время как сушка в барабане с перемешивающим устройством обеспечивает указанные параметры конечной влажности в течение 6 часов при среднем расходе 1,3 кВт/ч. Экспериментально определено, что*

сушка в сушильном шкафу характеризуется неравномерностью по объему продукта, конечная влажность которого изменяется в пределах 18-26%. Применение лопастной мешалки в барабанной сушильной установке создает интенсивное перемешивание и равномерное распределение плодов боярышника внутри барабана установленного с уклоном 3°. Представлены экспериментальные зависимости снижения уровня влажности от времени сушки, определяющие, что перемешивающее устройство обеспечивает равномерность процесса сушки, позволяя получать высушенные плоды высокого качества.

Ключевые слова: *сушка, плоды боярышника, сушильный шкаф, барабанная сушилка.*

IMPROVING TECHNOLOGY DRYING FRUITS WITH DEVELOPMENT OF DRUM DRYING MACHINE

Shcherbakov Sergey,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail scherbakov78@yandex.ru
Zavrazhnov Anatoly,
Full Doctor of Technical Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, e-mail aiz@mgau.ru
Lazin Pavel,
graduate student, e-mail lazin.pavel@mail.ru
Krivolapov Ivan,
Candidate of Technical Sciences, associate professor, e-mail: ivan0068@bk.ru
Aksenovskiy Alexey,
Candidate of Agricultural Sciences, Associate professor, e-mail noky2002@mail.ru

Abstract. *The optimal solution for preserving the quality of plant raw materials is the drying of the product. The process of drying the fruit of hawthorn crimson red (Crataegus sanguinea Pall) in a drying cabinet and a drum dryer equipped with a rotating cylindrical drum with fixed blades mounted on it and mounted inside the drum with a stirrer with blades, which rotates in the opposite direction from the drum, was studied. The moisture content of the product was determined with the help of the device of the moisture analyzer "EVLAS-2M". It was found that the process of drying fruits from the initial humidity of 74.9% to the final level of 23.7% in the drying cabinet takes 10 hours at an average power consumption of 2.2 kW / h, while drying in a drum with a stirring device provides these the parameters of final humidity for 6 hours at an average flow of 1.3 kW/h. It has been experimentally determined that drying in a drying cabinet is characterized by unevenness in the volume of the product, the final moisture content of which varies between 18-26%. The use of a paddle stirrer in a drum dryer generates intensive mixing and uniform distribution of hawthorn fruit inside a drum set at a slope of 3°. The experimental dependences of the decrease in the moisture level on the drying time, which determine that the mixing device ensures the uniformity of the drying process, allowing to obtain dried fruits of high quality, are presented.*

Key words: *drying, hawthorn fruit, drying cabinet, drum dryer.*

Введение. На сегодняшний день переработка плодов выполняется в значительных объемах с использованием различных технологий, большинство из которых сильно устарели и неблагоприятно воздействуют на исходное сырье, разрушая существенную часть натуральных биологически активных веществ и микронутриентов [1,3].

Высокое потребление свежих плодов повышает как работоспособность человека, так и устойчивость к различным заболеваниям [9], но в связи с ограниченным сроком хранения свежих плодов, оптимальным и надежным способом сохранения продукции является сушка. Данный способ переработки плодов очень удобен, так как масса и объем высушенной продукции существенно уменьшается, тем самым упрощается транспортабельность, отсутствует необходимость использования крупных площадей для хранения высушенной продукции.

Сушка плодов боярышника осуществляется в шкафных, реже ленточных сушильных установках. Состояние технологии и техники для сушки в пищевой промышленности [3,4,5,6,7] свидетельствует о существенной продолжительности процесса сушки, приводящей к снижению качества продукта и увеличении энергозатрат. Перспективным направлением для совершенствования технологии сушки плодов боярышника является применение барабанных сушильных установок периодического действия [4,5,6,8].

Поэтому разработка высокоэффективных барабанных сушильных установок, которые обеспечивают абсолютную автоматизацию и механизацию технологических процессов и, как результат, существенное повышение производительности труда и улучшение качества продукции имеет особую актуальность.

Поставлена цель исследований – совершенствование технологии сушки плодов боярышника с разработкой барабанной сушильной установки. Для ее достижения следует выполнить следующие задачи: интенсифицировать процесс сушки, получить качественный и экологически чистый высушенный продукт с невысокими энергозатратами и высокой скоростью сушки; обосновать конструктивно-технологические параметры, и режимы работы для предлагаемой конструкции барабанной сушильной установки.

Как правило в барабанных сушилках, не имеющих перемешивающие устройства, процесс сушки проходит не интенсивно и не равномерно [4,5]. Для устранения этих недостатков предлагается использовать механическое перемешивающие устройство непосредственно внутри барабана. Многочисленными исследованиями подтверждено [3,4,5,6,7] что использование разных перемешивающих устройств позволяет значительно ускорить процесс сушки, перемешивание продукта способствует устранение комков и местных перегревов.

Материалы и методы исследования. Для определения эффективности сушки плодов боярышника в шкафных сушилках проводились исследования по определению зависимости влажности плодов от времени сушки, определяли удельный расход электроэнергии и неравномерность сушки плодов боярышника.

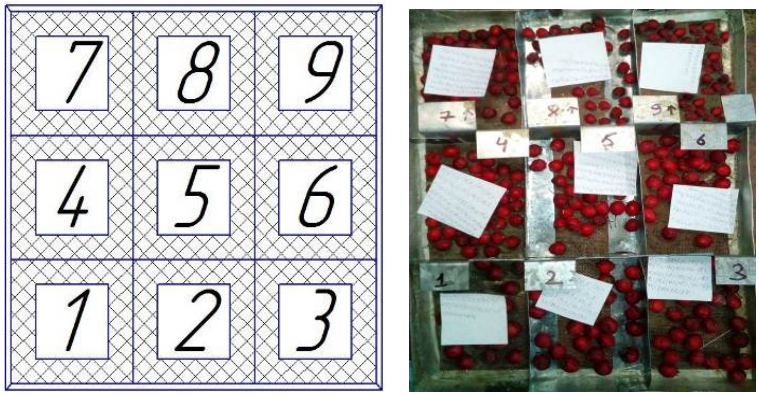
Сушка проводилась в сушильном шкафу (рисунок 1а), объектами исследования служили образцы плодов боярышника кроваво-красного (Crataegus sanguinea Pall). Отбор проб проводили по ГОСТ 28561-90 [2].

Перфорированный противень, (рисунок 2), был предварительно поделен на 9 частей, на каждом из 9 участков были распределены 100 грамм плодов боярышника. Влажность продукта определялась с помощью прибора анализатора влажности «ЭВЛАС-2М» (рисунок 1б).

а б

Рисунок 1- Стенд для исследований

а) лабораторный сушильный шкаф: 1- сушильная камера; 2- дверка; 3- устройство управления; 4 - тепловые электрические нагреватели; 5- перфорированный противень для продукта; б) анализатор влажности «ЭВЛАС-2М»



а б

Рисунок 2- Схема расположения участков на противне (а), перфорированный противень с плодами боярышника (б)

Для сравнения помимо технологии сушки плодов боярышника в сушильном шкафу была предложена технология сушки плодов в барабанной сушильной установке, схема которой показана на рисунке 3.

Установка содержит корпус - цилиндрический барабан с теплоизоляционным кожухом и жестко закрепленными лопастями 1, установленный с небольшим углом наклона (2 - 3^{o}) на опорах. Внутри барабана закреплена лопастная мешалка 2 с приводом 3, который вращает мешалку против часовой стрелки. Привод 4 обеспечивает вращение барабана по часовой стрелке. Управление осуществляется блоком управления 5. Продукт загружается через люк загрузки 6, а выгрузка осуществляется через люк выгрузки 7. Нагревательная камера 8 состоит из корпуса и трубчатых электронагревателей для нагрева воздуха (ТЭНы), вентилятор 9 обеспечивает подачу воздуха.

Рисунок 3 – Схема барабанной сушильной установки
1 – теплоизоляционный кожух; 2 – лопастная мешалка, 3 – привод мешалки; 4 – привод барабана; 5 – блок управления; 6 – люк загрузки; 7 – люк выгрузки; 8 – нагревательная камера; 9 – вентилятор

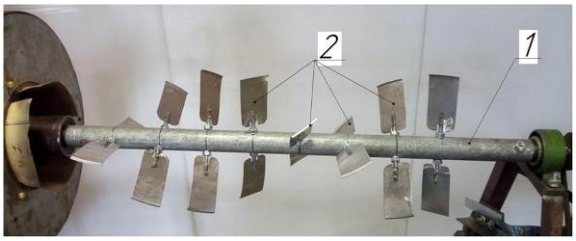


Рисунок 4 – Схема мешалки установленной внутри барабана
1 – вал; 2 – лопасти

Барабанная сушилка работает следующим образом. Загрузка влажного продукта осуществляется через загрузочный люк в сушильный барабан, который вращается по часовой стрелке, при этом продукт перемешивается мешалкой (рисунок 4), которая вращается против часовой стрелки. Процесс сушки проходит равномерно, горячий воздух подается внутрь барабана с двух сторон. Разнонаправленное вращение барабана и мешалки с постоянным действием горячего воздуха на продукт в процессе перемешивания позволяет быстро получать высококачественный, равномерно просушенный продукт без образования комков и нагара. После завершения сушки продукт выгружается через выгрузочный люк.

Экспериментальные исследования с целью выявления эффективности и качества процесса сушки, а так же зависимости влажности от времени сушки с перемешивающим устройством и без него проводились с использованием установки, показанной на рисунке 3. Образцами для исследования служили плоды боярышника кроваво-красного (Crataegus sanguinea Pall). С помощью анализатора влажности «ЭВЛАС-2М» была определена начальная влажность плодов 74,9 %. В процессе эксперимента в течение каждых 60 минут брались пробы на влажность продукта в трех точках барабана с повторностью не менее 3 раз (рисунок 7). Продолжительность каждого эксперимента составляла 6 - 10 часов при температуре 55 °С, по истечению каждого часа продукт на каждом участке взвешивался. Проводился контроль расхода электроэнергии на все время сушки.

Результаты и обсуждение. Согласно полученной зависимости (рисунок 5) сушка в сушильном шкафу плодов боярышника с начальной влажностью 74,9 % до конечной влажности 22 %, проходила 10 часов, при среднем расходе электроэнергии 2,2 кВт/ч.

Установлено, что сушка в сушильном шкафу обладает большой неравномерностью (рисунок 6), конечная влажность колеблется от 18 до 26 %, то есть часть полученного продукта будет не досушена или пересушена, соответственно высушенный продукт будет низкого качества.

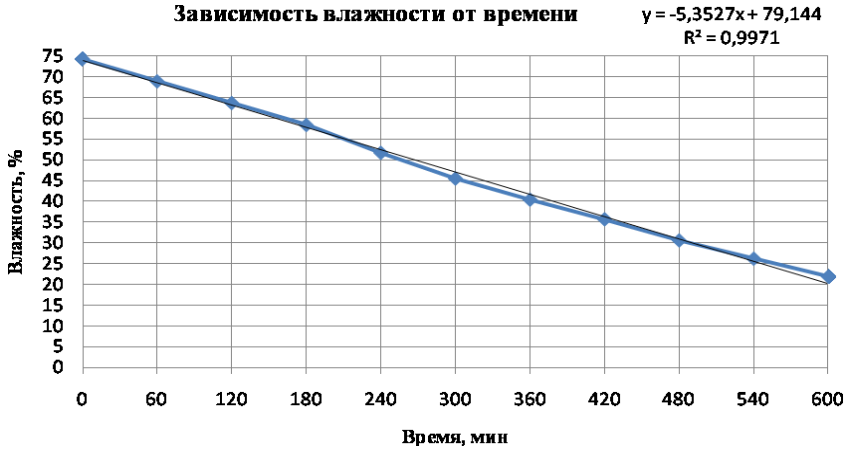


Рисунок 5- График зависимости влажности плодов боярышника от времени сушки

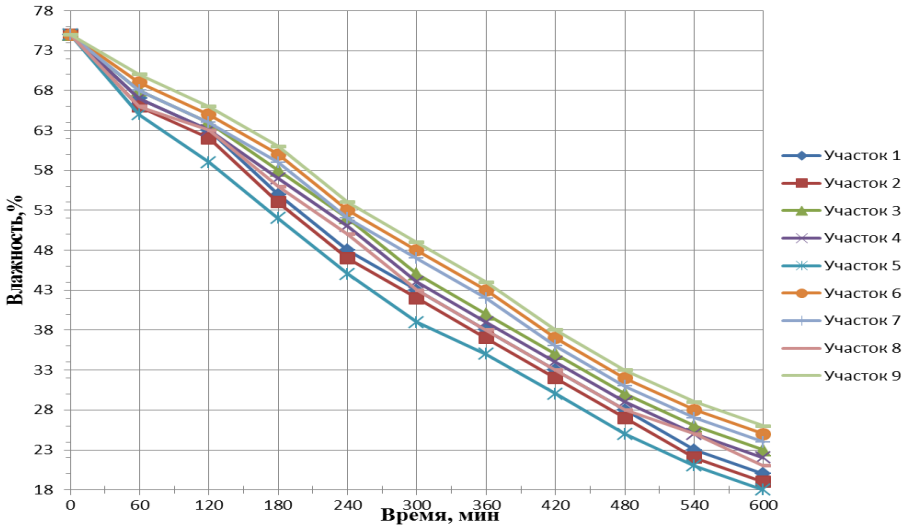
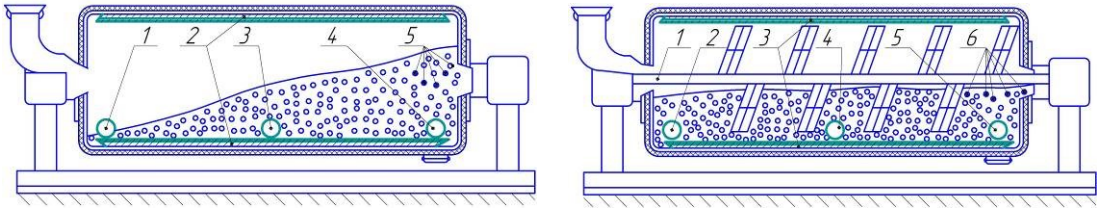


Рисунок 6. График зависимости влажности плодов боярышника от времени сушки в зависимости от участка противня

В первом эксперименте (рисунок 7а) процесс сушки проходил без перемешивающего устройства, так как барабанная сушилка установлена с небольшим углом наклона - 3° к горизонту, видно, что в процессе сушки большая масса плодов смещена в зону № 3.

Во втором эксперименте (рисунок 7б) процесс сушки проходил с перемешивающим устройством, установленным непосредственно внутри барабана, угол наклона барабанной сушилки составил 3^0 к горизонту. Лопасти перемешивающего устройства перемещают плоды боярышника по барабану, одновременно поднимая плоды на определенную высоту, в результате продукт пересыпается сверху вниз барабана, создавая интенсивное перемешивание и равномерное распределение плодов боярышника внутри барабана по всем трем зонам.



а б

Рисунок 7 – Схема расположения плодов боярышника в барабанной сушилке
а) без перемешивающего устройства: 1 - зона № 1, 2-жестко закрепленные лопасти, 3 - зона № 2, 4 - зона № 3, 5 - плоды боярышника; б) с перемешивающим устройством: 1 – перемешивающее устройство, 2 - зона № 1, 3-жестко закрепленные лопасти, 4 - зона № 2, 5 - зона № 3, 6 - плоды боярышника

Результаты экспериментов с перемешивающим и без перемешивающих устройств в барабанной сушильной установке представлены на рисунке 8.

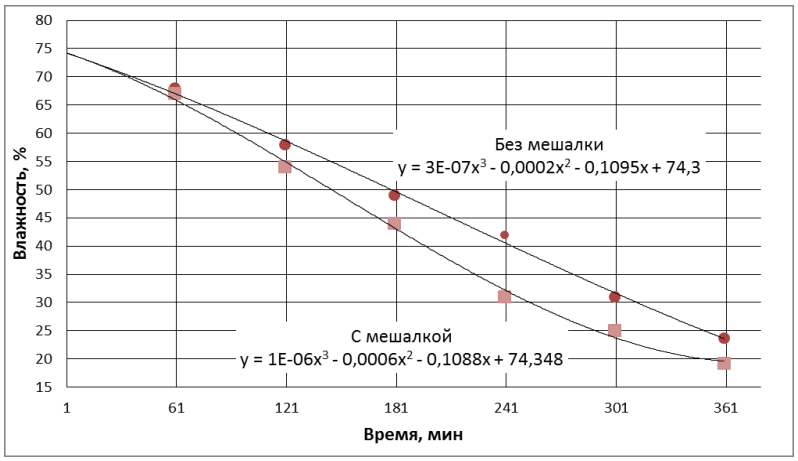


Рисунок 8 – Зависимости времени сушки от влажности в барабанной сушильной установке с применением мешалки и без нее

Из зависимостей (рисунок 8) можно определить, что сушка в барабанной сушилке с перемешивающим устройством идет более интенсивно, конечная влажность при сушке в течении 6 часов без перемешивающего устройства составила 23,7 %, тогда как с мешалкой 19,2 %. Разница составила 4,5 % соответственно можно утверждать, что сушка идет быстрее на 19 процентов.

Выводы:

- сушка плодов боярышника в большинстве случаев осуществляется в конвекционных сушильных шкафах, и практически не проводится в барабанных сушильных установках;

- сушка в сушильном шкафу проходит с низкой скоростью при высоких энергозатратах. С начальной влажностью продукта 74,9 % до конечной влажности 22 %, 10 часов, при среднем расходе 2,2 кВт/ч испаренной влаги;

- сушка в сушильном шкафу проходит с большой неравномерностью от 18 до 26 % конечной влажности на разных участках противня, то есть часть полученного продукта будет не досушена или пересушены до установленной влажности, соответственно высушенный продукт будет низкого качества;

- применение лопастной мешалки в барабанной сушильной установке создает интенсивное перемешивание и равномерное распределение плодов боярышника внутри барабана установленного с уклоном 3°;

- сушка в барабанной сушилке с начальной влажностью плодов боярышника 74,9 % до конечной влажности 23,7 %, проходит в течении 6 часов без перемешивающего устройства, тогда как с мешалкой до конечной влажности 19,2 %. Разница составила 4,5 % соответственно можно утверждать, что сушка с перемешивающим устройством идет быстрее на 19 % при среднем расходе 1,3 кВт/ч испаренной влаги.

Список литературы

1. Личко, Н.М. Технология переработки растениеводческой продукции / Н.М. Личко, В.Н. Курдина, Е.М. Мельников.– Москва: КолосС, 2008. – С. 355-373.

2. ГОСТ 28561-90 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сухих веществ или влаги.

3. Шевцов, С.А. Научное обеспечение энергосберегающих процессов сушки и тепловлажностной обработки пищевого растительного сырья при переменном теплоподводе: дис. ... докт.техн. наук: / С.А. Шевцов – Воронеж, 2015. – 488 с.

4. Лазин П.С., Щербаков С.Ю. Применение барабанных сушильных установок для Интенсификации процесса сушки плодово-ягодной продукции / Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы международной научно-практической конференции. – Ч.III. - Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. – С. 115-119.

5. Меснянкин В. Н. Совершенствование аппаратов с вращающимся барабаном для сушки сыпучих пищевых продуктов: дис. ... канд. техн. наук / В. Н. Меснянкин. – Воронеж, 2002. – 194 с.

6. Щербаков С.Ю., Лазин П.С. Современные технологии сушки растительной продукции с применением барабанных сушильных установок / Агротехнологические процессы в рамках импортозамещения: – Мичуринск: Изд-во ООО «БиС», 2016. С. 299-302.

7. Щербаков С. Ю. Совершенствование технологии сушки плодов рябины с разработкой вибрационного сушильного аппарата: Дис. канд. техн. наук: 05.20.01 Мичуринск, 2006 144 с. РГБ ОД, 61:06-5/2921 21.

8. Лазин П.С., Щербаков С.Ю. Improvement of process of drying of fruit and berry production with application of drum drying / Актуальные проблемы аграрной науки, производства и образования: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов на иностранных языках. – Воронеж: 2017. – С. 61-64.

9. Огнева, О.А. Исследование функциональной активности фруктового и овощного сырья в качестве компонентов комбинированных продуктов / О.А. Огнева, Л.В. Пономаренко, М.П. Коваленко // Молодой ученый. – 2015. – № 15. – С. 137-140.

References

1. Lichko, N.M. Tehnologija pererabotki rastenievodcheskoj produkcii / N.M. Lichko, V.N. Kurdina, E.M. Mel'nikov.– Moskva: KolosS, 2008. – S. 355-373.

2. GOST 28561-90 Produkty pererabotki plodov i ovoshhej. Metody opredelenija suhih veshhestv ili vlagi.

3. Shevcov, S.A. Nauchnoe obespechenie jenergosberegajushhih processov sushki i teplovlazhnostnoj obrabotki pishhevogo rastitel'nogo syr'ja pri peremennom teplopodvode: dis. ... dokt. tehn. nauk: / S.A. Shevcov – Voronezh, 2015. – 488 s.

4. Lazin P.S., Shherbakov S.Ju. Primenenie barabannyh sushil'nyh ustanovok dlja Inte¬nsifikacii processa sushki plodovo-jagodnoj produkcii / Innovacionnye tehnologii i tehnicheskie sredstva dlja APK: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – Ch.III. - Voronezh: FGBOU VO Voronezhskij GAU, 2016. – S. 115-119.

5. Mesnjankin V. N. Sovershenstvovanie apparatov s vrashhajushhimsja barabanom dlja sushki sypuchih pishhevyh produktov: dis. ... kand. tehn. nauk / V. N. Mesnjankin. – Voronezh, 2002. – 194 s.

6. Shherbakov S.Ju., Lazin P.S. Sovremennye tehnologii sushki rastitel'noj produkcii s primeneniem barabannyh sushil'nyh ustanovok /Agrotehnologicheskie processy v ramkah importozameshhenija: – Michurinsk: Izd-vo OOO «BiS», 2016. S. 299-302.

7. Shherbakov S. Ju. Sovershenstvovanie tehnologii sushki plodov rjabiny s razrabotkoj vibracionnogo sushil'nogo apparata: Dis. kand. tehn. nauk: 05.20.01 Michurinsk, 2006 144 s. RGB OD, 61:06-5/2921 21.

8. Lazin P.S., Shherbakov S.Ju. Improvement of process of drying of fruit and berry production with application of drum drying / Aktual'nye problemy agrarnoj nauki, proizvodstva i obrazovanija: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii molodyh uchenyh i specialistov na inostrannyh jazykah. – Voronezh: 2017. – S. 61-64.

9. Ogneva, O.A. Issledovanie funkcional'noj aktivnosti fruktovogo i ovoshhnogo syr'ja v kachestve komponentov kombinirovannyh produktov / O.A. Ogneva, L.V. Ponomarenko, M.P. Kovalenko // Molodoj uchenyj. – 2015. – № 15. – S. 137-140.

Отпечатано ООО «Максимал информационные технологии»
398017, г. Липецк, ул. Ушинского, 8
Email: naukacr@yandex.ru. Тел. +7 (920) 246-20-64:
Подписано в печать 18.04.2018 Заказ № 60513-01
Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Печать электрографическая.
Гарнитура Times. Объем – 9,46 усл. печ. л. Тираж 100 экз.