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

Периодическое печатное издание, журнал Periodical printed edition, magazine

Включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в международную базу данных Agris

№ 4 (64), 2023 г.

Основан в 2012 г. It is based in 2012.

Выходит 6 раз в год There are 6 times a year

Учредитель и издатель журнала:

***Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»* (ФГБНУ ВНИИТиН)**

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПЕЧАТНОГО ИЗДАНИЯ, ЖУРНАЛА

«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ SCIENCE IN THE CENTRAL RUSSIA»

АФОНИЧЕВ Дмитрий Николаевич - заведующий кафедрой «Электротехники и автоматики» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», доктор технических наук, профессор

БАЛАБАНОВ Виктор Иванович – заведующий кафедрой «Организации и технологии гидромелиоративных и строительных работ» ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», доктор технических наук, профессор

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

ЖАЛНИН Эдуард Викторович – заведующий отделом технологий и оборудования для зерновых, зернобобовых и масличных культур ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», доктор технических наук, профессор

ЗАВРАЖНОВ Анатолий Иванович – главный научный сотрудник ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», академик РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ

КАЗАКЕВИЧ Пётр Петрович – заместитель председателя президиума Национальной академии наук Республики Беларусь, член-корреспондент национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, иностранный член РАН

КАРТОШКИН Александр Петрович – профессор кафедры «Автомобили, тракторы и технический сервис» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», доктор технических наук, профессор

КНЯЗЕВА Лариса Геннадьевна – главный научный сотрудник лаборатории хранения и защиты техники от коррозии ФГБНУ ВНИИТиН, доктор химических наук, доцент

КОВАЛЕВ Михаил Михайлович – научный руководитель ФГБНУ ВНИИМЛ, доктор технических наук, заслуженный изобретатель РСФСР, академик российской академии естественных наук, Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники

КОРНЕВ АЛЕКСЕЙ ЮРЬЕВИЧ – заместитель главного редактора, ведущий научный сотрудник лаборатории использования моторного топлива с возложением обязанностей Ученого секретаря ФГБНУ ВНИИТиН, кандидат технических наук

КРАСНЯНСКИЙ Михаил Николаевич – ректор ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», профессор РАН, доктор технических наук, профессор

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

ЛОБАЧЕВСКИЙ Яков Петрович – академик-секретарь Отделения сельскохозяйственных наук РАН, академик РАН, доктор технических наук, профессор, Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники

МАНАЕНКОВ Константин Алексеевич – директор Инженерного института ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет, доктор технических наук, профессор

МАШКОВ Алексей Николаевич – главный редактор, заместитель директора по научной работе ФГБНУ ВНИИТиН, кандидат технических наук

ОРОБИНСКИЙ Владимир Иванович – декан агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», доктор сельскохозяйственных наук, профессор

ОСТРИКОВ Валерий Васильевич – заместитель главного редактора, исполняющий обязанности директора ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор

САФОНОВ Валентин Владимирович – профессор кафедры «Техническое обеспечение АПК» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.В.Вавилова», доктор технических наук, профессор

ФЕДОРЕНКО Вячеслав Филиппович – заместитель директора ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, академик РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ

BIANCO Vincenzo – Department of mechanical, energy, management end transportation engineering, Univercity of Genoa, Italy, Ph.D., Associate Professor

VIGDOROVITSCH Michael – Geschäftsführer ANGARA GmbH, Düsseldorf, Deutschland, doktor fiziko-matematicheskih nauk (Doktor der physikalischen und mathematischen Wissenschaften) Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry Russian Academy of Sciences

© «Наука в центральной России Science in the central Russia», 2023

«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ SCIENCE IN THE CENTRAL RUSSIA»

Периодическое печатное издание, журнал Periodical printed edition, magazine
Включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в международную базу данных Agris
№ 4 (64), 2023 г.
Основанв 2012 г. It is based in 2012.
Выходит 6 раз в год There are 6 times a year

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ
ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПЕЧАТНОГО ИЗДАНИЯ, ЖУРНАЛА
«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ SCIENCE IN THE CENTRAL RUSSIA»

4.3.1 Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

АНАШКИН Александр Витальевич – главный научный сотрудник лаборатории управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук
ВЕДИЩЕВ Сергей Михайлович – заведующий кафедрой «Агроинженерия» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», доктор технических наук, профессор
ДОРОВСКИХ Владимир Иванович – заведующий лабораторией управления качеством технологических процессов в животноводстве ФГБНУ ВНИИТиН, кандидат технических наук, доцент
ЕРОХИН Геннадий Николаевич – заведующий лабораторией использования зерноуборочной техники ФГБНУ ВНИИТиН, кандидат технических наук
НАГОРНОВ Станислав Александрович – главный научный сотрудник лаборатории использования моторного топлива ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор
ПЕТРАШЕВ Александр Иванович – заведующий лабораторией хранения и защиты техники от коррозии ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук
РЫКОВ Виктор Борисович – главный научный сотрудник отдела механизации растениеводства структурного подразделения «СКНИИМЭСХ» ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», доктор технических наук
ТИШАНИНОВ Николай Петрович – заведующий лабораторией управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор
УЛЮКИНА Елена Анатольевна - профессор кафедры материаловедения и технологии машиностроения ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», доктор технических наук, доцент
ХАКИМОВ Рамиль Тагирович – заведующий кафедрой «Автомобили, тракторы и технический сервис» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», доктор технических наук, доцент
ХОХЛОВ Алексей Леонидович – заведующий кафедрой «Эксплуатация мобильных машин и технологического оборудования» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина», доктор технических наук, профессор
ЧЕРНИКОВ Дмитрий Вячеславович – ведущий программист ФГБНУ ВНИИТиН
ШУВАЛОВ Анатолий Михайлович – главный научный сотрудник лаборатории использования топливно-энергетических ресурсов в стационарной энергетике сельского хозяйства ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор
ЩЕРБАКОВ Сергей Юрьевич – заведующий кафедрой «Технологические процессы и техносферная безопасность» ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», кандидат технических наук, доцент

Редакция

Журнал «Наука в центральной России Science in the central Russia»
Учредитель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»
Главный редактор: Машков А.Н.; заместитель главного редактора: Корнев А.Ю.
№ 4 (64). Дата выхода в свет 31.08.2023. Тираж - 100 экз. Свободная цена. Подписной индекс 25196.
Адрес редакции и издателя: 392022, Тамбовская обл., г. Тамбов, пер. Ново-Рубежный, д. 28, тел. 8(4752) 44-64-14; e-mail: viitin@mail.ru
Отпечатано в типографии «Студия печати Галины Золотовой». Адрес типографии: 392032, Тамбовская обл., г. Тамбов, ул. Кленовая, д. 24. e-mail: studiapechati@bk.ru.
Периодическое печатное издание, журнал «Наука в центральной России Science in the central Russia» зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 77 - 66036 от 10.06.2016 г

© «Наука в центральной России Science in the central Russia», 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ, ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Скорляков В.И., Ревенко В.Ю.
ВЛИЯНИЕ ВЕСА ЖАТКИ НА ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОЛЕС ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА НА ПОЧВУ.....5
Ведищев С.М., Завражнов А.И., Прохоров А.В., Ложкина Е.Б., Выгузов М.Е.
ЭЛЕКТРОГИДРОМЕХАНИЧЕСКАЯ МОБИЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА.....14
Шувалов А.М., Машков А.Н., Попов М.А.
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРОЧНОГО КОТЛА ОПТИМИЗАЦИЕЙ РАБОТЫ ГАЗОВОЙ ГОРЕЛКИ.....20
Филиппова О.Б., Машков А.Н., Фролов А.И., Бетин А.Н.
К ВОПРОСУ О ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ СЕМЯН РЫЖИКА ПОСЕВНОГО ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ.....28
Васильев В.В., Афоничева Д.Д., Аксенов И.И.
УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ БУНКЕР ДЛЯ ХРАНЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ..... ..37
Пиляев С.Н., Афоничев Д.Н., Врагов С.А.
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ..... ..47

МЕТОДЫ, СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЙ И ИСПЫТАНИЙ МАШИН, ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Бойков В.М., Старцев С.В., Павлов А.В., Нестеров Е.С.
РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЛУГА-РЫХЛИТЕЛЯ В АГРЕГАТЕ С ТРАКТОРОМ ТЯГОВОГО КЛАССА 5 56
Стрыгин С.П., Пустоваров Н.Ю., Хайруллина С.Г., Конкина В.В., Заводнов А.С.
ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ПУНКТИРНО–ГНЕЗДОВОГО СПОСОБА ПОСЕВА.....63
Щегольков А. В., Земцова Н В., Щегольков А. В.
РЕЖИМНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ИНФРАКРАСНЫХ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АПК……72

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ, МЕТАЛЛОВ, ТЕХНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ, ИЗДЕЛИЙ, МАШИН, ОБОРУДОВАНИЯ, ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

Сергеев К.Л., Дечко М.М.
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЯЗКОСТИ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАЗМЕРА МАСЛЯНЫХ КАПЕЛЬ, КОНЦЕНТРАЦИИ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ И ВВЕДЕНИЯ ТВЕРДОФАЗНЫХ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ МОДИФИКАТОРОВ..... ..82
Анюгин Н.П., Молочников Д.Е., Мухитов А.З., Морозов А.В., Яковлев С.А.
К ВОПРОСУ ПРОТЕКАНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА НАВОЗОУБОРОЧНОМ ОБОРУДОВАНИИ..... ..88
Мещерякова Ю.В., Бусин И.В., Нагорнов С.А., Щегольков А.В.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМОВ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ МОТОРНОГО ТОПЛИВА..... ..96
Князева Л.Г.
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНГИБИРОВАННОГО РАПСОВОГО МАСЛА ДЛЯ ЗАЩИТЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ В ПРИСУТСТВИИ ДИОКСИДА СЕРЫ В АТМОСФЕРЕ..... 107

CONTENTS

METHODS, INSTRUMENTS FOR RESEARCH AND TESTING MACHINERY, EQUIPMENT AND TECHNOLOGIES FOR THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Skorlyakov V., Revenko V.
THE IMPACT OF THE WEIGHT OF THE HARVESTER ON THE VERTICAL EFFECTS OF THE WHEELS OF THE COMBINE HARVESTER ON THE SOIL 5
Vedishchev S., Zavrazhnov A., Prokhorov A., Lozhkina E., Vyguzov M.
ELECTROHYDROMECHANICAL MOBILE PLATFORM 14
Shuvalov A., Mashkov A., Popov M.
INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE BOILER BY OPTIMIZING THE OPERATION OF THE GAS BURNER 20
Filippova O., Mashkov A., Frolov A., Betin A.
ON THE ISSUE OF HEAT TREATMENT OF GINGER SEEDS FOR USE IN ANIMAL HUSBANDRY 28
Vasiliev V., Afonicheva D., Aksenov I.
ADVANCED CYLINDRICAL STORAGE BIN FOR AGRICULTURAL PRODUCTS 37
Pilyaev S., Afonichev D., Vragov S.
IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF AN ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE IN AGRICULTURE..... ..47

METHODS AND TOOLS FOR OPTIMIZING TECHNOLOGIES, PARAMETERS AND OPERATION MODES OF MACHINERY AND EQUIPMENT

Boykov V., Startsev S., Pavlov A., Nesterov E.
RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF A RIPPER PLOUGH IN AN AGGREGATE WITH A TRACTOR OF TRACTION CLASS 5 56
Strygin S., Pustovarov N., Khairullina S., Konkina V., Zavodnov A.
INVESTIGATION OF QUALITATIVE INDICATORS OF EVALUATION OF DOTTED–NEST SOWING METHOD.....63
Shchegolkov Alexander, Zemtsova N., Shchegolkov Alexey
MODE PARAMETERS OF INFRARED ELECTRIC HEATERS BASED ON NANOMODIFIED ELASTOMERS FOR TECHNOLOGICAL PROCESSES IN AGRICULTURAL COMPLEXMETHODS AND TOOLS FOR OPTIMIZING TECHNOLOGIES, PARAMETERS AND OPERATION MODES OF MACHINERY AND EQUIPMENT……72

METHODS FOR ASSESSING THE QUALITY OF MATERIALS, METALS, TECHNICAL LIQUIDS, PRODUCTS, MACHINES, EQUIPMENT, PRODUCTION LINES IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Sergeev K., Dechko M.
INVESTIGATION INTO CHANGES IN THE COOLANT VISCOSITY DEPENDING ON THE OIL DROPLETS SIZE, THE CONCENTRATION OF THE DISPERSED PHASE AND THE INTRODUCTION OF SOLID-PHASE HIGHLY DISPERSED MODIFIERS 82
Ayugin N., Molochnikov D., Muhitov A., Morozov A., Yakovlev S.
ON THE ISSUE OF THE COURSE OF CORROSION PROCESSES ON MANURE HARVESTING EQUIPMENT..... .88
Meshcheryakova Y., Busin I., Nagornov S., Shchegolkov A.
DETERMINATION OF ULTRASONIC CAVITATION TREATMENT MODES MOTOR FUEL 96
Knyazeva L.
EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF INHIBITIONED RAPSE OIL FORPROTECTION OF AGRICULTURAL MACHINERY IN THE PRESENCE OF SULFUR DIOXIDE IN THE ATMOSPHERE 107

Тип статьи: научная
УДК 631.55
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-4-5-13

ВЛИЯНИЕ ВЕСА ЖАТКИ НА ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОЛЕС ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА НА ПОЧВУ

Виктор Иосифович Скорляков [1]***, Валерий Юрьевич Ревенко*** [2]
[1,2] *Росинформагротех, Р.п. Правдинский, Московская область, Россия*
[1]skorlv@yandex.ru
[2]skskniish@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0003-0336-5323

Автор ответственный за переписку: Валерий Юрьевич Ревенко, skskniish@rambler.ru
Corresponding author Valerij Revenko, skskniish@rambler.ru

Реферат. *С ростом пропускной способности молотилок, предлагаемых на рынке зерноуборочных комбайнов и расширением размерного ряда рекомендуемых для них жаток с учетом различий несущей способности почв в конкретных хозяйствах необходим обоснованный выбор ширины жатки с учетом передачи ее веса на почву через передние колеса комбайна.* В работе рассматривали воздействие колесных движителей зерноуборочных комбайнов на почву с учетом различных вариантов их комплектации сменными адаптерами. П*редложен расчетный метод оценки изменения давления колес зерноуборочного комбайна на почву в зависимости от весовых характеристик рекомендуемых жаток. Суть метода заключена в совокупности последовательных действий по определению веса и координаты расположения центра тяжести выбираемой жатки и комбайна, с последующим нахождением реакции опор от их силового воздействия на колеса. При этом исключается проведение дополнительных развесовок комбайнов и обеспечивается возможность оперативного сравнения зерноуборочных комбайнов с разными жатками по уровню воздействия движителей на почву. С применением разработанного расчетного метода установлено, что при увеличении ширины жатки комбайна с 7 до 9,2 м (сопровождающееся ростом ее массы на 650 кг), вертикальная нагрузка на каждое ведущее колесо возрастет на 6,7 %, а уровень максимального давления на почву движителей передней оси – на 3,4 %. Данные результаты получены для варианта применения жатки на весу, что соответствует применяемому безопорному копированию поверхности поля. Разработанный способ экспресс-оценки позволяет решить проблему обоснованного выбора зерноуборочного комбайна с наименьшим давлением на почву, без взвешивания комбайна с заполненным бункером в каждой из вероятных комплектаций жатками.*

Ключевые слова: *зерноуборочный комбайн, давление на почву, жатка, метод оценки.*

THE IMPACT OF THE WEIGHT OF THE HARVESTER ON THE VERTICAL EFFECTS OF THE WHEELS OF THE COMBINE HARVESTER ON THE SOIL

Victor Skorlyakov [1]***, Valery Revenko***[2]
[1,2] *Rosinformagrotekh. Pravdinsky Township, Moscow Region, Russian Federation*
[1]skorlv@yandex.ru
[2]skskniish@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0003-0336-5323

Abstract. *With the increase in the throughput of threshers offered on the market of combine harvesters and the expansion of the size range of headers recommended for them, taking into account differences in the bearing capacity of soils in specific farms, it is necessary to make a reasonable choice of the header width, taking into account the transfer of its weight to the soil through the front wheels of the combine. The impact of wheel propellers of combine harvesters on the soil, taking into account various options for their configuration with interchangeable adapters, was considered in the work. A calculation method for assessing the change in the pressure of the wheels of a combine harvester on the*

soil, depending on the weight characteristics of the recommended headers, is proposed. The essence of the method lies in the set of sequential actions to determine the weight and coordinates of the center of gravity of the selected header and combine, followed by finding the reaction of the supports from their force impact on the wheels. At the same time, additional weight distribution of combines is excluded and it is possible to quickly compare combine harvesters with different headers in terms of the impact of propellers on the soil. Using the developed calculation method, it was found that with an increase in the width of the harvester header from 7 to 9.2 m (accompanied by an increase in its mass by 650 kg), the vertical load on each drive wheel will increase by 6.7%, and the level of maximum pressure on the soil of the movers front axle - by 3.4%. These results were obtained for the option of using the header on the weight, which corresponds to the applied unsupported copying of the field surface. The developed method of express assessment allows solving the problem of a reasonable choice of a combine harvester with the least pressure on the soil, without weighing the combine with a filled hopper in each of the possible configurations with headers.

Keywords: *combine harvester, soil pressure, harvester, evaluation method.*

Для цитирования: Скорляков В.И., Ревенко В.Ю. Влияние веса жатки на вертикальные воздействия колес зерноуборочного комбайна на почву // Наука в центральной России. 2023. Т. 64, № 4. С. 5-13. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-5-13.

For citation: Skorlyakov V., Revenko V. The impact of the weight of the harvester on the vertical effects of the wheels of the combine harvester on the soil. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 64(4): 5-13. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-5-13.

Введение. Негативные последствия переуплотнения почв тяжелой техникой широко известны [1, 2]. В большей степени исследования вопросов переуплотнения почв относятся к технологическим процессам с использованием машинно-тракторных агрегатов (МТА) при возделывании сельскохозяйственных культур. Уборочной технике уделяется значительно меньшее внимание. Однако с ростом размерно-весовых параметров комбайнов их воздействия на почву увеличиваются. При этом, как отмечено в [3], зерноуборочный комбайн оказывает давление на почву даже большее, чем трактор К-701.

Одной из причин несоответствия фактического максимального давления на почву и допустимого действующим стандартом [4], является игнорировании при оценках и расчетах дополнительных воздействий на колеса современного зерноуборочного комбайна его жатвенной части.

Для адаптации комбайна каждой марки к зональным хозяйственно-производственным условиям рекомендуется размерный ряд из нескольких жаток, но на испытания комбайн поступает в какой-либо одной комплектации. При этом при испытаниях на МИС, в одних случаях нагрузку движителей на опорное основание (так называемую развесовку) выполняют в комплектации с жаткой, в других – без жатки. В результате отсутствует достоверная исходная информация для объективного расчета максимального давления комбайнов на почву и, как показывает проведенный анализ [5], значительно занижаются показатели негативного воздействия тяжелой уборочной техники на почву.

В условиях тенденции роста производительности зерноуборочных комбайнов и соответствующего увеличения размерно-весовых характеристик рекомендуемых для них жаток, увеличиваются динамические нагрузки, передаваемые от жаток на ведущие колеса комбайнов (особенно при их безопорном копировании поверхности поля). Учет данного фактора необходим для более точного определения воздействия ходовых органов комбайнов на почву. Но, в настоящее время отсутствует простой и надежный алгоритм оценки давления на почву предлагаемых на рынке комбайнов, с учетом всех вариантов комплектования их жатками, что ограничивает возможности обоснованного выбора более экологичной техники. А с учетом того, что проведение натурных взвешиваний во всех вариантах комплектаций является проблематичным, актуальна выработка приемлемого для специалистов–производственников упрощенного метода расчета давления ходовых органов комбайнов на почву, с учетом веса различных сменных адаптеров.

Цель исследования – обоснование способа оценки воздействия колесных движителей зерноуборочных комбайнов на почву с учетом различных вариантов их комплектации сменными адаптерами.

Материалы и методы исследований. Определение максимального давления зерноуборочных комбайнов на почву выполняли с учетом реальных производственно-хозяйственных условий и особенностей уборочного процесса, в контексте возникновения дополнительных нагрузок на оси от параметров применяемых сменных адаптеров (из их рекомендуемого ряда).

С учетом возможности комплектования комбайна жатками разной ширины и металлоемкости, в зависимости от зон применения комбайна, был разработан общий методический подход для определения величины дополнительного воздействия на колеса комбайна весом жатки.

Величину максимального давления на почву движителей передней оси определяли в варианте применения жатки на весу (что соответствует применяемому безопорному копированию поверхности поля).

Известно, что жатки являются отдельным объектом испытаний, результаты которых публикуются в открытой печати в виде протоколов. При расчетах исходили из идентичности соотношения размеров жаток разных фирм в боковом сечении, с последующим уточнением горизонтальной координаты их центра тяжести относительно задней стенки посредством развесовок двух комбайнов с жатками и без жаток.

Для расчета воздействия жаток комбайнов на передние колеса определяли расстояние от оси до центра тяжести жатки. Расстояния между векторами приложения сил определяли с помощью масштабирования графических компоновочных изображений комбайнов, приводимых в технической документации. На рисунке 1 в качестве примера приведена конструктивная схема комбайна ДОН-1500Б с приложенными к нему статическими нагрузками.

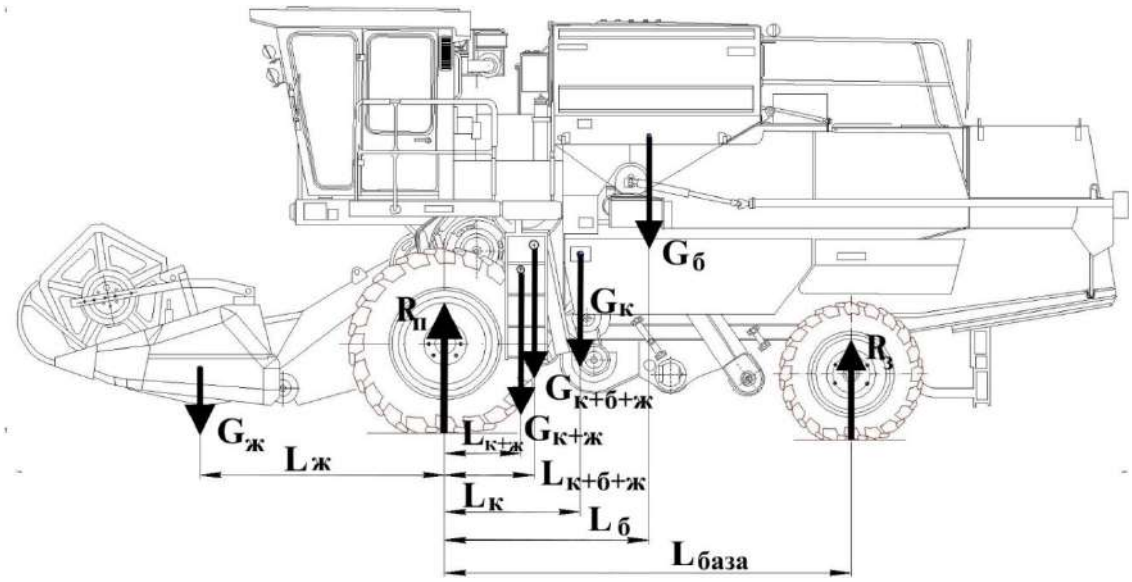


Рисунок 1– Схема приложения сил к комбайну ДОН-1500Б в различных комплектациях

Из уравнения моментов сил, приложенных к точке соприкосновения передней оси комбайна к опорному основанию, определяли горизонтальную координату центра тяжести комбайна без адаптера ($L_к$). Уравнение моментов сил:

$$G_к \cdot L_к = R_з \cdot L_{база} \ , \quad (1)$$

где: $G_к$ – вес зерноуборочной машины без жатки, кН, $R_з$ – реакция опоры под задней осью, кН (определяется по результатам развесовки); $L_{база}$ – база комбайна, мм.

Тогда:
$$L_к = \frac{R_з \cdot L_{база}}{G_к} \quad (2)$$

Аналогичным образом определяли горизонтальную координату центра тяжести комбайна с адаптером.

В соответствии с законами технической механики, расположение координаты центра тяжести жатки относительно точки опоры передней оси (или вынос жатки $L_ж$) можно определить из следующей пропорции:
$$G_{к+ж} \cdot L_{к+ж} = G_к \cdot L_к - G_ж \cdot L_ж \quad (3)$$

Тогда вынос жатки определится следующим образом:
$$L_ж = \frac{G_к \cdot L_к - G_{к+ж} \cdot L_{к+ж}}{G_{к+ж}} \quad (4)$$

Распределение нагрузки от движителей зерноуборочного комбайна на опорную поверхность определяли по ГОСТ Р 58656-2019 [6].

Результаты и обсуждение. При испытаниях на МИС проводят определение веса комбайна с применением платформенных весов с целью выявления соответствия технической характеристике. Но учитывая возможность комплектации комбайнов адаптерами разной ширины, общий вес машины может изменяться в значительной степени. Например, у комбайна GS812 производства ООО «Гомсельмаш» масса рекомендуемых жаток, может варьировать от 1320 до 2800 кг (табл. 1). При этом прослеживается тенденция некоторого снижения удельной металлоемкости жаток с ростом их ширины захвата.

Таблица 1 – Характеристики жаток, рекомендуемых для комбайна GS812 PRO Гомсельмаш

Показатели	Рекомендуемые жатки				
	ЖЗК-4	ЖЗК-5	ЖЗК-6	ЖЗК-7	ЖЗК-9,2
Ширина захвата, м	4	5	6	7	9,2
Масса, кг	1320	1750	1900	2150	2800
Удельная масса, кг/м	330	350	317	307	304

Рассмотрим, как влияет изменение веса жатки на догрузку колес передней оси и изменение величины максимального давления шин на почву у уборочной техники в той или иной комплектации.

При решении данной задачи исходили из следующей предпосылок: первое – профиль, состав узлов и их взаимное расположение у наиболее широко применяемых зерновых жаток, навешиваемых на комбайны, идентичны. Второе – консольное расположение рекомендуемых к применению жаток относительно передней оси комбайна создает условия для повышения давления ведущих колес на почву.

По результатам нахождения расстояния от оси передних колес до центра тяжести нескольких жаток, с последующим определением среднего значения и оценки погрешности среднего значения, представляется возможным использования полученного осредненного результата при расчетах нагрузки на колеса других комбайнов.

Для получения более точных значений рекомендуем следующий расчетный метод. По формуле (2) находим координату центра тяжести зерноуборочного комбайна, например, Акрос 550 с навешенным адаптером:
$$L_{к+ж} = \frac{R_з \cdot L_{база}}{G_{к+ж}} = \frac{48{,}0 \cdot 4030}{163{,}2} = 1185 \text{ мм}$$

где: $G_{к+ж}$ – вес зерноуборочной машины с жаткой: 163,2 кН (определяется по результатам развесовки); $L_б$ – база (межосевое расстояние) 4030 мм; $R_з$ – нагрузка на задний мост при навешенной жатке 48,0 кН.

Процесс взвешивания (развесовки) комбайна с жаткой и без нее приведен на рисунках 2 и 3.

Рисунок 2 – Развесовка зерноуборочного комбайна «Акрос-550» на электронных весах без адаптера

Рисунок 3 – Развесовка комбайна с навешенным адаптером

По формуле (4) рассчитаем горизонтальную координату центра тяжести (ц.т.) жатки по результатам взвешивания комбайна без адаптера и с навешенным адаптером.

$$L_ж = \frac{G_к \cdot L_к - G_{к+ж} \cdot L_{к+ж}}{G_ж} = \frac{141{,}9 \cdot 1715 - 163{,}2 \cdot 1185}{21{,}1} = 2415 \text{ мм}$$

где: $G_к$ – вес зерноуборочной машины без жатки:141,,9 кН, $G_{к+ж}$ – вес зерноуборочной машины с жаткой: 163,2 кН (определяется по результатам развесовки); $L_к$ – расположение ц.т. комбайна без жатки: 1715 мм; $L_{к+ж}$ – координата ц.т. комбайна с учетом веса жатвенной части: 1185 мм; $G_ж$ – вес жатки, 21,1 кН.

В результате расчета расстояния от центра тяжести жатки до передней оси комбайна КЗС 3218 с 7-метровой жаткой получено значение 2,42 м. Очевидно, что, как наличие зерна в бункере, так и навешенный адаптер существенно изменяют нагрузку на колеса в сравнении с развесовкой при пустом бункере и без жаток (таблица 2).

Таблица 2 - Доля нагрузки на переднюю ось от общего веса зерноуборочного комбайна.

Вариант комплекта-ции	Марка комбайна						Среднее, с 95%-м доверительным интервалом	Коэффициет вариации, %
	Нива-эффект	Дон-1500Б	New Holland-CX8080	Torum-780	КЗС-812	Fendt-6300		
Пустой бункер, без жатки	0,71	0,67	0,56	0,52	0,52	0,73	0,62±0,10	15,5
Пустой бункер, с жаткой	0,85	0,81	0,73	0,63	0,62	0,86	0,75±0,11	14,3
Полный бункер с жаткой	0,85	0,74	0,75	0,73	0,63	0,85	0,76±0,09	11,0
Полный бункер, без жатки	0,77	0,63	0,62	0,65	0,55	0,76	0,66±0,09	12,9

Из таблицы 2 видно, что при навешивании на комбайны жаток доля нагрузки на переднюю ось от общего веса комбайна с пустым бункером изменяется в среднем на 13 % (с 62 до 75 %). При заполненном бункере данное изменение в среднем составляет 10 % (рост с 66 до 76 %).

В результате оценок шести комбайнов различных марок без жаток и с пустыми бункерами, установлена сравнительно высокая вариабельность доли нагрузки на колеса передней оси – 15,5 %. Несколько меньшая вариабельность получена в комплектации с жатками –14,3 %. Очевидно, что на распределение нагрузок по осям большое влияние оказывают различия конструкций и компоновочных схем комбайнов. В связи с этим расчеты нагрузок на колеса необходимо проводить индивидуально для комбайна каждой марки.

Разработанный метод расчета позволяет определять нагрузку на наиболее нагруженные колеса передней оси зерноуборочного комбайна при его укомплектовании жатками разных размеров без проведения дополнительных натурных развесовок.

Исходя из возможных вариантов комплектации комбайна GS812 PRO жатками, представленными в таблице 1, и проведенных расчетов, получили значения вертикальных воздействий на колеса передней оси с учетом нагрузки от консольно навешенных жаток (таблица 3).

Из таблицы 3 следует, что с ростом размера, а, следовательно, и веса навешиваемой на комбайн жатки с 1320 до 2800 кг (в 2,12 раза) вертикальное усилие на каждое ведущее колесо увеличится на 16,8 % (с 687,7 до 803,0 кН). При этом максимальное давление колеса увеличивается в меньшей степени – в 1,12 раза (рисунок 5).

Таблица 3 – Изменения воздействий на колеса передней оси с применением жаток, рекомендуемых для комбайна GS812 PRO

Тип жатки	Масса, кг	Вертикальное усилие на ведущее колесо, кН		Площадь пятна контакта шины, м^2	
		С пустым бункером	С заполненным бункером	С пустым бункером	С заполненным бункером
ЖЗК-4	1320	687,7	933,4	0,436	0,508
ЖЗК-5	1750	721,2	966,9	0,447	0,517
ЖЗК-6	1900	732,9	978,6	0,450	0,520
ЖЗК-7	2150	752,4	998,1	0,456	0,525
ЖЗК-9,2	2800	803,0	1048,7	0,471	0,539

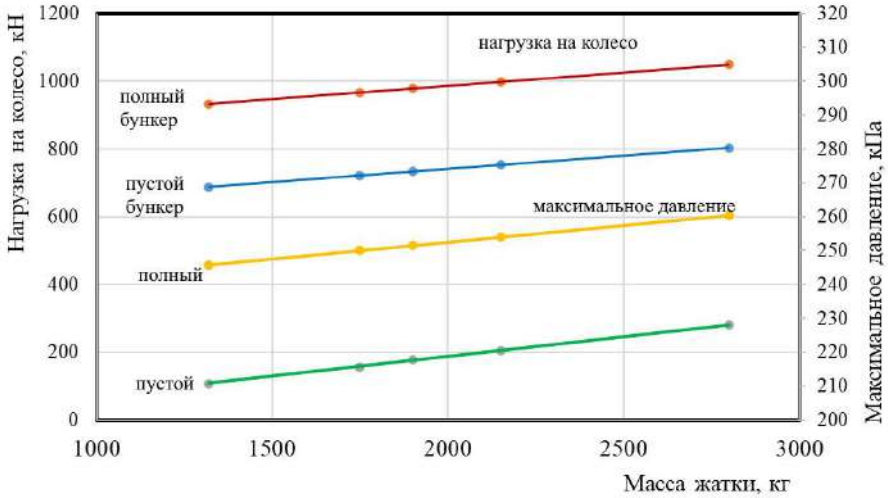


Рисунок 5 – Влияние веса жатки на вертикальные силовые воздействия на почву ведущего колеса комбайна при пустом и заполненном бункере

Вполне очевидно, что это связано с некоторым увеличением площади пятна контакта шины при увеличении вертикальной нагрузки на ось (на 8,1 % при пустом бункере и на 6,1 % - при заполненном). В результате происходит некоторое компенсаторное ограничение роста значения среднего удельного давления колеса, как исходного показателя для расчета максимального давления. Необходимо отметить, что значительно большие приросты вертикальной нагрузки на колесо и максимального давления на почву происходят при заполнении бункера зерном - на 30,6-35,7 %.

В ряде случаев в сельхозпредприятиях предприятиях можно наблюдать применение 7-метровых жаток не только на комбайнах ДОН 1500, но и на современных мощных комбайнах (Торум 780 и др.). В связи с ростом урожайности и пропускной способности новых комбайнов для конкретных производственных условий сохраняется актуальность обоснованного выбора ширины жатки для приобретаемого комбайна. В настоящее время в связи с расширением производства жаток увеличенных размеров такой выбор становится возможным.

С точки зрения воздействия комбайна на почву при выборе ширины жатки необходимо учитывать следующие обстоятельства:

- первое - увеличение ширины жатки уменьшает относительную ширину и площадь уплотненных следов. Например, использование вместо 7-метровой жатки адаптера шириной 9,2 м сокращает уплотняемую площадь с 26,4 до 20,0 % (при ширине следа шин 0,9 м).

- второе – известно, что увеличение нагрузки на ось способствует росту негативного влияния движителей на почву и её последующую деградацию. Однако, использование более широких и

массивных адаптеров не сильно влияет на изменение максимального давления колес на почву. Так, при увеличении ширины жатки на 2,2 м (или на 650 кг) вертикальная нагрузка на каждое переднее колесо увеличивается на 506 кг (на 6,7 %), что соответствует приросту максимального давления при незаполненном зерном бункере на 3,4 % (с 220,5 до 228,1 мПа).

При отсутствии достоверных сравнительных оценок эколого-экономического ущерба от применения рассматриваемых жаток, представляется, что меньший ущерб для почвы от воздействия ведущих колес комбайна на убираемом поле будет получен с применением жатки с большей шириной захвата.

Выводы.

1. Предложенный расчетный метод оценки изменения давления колес зерноуборочного комбайна на почву в зависимости от весовых характеристик рекомендуемых жаток обеспечивает возможность оперативного сравнения зерноуборочных комбайнов с разными жатками по уровню воздействия движителей на почву. При этом исключается проведение дополнительных развесовок комбайнов.

2. С применением разработанного метода расчетов установлено, что увеличение веса жатки комбайна на 650 кг (при увеличении ширины с 7 до 9, 2 м) при безопорном копировании поверхности поля вертикальная нагрузка на каждое ведущее колесо увеличивается на 506 кг или на 6,7 % при увеличении максимального давления на почву – на 3,4 %.

3. Предлагаемый расчетный алгоритм позволяет спрогнозировать возможность использования адаптеров с разными весовыми характеристиками в хозяйствах с недостаточной несущей способностью почв, перед предстоящей эксплуатацией зерноуборочной техники.

Список источников

1. Русанов В.А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения. – М.: ВИМ, 1998. – 368 с.

2. Слюсаренко В.В. Механико-технологическое совершенствование движителей энергонасыщенных сельскохозяйственных тракторов и их влияние на агроэкологическое состояние почвы и ее продуктивность. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Саратов, 2000. – 469 с.

3. Кузыченко Ю.А. Изменение структуры поверхностного слоя почвы и экологическая совместимость мобильных машин с почвой // Известия Оренбургского государственного университета. - 2019. - № 4. - С. 20-22.

4. ГОСТ Р 58655-2019 Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву. М.: Стандартинформ. 2019. - 6 с.

5. Скорляков В.И., Ревенко В.Ю. Особенности воздействия на почву зерноуборочных комбайнов // Техника и оборудование для села. - 2022. - №1. - С. 25-29.

6. ГОСТ Р 58656-2019 Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву. М.: Стандартинформ. 2019. - 20 с.

References

1. Rusanov V.A. The problem of overconsolidation of soils by movers and effective ways to solve it. - M.: VIM, 1998. - 368 p.

2. Slyusarenko V.V. Mechanical and technological improvement of propellers of energy-saturated agricultural tractors and their impact on the agro-ecological state of the soil and its productivity. Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. - Saratov, 2000. - 469 p.

3. Kuzychenko Yu.A. Changing the structure of the surface layer of the soil and the ecological compatibility of mobile machines with the soil // News of the Orenburg State University. - 2019. - No. 4. - S. 20-22.

4. GOST R 58655-2019 Mobile agricultural machinery. Rules for the impact of propellers on the soil. M.: Standartinform. 2019. - 6 p.

5. Skorlyakov V.I., Revenko V.Yu. Features of the impact on the soil of grain harvesters // Technique and equipment for the village. - 2022. - No. 1. - S. 25-29.

6. GOST R 58656-2019 Mobile agricultural machinery. Methods for determining the impact of movers on the soil. M.: Standartinform. 2019. - 20 p.

Информация об авторах

В. И. Скорляков – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник; В. Ю. Ревенко – кандидат технических наук, ученый секретарь.

Information about the authors

V. Skorlyakov – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher; V. Revenko – Candidate of Technical Sciences, Scientific Secretary.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 23.07.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.08.2023

Тип статьи: научная
УДК 634.4.084
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-4-14-19

ЭЛЕКТРОГИДРОМЕХАНИЧЕСКАЯ МОБИЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА

Сергей Михайлович Ведищев [1], Анатолий Иванович Завражнов [2], Алексей Владимирович Прохоров [3], Екатерина Богдановна Ложкина [4], Максим Евгеньевич Выгузов [5]

[1,2,3,4,5]Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия
[2,4]Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия
[2]Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск, Россия
[1]serg666_65@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3759-9809,
[2]aiz@mgau.ru, https://orcid.org/0000-0003-3515-6112,
[3]pav1981@bk.ru, [4]lozhkina.ekaterina2016@gmail.com, [5]ele-vigozova@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Сергей Михайлович Ведищев, serg666_65@mail.ru
Corresponding author: Sergey Vedishchev, serg666_65@mail.ru

Реферат. *Сводообразование при настройке дозирующих органов ухудшает качество работы кормораздатчика, особенно при выдаче малых доз. Применение в составе кормораздатчика мобильной электрогидромеханической платформы позволяет снизить стоимость материалов в линии кормораздачи и расширить функциональные возможности кормораздающего оборудования. Количество выдаваемого в кормушку кормовой смеси такими кормораздатчиками может изменяться за счет управления скоростью перемещения электрогидромеханической платформы вдоль непрерывного ряда кормушек, что позволяет нивелировать нарушение показателей работы дозирующих органов при выдаче малых доз кормов.Получена аналитическая зависимость определения влияния на норму нормы выдачи корма от производительности дозирующего органа и параметров электрогидромеханической мобильной платформы (производительность дозирующего устройства, параметры ходовой части и ряд других). Пневматическая шина электрогидромеханической мобильной платформы подвержена деформации. Радиус качения пневматического колеса необходимо учитывать при определении действительной скорости перемещения мобильной электрогидромеханической платформы. Изменяющаяся масса корма в кормораздатчике при раздаче изменяет радиус качения колеса, а также количество корма, выдаваемого в групповую или непрерывную кормушку. Разработаны методика и экспериментальная установка изучения изменения радиуса качения колеса от вертикальной нагрузки состоящая из электрогидромеханической платформы, опирающейся колесом на рычаг, связанный с весовым устройством. Приведены уровни варьирования и факторы (давления в пневматической шине и величина вертикальной нагрузки), а также критерий оценки (величина деформации пневматической шины, определяемая радиусом качения пневматической шины). Полученные экспериментальные зависимости имеют нелинейный характер. Исследования показали, что при величине давления в шине колеса более 1,5 МПа при увеличении вертикальной нагрузки более 150 кг на одно колесо изменение поступательной скорости кормораздатчика и радиус качения колеса находятся в допускаемых переделах и не превышают 5 %.*

Ключевые слова: *электрогидромеханическая мобильная платформа, норма выдачи, производительность, радиус качения, скорость*.

ELECTROHYDROMECHANICAL MOBILE PLATFORM

Sergey Vedishchev [1], Anatoly Zavrazhnov [2], Alexey Prokhorov [3], Ekaterina Lozhkina [4], Maxim Vyguzov[5]

[1,2,3,4,5] *Tambov state technical university, Tambov, Russia*
[2,4]*All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia*
[2] *Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia*
[1]serg666_65@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3759-9809,
[2]aiz@mgau.ru, https://orcid.org/0000-0003-3515-6112,
[3]pav1981@bk.ru, [4]lozhkina.ekaterina2016@gmail.com, [5]ele-vigozova@mail.ru

Abstract. *Vaulting when setting up dosing organs worsens the quality of the feed dispenser, especially when issuing small doses. The use of a mobile electrohydromechanical platform as part of the feed dispenser allows you to reduce the cost of materials in the feed distribution line and expand the functionality of the feeding equipment. The amount of feed mixture dispensed to the feeder by such feed dispensers can be changed by controlling the speed of movement of the electrohydromechanical platform along a continuous row of feeders, which makes it possible to neutralize the violation of the performance of dosing organs when issuing small doses of feed. The analytical dependence of determining the effect on the norm of the feed delivery rate on the performance of the dosing organ and the parameters of the electrohydromechanical mobile platform (the performance of the dosing device, the parameters of the chassis and a number of others) was obtained. The pneumatic tire of the electrohydromechanical mobile platform is subject to deformation. The rolling radius of the pneumatic wheel must be taken into account when determining the actual speed of movement of the mobile electrohydromechanical platform. The changing mass of feed in the feed dispenser during distribution changes the rolling radius of the wheel, as well as the amount of feed dispensed into a group or continuous feeder. A methodology and experimental setup for studying the change in the rolling radius of a wheel from a vertical load consisting of an electrohydromechanical platform supported by a wheel on a lever connected to a weighing device have been developed. The levels of variation and factors (pressure in the pneumatic tire and the amount of vertical load), as well as the evaluation criterion (the amount of deformation of the pneumatic tire, determined by the rolling radius of the pneumatic tire) are given. The experimental dependences obtained are nonlinear in nature. Studies have shown that when the pressure in the tire of the wheel is more than 1.5 MPa, with an increase in the vertical load of more than 150 kg per wheel, the change in the translational speed of the feed dispenser and the rolling radius of the wheel are within the permissible repartitions and do not exceed 5%.*

Keywords: *electrohydromechanical mobile platform, output rate, performance, rolling radius, speed.*

Для цитирования: Ведищев С.М., Завражнов А.И., Прохоров А.В., Ложкина Е.Б., Выгузов М.Е. Электрогидромеханическая мобильная платформа// Наука в Центральной России. 2023. Т. 64, № 4. С. 14-19. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-14-19.

For citation: Vedishchev S, Zavrazhnov A., Prokhorov A., Lozhkina E., Vyguzov A. Electrohydromechanical mobile platform. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 64(4): 14-19. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-14-19.

Введение. Раздача кормосмесей животным - заключительный процесс в их кормлении [1]. Как правило, количество выдаваемого корма животному определяется управляющим воздействием на соответствующий выгрузной дозирующий орган [1, 2, 3, 4]. Сводообразование при настройке дозирующих органов ухудшает качество работы кормораздатчика, особенно при выдаче малых доз.

Кормораздатчики ограниченной мобильности, выпускаемые серийно, перемещаются по рельсовым направляющим, соединяющим основные и вспомогательные помещения на животноводческой ферме [3]. Такая схема раздачи кормовых смесей животным не позволяет кормораздатчика перемещаться за пределы животноводческой фермы, а также резервирования при их ремонте или техническом обслуживании [5, 6]. Применение в составе кормораздатчика мобильной электрогидромеханической платформы (рисунок 1) позволяет снизить стоимость материалов в линии кормораздачи и расширить функциональные возможности кормораздающего оборудования [2, 3, 4, 5, 6, 7]. Количество выдаваемого в кормушку кормовой смеси такими

кормораздатчиками может изменяться за счет управления скоростью перемещения электрогидромеханической платформы вдоль непрерывного ряда кормушек [2, 3, 4, 5], что позволяет нивелировать нарушение показателей работы дозирующих органов при выдаче малых доз кормов.

Материалы и методы. Определим влияние на норму выдачи показателей электрогидромеханической мобильной платформы.

Линейную плотность корма, $q_м$ (кг/м), определяющую норму выдачи, находят по формуле [4]:

$$q_м = \frac{q_p \cdot m}{L_к} \quad (1)$$

где q_p – количество корма, выдаваемое одному животному за одну раздачу, кг;

m – количество животных на одно кормоместо, гол;

$L_к$ - длина кормоместа, м.

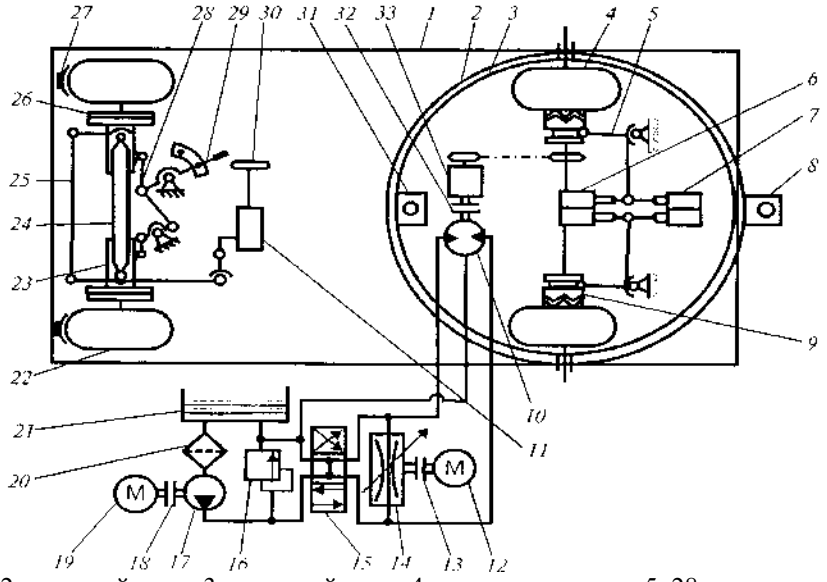
Исходя из технической характеристики кормораздатчика линейную плотность корма можно определить:

$$q_м = \frac{Q_n}{V_{агр} \cdot K_б} \quad (2)$$

где Q_n - производительность дозирующего органа, кг/с;

$V_{агр}$ – скорость перемещения кормораздатчика вдоль линии кормления, м/с;

$K_б$ – коэффициент буксования.



1 - рама; 2 – нижний диск; 3 – верхний диск; 4 – ведущие колеса; 5, 28 – системы рычагов; 6 – электромагниты рабочего хода; 7 - электромагниты холостого хода; 8 - прицепное устройство; 9 - муфты сцепления; 10 - гидромотор; 11 - рулевая колонка; 12 - исполнительный механизм; 13, 18, 32 - муфты; 14 – дроссель; 15 - гидрораспределитель; 16 - предохранительный клапан: 17 - гидронасос; 19 - электродвигатель; 20 - фильтр; 21 - бак; 22 - ведомые колеса; 23 - ползуны; 24 - мост; 25 - рулевая трапеция; 26 - цапфы; 27 - тормоз; 29 - фиксирующий рычаг; 30 - рулевое колесо; 31 - фиксатор; 33 - редуктор

Рисунок 1 - Схема мобильной электрогидромеханической платформы

Скорость перемещения кормораздатчика, установленного на электрогидромеханической мобильной платформе с пневматическими шинами, определяется частотой вращения двигателя, передаточным отношением трансмиссии и радиусом качения колеса:

$$V_{агр} = \frac{0{,}377 \cdot r_к \cdot n_д}{i_{тр}} \tag{3}$$

где $r_к$ – радиус качения колеса, м;

$n_д$ – частота вращения двигателя, $с^{-1}$;

$i_{тр}$ – передаточное число трансмиссии.

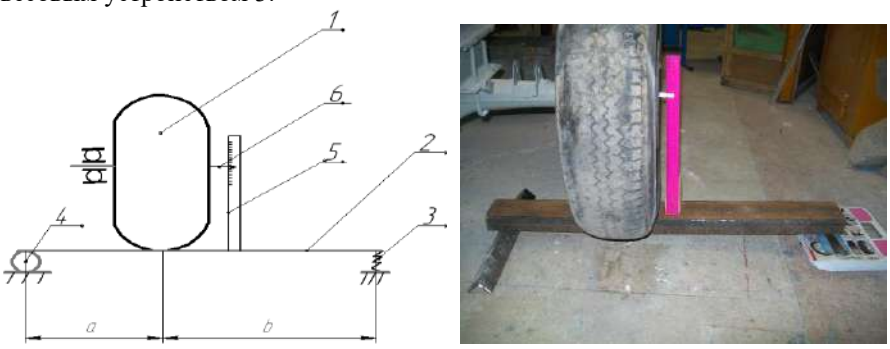
Подставим выражение (3) в (2) и, приравняв (2) с (1), выразим $q_{р.}$ Получим зависимость влияния на норму нормы выдачи корма от производительности дозирующего органа и параметров электрогидромеханической мобильной платформы:

$$q_р = \frac{Q_п \cdot L_к \cdot i_{тр}}{0{,}377 \cdot n_д \cdot r_к \cdot K_б \cdot m} \tag{4}$$

Результаты и их обсуждение. Пневматическая шина электромеханической мобильной платформы подвержена деформации. Ее размеры изменяются в зависимости от давления в пневматической шине, нагрузки и ряда других параметров.

Радиус качения пневматического колеса необходимо учитывать при определении действительной скорости перемещения мобильной электрогидромеханической платформы. Изменяющаяся масса корма в кормораздатчике при раздаче изменяет радиус качения колеса, а также количество корма, выдаваемого в групповую или непрерывную кормушку.

Для исследования рациональных параметров шины нами разработана экспериментальная установка изучения изменения радиуса качения колеса от вертикальной нагрузки состоящая из электрогидромеханической платформы, опирающейся колесом 1 (рисунок 2) на рычаг 2, связанный с весовым устройством 3.



а) б)

а) схема установки; б) общий вид;

1 – пневматическая шина; 2 – рычаг; 3 – весовое устройство; 4 – шарнир; 5 – линейка; 6 – указатель высоты

Рисунок 2 – Экспериментальная установка

После тарировки электрогидромеханическая мобильная платформа с пневматическими колесами устанавливалась на рычаг и в зависимости от давления в шине и величины нагрузки фиксировали изменение радиус качения пневматической шины (таблица 1).

Таблица 1 – Факторы и уровни их варьирования, критерии оценки

Параметры	Уровни варьирования факторов	Критерии оценки
Давление в шине, *p*, МПа	0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25	Радиус качения, $r_К$, м
Вертикальная нагрузка на колесо, *G*, кг	50; 100; 150; 200	

Величину вертикальной нагрузки, приходящейся на одно опорное пневматическое колесо, определяли из соотношения:

$$G = Q\frac{(a+b)}{b} \quad g \tag{5}$$

где Q – значение массы на циферблате весового устройства, кг;

a, b – расстояния рычагов (рисунок 2), м;

g - ускорение свободного падения, м/с^2.

Экспериментальные зависимости имеют нелинейный характер. Исследования показали, что при величине давления в шине колеса более 1,5 МПа (рисунок 3) при увеличении вертикальной нагрузки более 150 кг на одно колесо изменение поступательной скорости кормораздатчика и радиус качения колеса находятся в допускаемых переделах и не превышают 5 %.

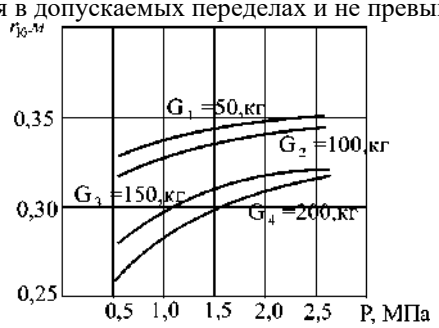


Рисунок 3 – Зависимости влияния на радиус качения колеса давления в шине (P) и вертикальной нагрузки (G)

Выводы:

- применение в составе кормораздатчика мобильной электрогидромеханической платформы позволяет устанавливать количество выдаваемого в кормушку кормовой смеси изменять за счет поступательной скорости перемещения мобильной платформы вдоль непрерывного ряда кормушек;
- скорость перемещения электрогидромеханической платформы на пневматических колесах зависит от радиуса качения колеса;
- результаты экспериментальных исследований показывают, что рациональное значение давления в шине должно быте не менее 1,5 МПа.

Список источников

1. Техническое обеспечение животноводства / А. И. Завражнов, С. М. Ведищев, М. К. Бралиев [и др.]. – Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2020. – 516 с. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-8114-6650-4. – EDN EPTMMD.

2. Обоснование эффективной системы раздачи кормов / С. М. Ведищев, А. И. Завражнов, А. В. Прохоров, М. К. Бралиев // Наука в центральной России. – 2020. – № 1(43). – С. 11-21. – DOI 10.35887/2305-2538-2020-1-11-21. – EDN CYCGZD.

3. Классификация бункерных кормораздатчиков для свиней / С. М. Ведищев, А. В. Прохоров, А. В. Милованов, Н. О. Милюков // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2014. – № 2(51). – С. 43-48. – EDN SFFAFB.

4. Оценки эффективности технологических линий приготовления и раздачи кормов в животноводстве / С. М. Ведищев, А. И. Завражнов, А. Н. Зазуля, А. В. Прохоров // Современная наука: теория, методология, практика : Материалы 1-ой Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Тамбов, 26–27 ноября 2019 года. – Тамбов: Издательство Першина Р.В., 2019. – С. 41-45. – EDN TFIDRT.

5. Исследование влияния ходовой части кормораздатчика на точность дозирования / С. М. Ведищев, А. И. Завражнов, А. В. Прохоров [и др.] // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации : Материалы Всероссийской заочной научно-практической конференции, Тамбов, 01–31 декабря 2017 года. Том Выпуск 1. – Тамбов: Издательство Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Тамбовский государственный технический университет", 2017. – С. 519-522. – EDN YQKKUH.

6. Ведищев, С. М. Выбор варианта системы раздачи кормов / С. М. Ведищев, В. Т. Щедрин, Е. К. Теплякова // Вестник ТГТУ. 1999. Т. 5, № 4. С 643 – 650.

7. Обоснование рациональной схемы ходовой части мобильного кормораздатчика / С. М. Ведищев, В. П. Капустин, А. В. Прохоров [и др.] // Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России: Материалы Национальной научно-практической конференции, Рязань, 22 ноября 2018 года. Том Часть 1. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2019. – С. 118-123. – EDN ZAUTUD.

References

1. Technical support of animal husbandry / A. I. Zavrazhnov, S. M. Vedishchev, M. K. Braliev [et al.]. – St. Petersburg: Publishing House "Lan", 2020. – 516 p. – (Secondary vocational education). – ISBN 978-5-8114-6650-4. – EDN EPTMMD.

2. Substantiation of an effective feed distribution system / S. M. Vedishchev, A. I. Zavrazhnov, A.V. Prokhorov, M. K. Braliev // Science in Central Russia. – 2020. – № 1(43). – Pp. 11-21. – DOI 10.35887/2305-2538-2020-1-11-21. – EDN CYCGZD.

3. Classification of bunker feed dispensers for pigs / S. M. Vedishchev, A.V. Prokhorov, A.V. Milovanov, N. O. Milyukov // Issues of modern science and practice. V.I. Vernadsky University. – 2014. – № 2(51). – Pp. 43-48. – EDN SFFAFB.

4. Evaluation of the effectiveness of technological lines for the preparation and distribution of feed in animal husbandry / S. M. Vedishchev, A. I. Zavrazhnov, A. N. Zazulya, A.V. Prokhorov // Modern science: theory, methodology, practice : Materials of the 1st All-Russian (national) Scientific and Practical Conference, Tambov, November 26-27, 2019. – Tambov: Pershin R.V. Publishing House, 2019. – pp. 41-45. – EDN TFIDRT.

5. Investigation of the effect of the feed dispenser chassis on the accuracy of dosing / S. M. Vedishchev, A. I. Zavrazhnov, A.V. Prokhorov [et al.] // Fundamental and applied scientific research: current issues, achievements and innovations : Materials of the All-Russian Correspondence Scientific and Practical Conference, Tambov, December 01-31, 2017. Volume Issue 1. – Tambov: Publishing House of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tambov State Technical University", 2017. – pp. 519-522. – EDN YQKKUH.

6. Vedishchev, S. M. Choosing a variant of the feed distribution system / S. M. Vedishchev, V. T. Shchedrin, E. K. Teplyakova // Bulletin of TSTU. 1999. Vol. 5, No. 4. From 643 – 650.

7. Justification of the rational scheme of the chassis of a mobile feed dispenser / S. M. Vedishchev, V. P. Kapustin, A.V. Prokhorov [et al.] // Priority directions of scientific and technological development of the agro-industrial complex of Russia: Materials of the National Scientific and practical Conference, Ryazan, 22 November 2018. Volume Part 1. – Ryazan: Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, 2019. – pp. 118-123. – EDN ZAUTUD.

Информация об авторах

С.М. Ведищев - доктор технических наук, профессор; А.И. Завражнов - доктор технических наук, профессор, академик РАН; А.В. Прохоров – кандидат технических наук, доцент; Е.Б. Ложкина – младший научный сотрудник; М.Е. Выгузов – аспирант.

Information about the authors

S. Vedishchev - Doctor of Technical Sciences, Professor; A. Zavrazhnov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences; A. Prokhorov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; E. Lozhkina – junior research; M. Vyguzov – postgraduate student.

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: *all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.*

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 23.07.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.08.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.171
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-4-20-27

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРОЧНОГО КОТЛА ОПТИМИЗАЦИЕЙ РАБОТЫ ГАЗОВОЙ ГОРЕЛКИ

Анатолий Михайлович Шувалов [1], Алексей Николевич Машков [2], Михаил Александрович Попов [3]
[1,2,3]Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия
[1]vniiti@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Анатолий Михайлович Шувалов, vniiti@mail.ru
Corresponding author: Anatoliy Shuvalov, vniiti@mail.ru

Реферат. *Применение природного газа при термической обработке кормов снижает себестоимость животноводческой продукции и повышает конкурентоспособность на внешнем рынке. Анализ различных модификаций газоиспользующих варочных котлов с широким диапазоном по производительности и конструктивному исполнению, предлагаемых внешним рынком, показал, что их общим недостатком является отсутствие автоматического регулирования расхода газа пропорционально тепловому потоку, идущему на нагрев корма до кипения и в процессе кипения. Разработан энергоэкономный кормоварочный котёл с автоматической системой регулирования расхода газа пропорционально потребляемому тепловому потоку. Исследования проводили на экспериментальном образце кормоварочного котла, в котором автоматизированная система регулирования расхода газа, выполненная на базе полупроводниковых термоэлектрических элементов, воздействует на исполнительный механизм без промежуточных усилителей выходного сигнала. Изучали эффективность работы автоматизированной системы энергообеспечения по экспериментальным исследованиям динамики расхода газа в процессе термической обработки корма в автоматическом и ручном режиме. Установили, что суммарное потребление газа на приготовление 100 кг корма в автоматическом режиме с регулированием расхода газа пропорционально потребляемому тепловому потоку в 1,2 раза меньше, чем при работе котла в ручном режиме. Наиболее оптимальный режим по экономии топлива обеспечивается при задании газовой горелкой в начальный период разогрева до мощности 14 кВт для варочного котла объёмом 100 литров. Для котлов с более мощными газовыми горелками (22 кВт) происходит перерасход газа до 20%.*

Ключевые слова: *варочный котел, корм, газ, автоматическое регулирование, энергетическая эффективность.*

INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE BOILER BY OPTIMIZING THE OPERATION OF THE GAS BURNER

Anatoliy Shuvalov [1], Alexey Mashkov [2], Mikhail Popov [3]
[1,2,3]All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia
[1]vniiti@mail.ru

Abstract. *The use of natural gas in the heat treatment of feed reduces the cost of livestock products and increases competitiveness in the foreign market. An analysis of various modifications of gas-using digesters with a wide range of performance and design, offered by the foreign market, showed that their common disadvantage is the lack of automatic gas flow control in proportion to the heat flow used to heat the feed to boiling and during boiling. An energy-saving fodder boiler with an automatic gas flow control system in proportion to the consumed heat flow has been developed. The studies were carried out on an*

experimental sample of a feed boiler, in which an automated gas flow control system based on semiconductor thermoelectric elements acts on the actuator without intermediate output signal amplifiers. The efficiency of the automated energy supply system was studied by experimental studies of the dynamics of gas consumption in the process of thermal processing of feed in automatic and manual modes. It was found that the total gas consumption for the preparation of 100 kg of feed in automatic mode with gas flow control proportional to the consumed heat flow is 1.2 times less than when the boiler is in manual mode. The most optimal mode for saving fuel is provided when setting the gas burner in the initial period of heating up to a power of 14 kW for a digester with a volume of 100 liters. Gas overrun up to 20% occurs for boilers with more powerful gas burners (22 kW).

Keywords: *digester, feed, gas, automatic control, energy efficiency*.

Для цитирования: Шувалов А.М., Машков А.Н., Попов М.А. Повышение энергетической эффективности варочного котла оптимизацией работы газовой горелки // Наука в Центральной России. 2023. Т. 64, № 4. С. 20-27. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-20-27.

For citation: Shuvalov A, Mashkov A., Popov M. Increasing the energy efficiency of the boiler by optimizing the operation of the gas burner. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 64(4): 20-27. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-20-27.

Введение. Природный газ пока еще самый дешевый и распространенный энергоноситель, который интенсивно используется для развития сельских территорий. Для этого используют газовые отопительные, варочные котлы и газовые плиты. В сельской местности почти каждое домовладение имеет личное подсобное хозяйство (ЛХП), где большая доля природного газа используется для приготовления пищи, кормов животным и птицам. Однако в крупных ЛПХ и в фермерских хозяйствах, где содержат 2 – 3 коровы, выращивают 3 – 5 голов свиней, а также 15 – 20 кур выгодно приготовлять корм не на газовых и электрических плитах с варочными бачками, а в варочных котлах. На рынке предлагаются различные модификации газоиспользующих варочных котлов с широким диапазоном по производительности и конструктивному исполнению. Общим недостатком таких котлов является отсутствие в их конструктивно-технологической схеме автоматического регулирования расхода газа пропорционально тепловому потоку, идущему на нагрев корма до кипения и в процессе кипения. Это приводит к перерасходу газа на процесс приготовления корма. Поэтому актуальность модернизации существующих варочных котлов с применением перспективных средств регулирования расхода газа пропорционально потребляемому тепловому потоку сомнений не вызывает [1 – 3].

Материалы и методы. В работе использованы аналитический, сравнительный методы и материалы лабораторных экспериментов.

В ФГБНУ ВНИИТиН для снижения расхода энергии в процессе приготовления корма разработан варочный котёл с плавным регулированием расхода газа пропорционально потребляемому тепловому потоку. Автоматизированная система энергообеспечения кормоварочного котла разработана на базе серийно выпускаемых средств автоматики для бытовых отопительных котлов типа НЕВА с применением в ней дополнительной схемы для плавного регулирования расхода газа и с использованием для этих целей перспективных полупроводниковых термоэлектрических элементов.

Конструктивно-технологическая схема газоиспользующего кормоварочного котла, новизна технического решения которого защищена патентом РФ [4], приведена на рисунке 1.

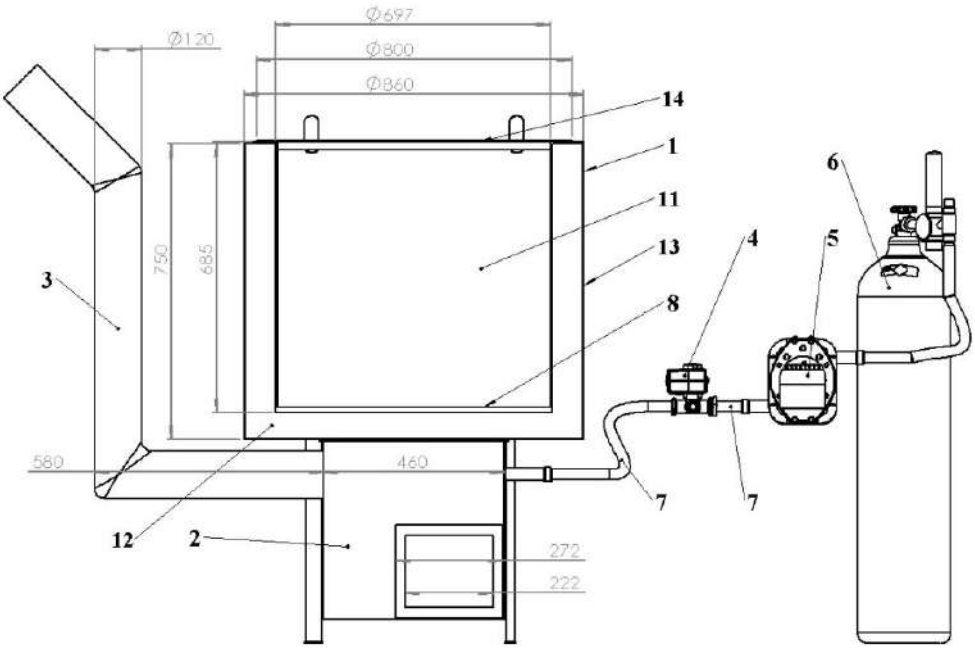


Рисунок 1 – Модель действующего экспериментального образца газоиспользующего кормоварочного котла

Кормоварочный котел содержит корпус 1, топку 2, патрубок для отвода продуктов сгорания 3, соленоидный клапан 4, газовый счетчик 5, газовый баллон 6, соединяющие патрубки 7, управляющий элемент 8, датчики температуры 9, газовый расходомер 10. Топка 2 ограждена от варочного сосуда 11 теплообменной камерой 12. Корпус 1, камера 12 и сосуд 11 образуют пароводяную рубашку 13 . Котел закрывается герметичной крышкой 14. Размер топки 2 соответствует размерам устанавливаемых газогорелочных устройств [5 – 9].

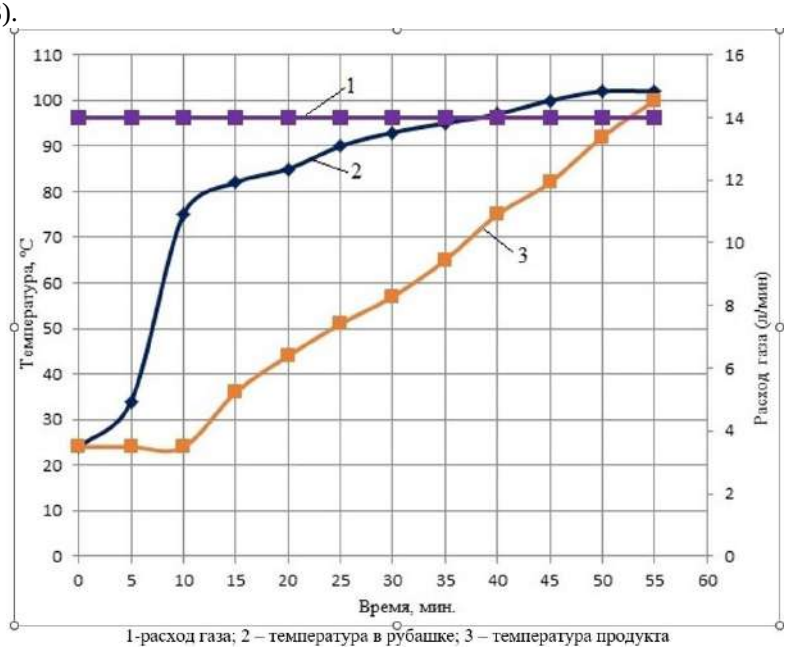
Анализ мощности газоиспользующих варочных котлов показывает, что комплектуют котлы газовыми горелками на одну и ту же производительность котла с различной мощностью [10]. Наши исследования показывают, что каждому объёму варочной ёмкости должна соответствовать рациональная мощность газовой горелки.

Результаты исследований регулируемого расхода газа в варочном котле при различной установленной мощности газовой горелки показывают, что при установленной её мощности 14 л/мин (21 кВт) расход газа на разогрев до кипения в ручном режиме составил 770 л, а в автоматическом – 684 л/мин, экономия газа при этом составила 11,2% (таблица 1).

Таблица 1. Результаты исследований расхода и экономии газа при различных мощностях газовой горелки и при разогреве до кипения 100 л воды

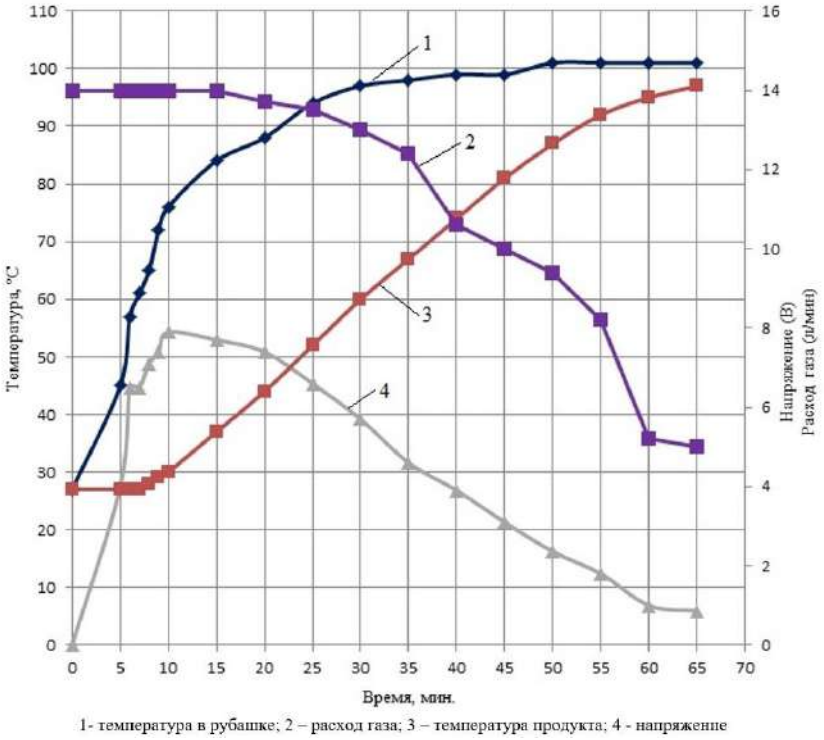
Режим работы	Мощность газовой горелки (л/мин)	Мощность в режиме тихого кипения	Время нагрева до 100 °С, мин	Расход газа, л	Экономия газа, %
Ручной	14	-	55	770	12,2 % экономия в автоматическом режиме
Автоматический	14	7	80	684	
Автоматический	11	3,7	74	659	12%.
Ручной	11	3	60	749	
Ручной	9	4,5	83	747	17,26 %.
Автоматический	9	4,5	90	618	
	14 в ручном режиме 9 в автоматическом режиме		55 90	770 618	19,74 %
	14 в автоматическом режиме 9 в автоматическом режиме		80 90	684 618	9,64 %

Время нагрева воды до кипения в ручном режиме 55 мин (рисунок 2), в автоматическом 80 мин (рисунок 3).



1-расход газа; 2 – температура в рубашке; 3 – температура продукта

Рисунок 2 – Разогрев с максимальной мощностью 14л/мин 100 л воды без регулирования (ручной режим)

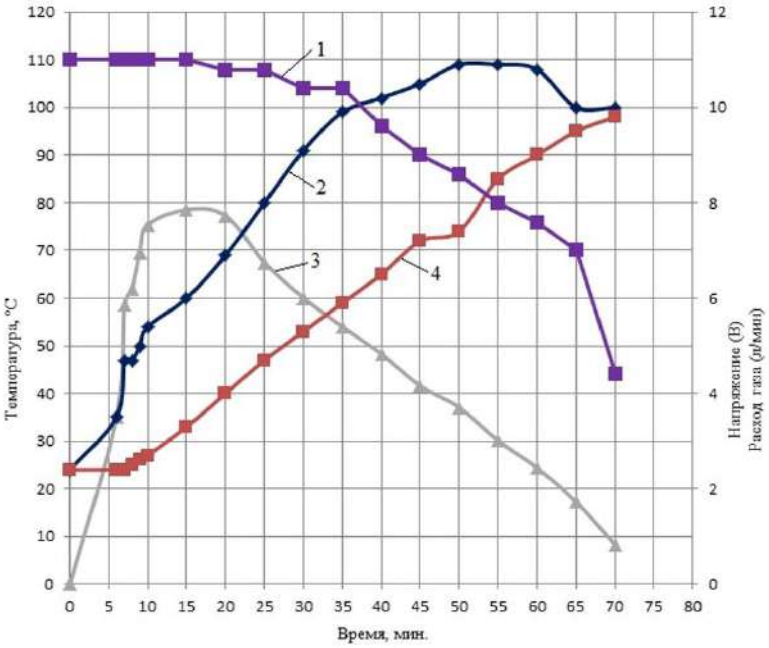


1- температура в рубашке; 2 – расход газа; 3 – температура продукта; 4 - напряжение

Рисунок 3 –Разогрев с максимальной мощностью (14 л/мин) 100 л воды в автоматическом режиме

Экономия расхода газа при нагреве 100л воды до кипения за счет применения автоматического регулирования вместо ручного и за счет уменьшения мощности с 14 л/мин до 9 л/мин составляет 19,74%. При этом нагрев до кипения длится 90 мин.

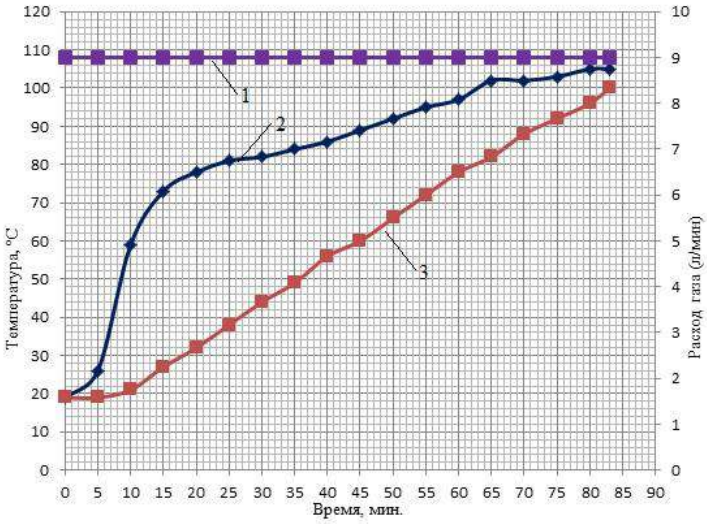
В регулируемом режиме с установленной мощностью газовой горелки равной 11 л/мин расход газа составил 659л, а время нагрева достигло 74 мин (рисунок 4).



1- расход газа; 2 – температура в рубашке; 3 – напряжение; 4 - температура продукта

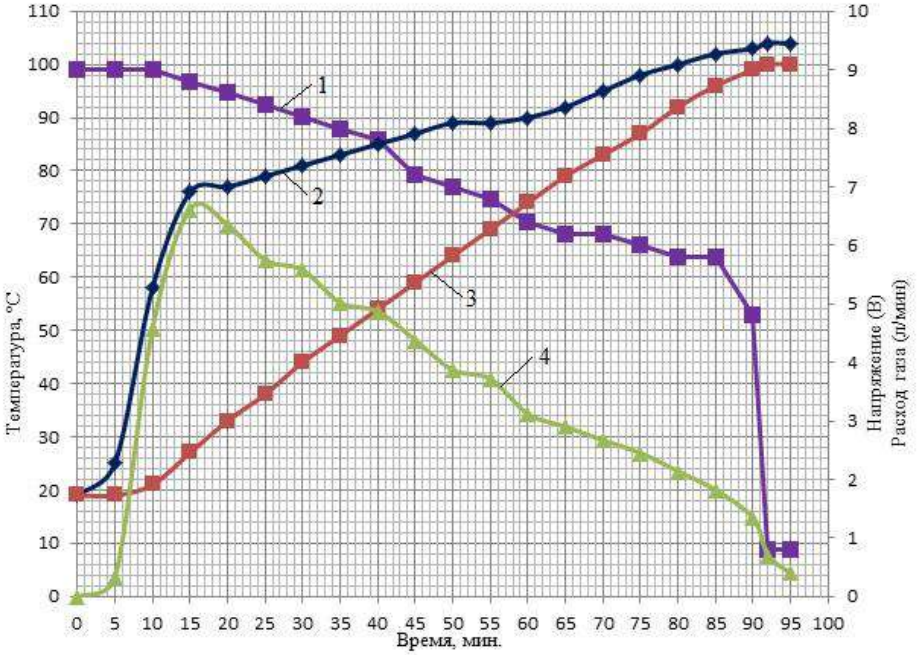
Рисунок 4 – Расход газа и время нагрева 100 л. установленной мощностью газовой горелки 11 л/мин.

При минимальной установленной мощности газовой горелки (9 л/мин) расход газа в регулируемом режиме составил 654л, а без регулирования – 747л. При этом время нагрева в ручном режиме составило 83 мин (рисунок 5), а в автоматическом 90 мин (рисунок 6).



1- расход газа; 2 – температура в рубашке; 3 – температура продукта

Рисунок 5 – Расход газа и времени нагрева 100 л. воды с установленной мощностью газовой горелки 9 л/мин в ручном режиме



1- расход газа; 2– температура в рубашке; 3 – температура продукта; 4 - напряжение
Рисунок 6 – Расход газа и времени нагрева 100 л. воды с установленной мощностью газовой горелки 9 л/мин в автоматическом режиме.

Здесь очень важно отметить, что в этом опыте при установленной мощности 9л/мин снижение расхода газа начинается быстро, уже через 10 мин, а в проведенном опыте не на скорректированном регуляторе и газовой горелки снижение начиналось лишь через 30 мин [8]. То есть в данном случае экономия газа началась не через 30 мин, а через 10мин.Это говорит о повышении чувствительности всей системы автоматического регулирования. Не менее важно отметить, что в этом опыте потребляемая мощность газовой горелки в режиме тихого кипения составляла 0,8 л/мин. Минимальный расход газа в режиме тихого кипения позволяет максимально экономить энергию в процессе нагрева продукта до кипения и осбенно в процессе длительной варки в режиме тихого кипения по отношению к ручному режиму [8 – 11].

Таким образом, из приведённых выше результатов исследований следует, что наиболее оптимальный режим по экономии топлива обеспечивается при задании газовой горелкой в начальный период разогрева до мощности, равной 9 л/мин (14 кВт). С такой мощностью следует укомплектовывать варочные котлы объёмом 100 литров. В случае постоянного дефицита рабочего времени можно применять варочные котлы с более мощными газовыми горелками 14 л/мин (22 кВт), но при этом будет осуществляться перерасход газа до 20%.

Выводы.

1. Применение автоматизированной системы энергообеспечения варочного котла с плавным регулированием мощности обеспечивает экономию газа до 19,74 %.

2. Наиболее экономичный режим работы варочного котла обеспечивается при номинальной мощности газовой горелки 14 кВт.

Список источников

1. Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы. – М., 2013. – 388 с.

2. Хохрин, С.Н. корма и кормление животных / С.Н. Хохрин. – Спб.: Лань, 2002. – 512 с.

3. Мишуров, Н.П. Приготовление кормов в фермерских хозяйствах / Н.П. Мишуров. – М.: Росинформагротех, 2002. – 58 с.

4. Патент № 2708097 С1 Российская Федерация, МПК А47J 27/06.

Котёл кормоварочный: № 2019116589: заявл. 29.05.2019: опубл. 04.12.2019 / А. М. Шувалов, А. Н. Машков, Д. С. Чернов; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

"Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве" (ФГБНУ ВНИИТиН).

5. Шувалов, А. М. Энергоэкономный варочный котёл с плавным регулированием расхода газа / А. М. Шувалов, А. Н. Машков, Д. С. Чернов // Наука в центральной России. – 2021. – № 2(50). – С. 55-61.

6. Антуфьев, В.Т. Концепция совершенствования газовых пищеварочных котлов / В.Т. Антуфьев, М.А. Амосова // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищеварочных производств», 2007. - №1.

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

8. Отчет о НИР «Создать действующий экспериментальный газоиспользующей системы энергообеспечения варочного котла с саморегулированием мощности».-Тамбов, ВИИТиН, 2020. - 102с.

9. Шувалов, А. М. Исследование режимов работы термостатирования в аппаратах многофункциональной энерготехнологической установки для крестьянских хозяйств / А. М. Шувалов, А. Н. Машков // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2018. – № 3(31). – С. 29-30.

10. zeo55/ru/shop/36/desk/kotel varoshnu

11. Хазмалян Д.М. Теория топочных процессов. – М.: «Энергоатомиздат», 1990. – 352 с.

12. Отчет о НИР «Разработка универсального водогрейного агрегата с альтернативным энергоносителем жидкому топливу». – Тамбов, ВИИТиН, 1995. – 219 с.

References

1. State program for the development of agriculture and regulation of agricultural products, raw materials and food markets for 2013-2020. - M., 2013. - 388 p.

2. Khokhrin, S.N. animal feed and feeding / S.N. Khokhrin. - St. Petersburg: Lan, 2002. - 512 p.

3. Mishurov, N.P. Feed preparation in farms / N.P. Mishurov. – M.: Rosinformagrotekh, 2002. – 58 p.

4. Patent No. 2708097 C1 Russian Federation, IPC A47J 27/06. Feed boiler: No. 2019116589: App. 05.29.2019: publ. 04.12.2019 / A. M. Shuvalov, A. N. Mashkov, D. S. Chernov; applicant Federal state budgetary scientific institution "All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture" (FGBNU VNIITiN).

5. Shuvalov, A. M., A. N. Mashkov, D. S. Chernov, Energy-saving digester with smooth gas flow control, Science in Central Russia. - 2021. - No. 2 (50). - S. 55-61.

6. Antufiev, V.T. The concept of improving gas cooking boilers / V.T. Antufiev, M.A. Amosov // Scientific journal NRU ITMO. Series "Processes and devices for food production", 2007. - No. 1. 61.

7. Shuvalov A. M., Nabatov K. A., Mashkov A. N., Chernov D. S. Substantiation of the parameters of a self-regulating system of energy supply to brewers. Vestnik VIESKh. - 2014. - No. 3 (16). - S. 72-74.

8. Research report “Create an operating experimental gas-using power supply system for a digester with self-regulation of power.” - Tambov, VIITiN, 2020. -102p.

9. Shuvalov, A. M. Study of the operating modes of thermostating in devices of a multifunctional energy-technological installation for peasant farms / A. M. Shuvalov, A. N. Mashkov // Bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Livestock Mechanization. - 2018. - No. 3 (31). - S. 29-30.

10.zeo55/ru/shop/36/desk/kotel varoshnu

11. Khazmalyan D.M. Theory of furnace processes. - M.: "Energoatomizdat", 1990. - 352 p.

12. Research report “Development of a universal water-heating unit with an alternative energy carrier to liquid fuel”. - Tambov, VIITin, 1995. - 219 p.

Информация об авторах

А.М. Шувалов - доктор технических наук, профессор; А. Н. Машков - кандидат технических наук; М.А. Попов – ведущий инженер.

Information about the authors

Shuvalov – Full Doctor of technical sciences, Professor; A. Mashkov - Candidate of Technical Sciences; M. Popov – leading engineer.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: *all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.*

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 02.08.2023 Принята к публикации (Accepted): 27.08.2023

Тип статьи: научная
УДК 636.085
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-4-28-36

К ВОПРОСУ О ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ СЕМЯН РЫЖИКА ПОСЕВНОГО ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

Ольга Борисовна Филиппова [1]***, Алексей Николевич Машков*** [2]***,***
Александр Иванович Фролов [3]***, Александр Николаевич Бетин*** [4]
[1,2,3,4] *Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия*
[1] filippova175@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-9810-9319
[2] vniitin@mail.ru
[3] mr-frolov-alexandr2011@yandex.ru
[4] tniij@yandex.ru

Автор, ответственный за переписку: Ольга Борисовна Филиппова, filippova175@yandex.ru
Corresponding author: Olga Filippova, filippova175@yandex.ru

Реферат. *Рыжик посевной (Camelina sativa (L.) Crantz) – перспективная масличная культура для использования в животноводстве. В масле семян рыжика содержится большое количество жирных полиненасыщенных кислот, которые являются незаменимым компонентом питания, так как участвуют во многих биохимических реакциях организма животных. Проведено исследование содержания жирных кислот в семенах рыжика после их термической обработки путем микронизации, которые в дальнейшем были использованы в экспериментальном кормлении дойных коров. Для микронизации семян было использовано усовершенствованное устройство для термообработки зерна и бобов. Применялось несколько режимов обработки в зависимости от количества включенных галогенных ламп. Проведено исследование количественного состава жирных кислот в молоке коров, которым скармливали термически обработанные семена рыжика. При использовании одной или двух кассет с галогенными лампами в процессе температурной обработки соотношение общего количества насыщенных и ненасыщенных жирных кислот в масле семян существенно не меняется. Содержание пальмитиновой кислоты после обработки увеличилось примерно на 8 %, стеариновой – на 3 %, линолевой – на 2 %. Содержание олеиновой кислоты уменьшилось на 3 %, эйкозеновой – на 1 %. Скармливание дойным коровам семян рыжика, прошедших термическую обработку, в составе кормовой смеси существенно не изменило видовой состав жирных кислот в молоке, но способствовало увеличению количества некоторых особо ценных для организма жирных кислот – линолевой (в 1,3 раза) и линоленовой (в 2,7 раза).*

Ключевые слова: *рыжик посевной, тепловая обработка семян, жирные кислоты, молоко коров.*

ON THE ISSUE OF HEAT TREATMENT OF GINGER SEEDS FOR USE IN ANIMAL HUSBANDRY

Olga Filippova [1]***, Alexey Mashkov*** [2]***, Alexander Frolov*** [3]***, Alexander Betin*** [4]
[1,2,3,4] *All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia*
[1] filippova175@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-9810-9319
[2] vniitin@mail.ru
[3] mr-frolov-alexandr2011@yandex.ru
[4] tniij@yandex.ru

Abstract. *Ginger seed (Camelina sativa (L.) Crantz) is a promising oilseed crop for use in animal husbandry. Ginger seed oil contains a large amount of fatty polyunsaturated acids, which are an indispensable component of nutrition, as they participate in many biochemical reactions of the animal body. The study of the content of fatty acids in ginger seeds after their heat treatment by micronization, which were later used in experimental feeding of dairy cows. An advanced device for heat treatment of grain and beans was used for micronization of seeds. Several processing modes were used depending on the number of halogen lamps included. A study of the quantitative composition of fatty acids in the milk of cows fed with heat-treated ginger seeds was carried out. When using one or two cassettes with halogen lamps during temperature treatment, the ratio of the total amount of saturated and unsaturated fatty acids in seed oil does not change significantly. The content of palmitic acid after treatment increased by about 8%, stearic acid – by 3%, linoleic acid – by 2%. The content of oleic acid decreased by 3%, eicosenic acid – by 1%. The feeding of heat–treated ginger seeds to dairy cows as part of the feed mixture did not significantly change the species composition of fatty acids in milk, but contributed to an increase in the amount of some particularly valuable fatty acids for the body - linoleic (1.3 times) and linolenic (2.7 times).*

Keywords: *ginger seed, heat treatment of seeds, fatty acids, cow milk.*

Для цитирования: Филиппова О.Б., Машков А.Н., Фролов А.И., Бетин А.Н. К вопросу о термической обработке семян рыжика посевного для использования в животноводстве // Наука в центральной России. 2023. Т. 64, № 4. С. 28-36. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-28-36.

For citation: Filippova O., Mashkov A., Frolov A., Betin A. On the issue of heat treatment of ginger seeds for use in animal husbandry. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 64(4): 28-36. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-28-36.

Проблема протеинового и энергетического питания жвачных животных является одной из самых актуальных. Повысить питательность рацинов крупного рогатого скота можно в том числе, за счет использования в кормопроизводстве растительных культур, содержащих значительное количество белка и энергии [1-3]. Кроме того, возрастает интерес к исследованиям по обогащению рационов питания животных полиненасыщенными жирными кислотами, способствующими получению продукции высокого качества [4, 5]. Организм животного не способен их синтезировать из более простых веществ, поэтому все они должны обязательно присутствовать в кормах, подобно микроэлементам. Наиболее часто в кормовые культуры вводят линоленовую, линолевую и олеиновую [6], в рубце жвачных животных они под воздействием микрофлоры превращаются в насыщенные (стеариновую и пальмитиновую), которые в дальнейшем включаются в обменные процессы.

Главным источником белка и энергии в кормопроизводстве являются бобовые и масленичные культуры, а также продукты их переработки при получении масел, жмыхи и шроты [7]. В этом отношении представляет интерес для использования в животноводстве техническая масличная культура – рыжик посевной (Camelina sativa (L.) Crantz) из семейства Крестоцветных (Brassicaceae) (рис. 1). В кормопроизводстве данная культура используется мало, но она малозатратна при выращивании, устойчива к засухе, низким температурам, не требовательна к питательным веществам, поэтому дает хороший урожай без орошения, с меньшим уровнем удобрений. Рыжик более устойчив ко многим вредителям и болезням, чем другие растений из семейства Brassicaceae и, следовательно, его производство экологически безопасно за счет снижения использования гербицидов и пестицидов. Кроме того, белковые соединения семян рыжика обладают высокой биологической ценностью, что обусловлено составом аминокислот, включающим все незаменимые аминокислоты, в том числе значительные количества лизина и лейцина, превосходящие их содержание в других масличных и зерновых культурах [8].

Рисунок 1 – Рыжик посевной: цветок и семена

Семена рыжика содержат от 26 до 46 % масла, которое отличается высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот, в том числе гондоиновой, линоленовой и линолевой кислот [9]. Содержание эруковой кислоты при этом низкое и составляет 1,5-3,0 %. Для улучшения поедаемости, вкусовых качеств, повышения эффективности усвоения питательных веществ животными применяют различные способы предварительной подготовки кормов. Различают несколько способов подготовки кормов к скармливанию – механические, тепловые, химические и биологические [10-12].

Механические способы приготовления кормов, такие как дробление, очистка, просеивание, протряхивание, смешивание, отсеивание, брикетирование, резание, раскалывание, разминание, истирание, плющение, прессование, гранулирование, дозирование широко применяются в кормоцехах и на комбикормовых заводах.

В нашей работе мы использовали микронизацию семян при комбинированном их нагреве. Микронизация зерна вызывает интенсивный нагрев, повышает внутреннее давление паров воды (внутренняя влага как бы закипает). В процессе тепловой обработки зерна происходят структурные и биохимические изменения вследствие резонансного поглощения энергии излучения молекулами белков и полисахаридов. Например, при нагревании зерна крахмал желатинизируется и набухает, его структура разрушается. До 20 % крахмала, содержащегося в зерне, переходит в декстрины, которые легко усваиваются организмом животного, разрушаются токсичные вещества. Таким образом, термическая обработка с двухсторонним нагревом способствует повышению усвояемости питательных веществ на 30-40 %.

Под воздействием высокой температуры за счет специфического воздействия инфракрасного излучения, уничтожается патогенная микрофлора зерна. Снижение общего количества микроорганизмов (до 4-6 раз) способствует повышению санитарного качества кормов. Процесс микронизации зерна предупреждает заражение амбарными вредителями. При микронизации температурный режим для различных культур равен от 140 до 170 ºС. При облучении зерна более 40 секунд удаляются полностью многие бактерии. При обработке более 65 секунд погибают плесневые грибы. Оптимальный эффект при термической обработке зерна достигается на протяжении 50-60 секунд.

В работе [13] показано, что обработка зерна ИК-излучением в кормлении поросят способствует повышению скорости роста и увеличению живой массы поросят на 17 % за счет лучшей переваримости питательных веществ рациона.

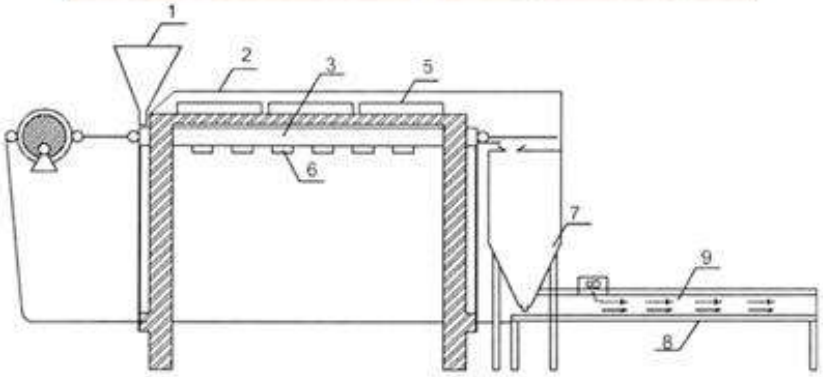
Таким образом, по основным биохимическим показателям качества масла семян и содержанию в них физиологически полноценных белков рыжик является ценной масличной культурой. Поэтому являются актуальными исследования по эффективности применения кормовых добавок из термически обработанных семян рыжика в рационах сельскохозяйственных животных.

Цель работы заключалась в исследовании оптимального режима термической обработки семян рыжика путем микронизации, предназначенных для дальнейшего скармливания крупному рогатому скоту.

Методика. Для проведения эксперимента была использована установка для комбинированной термообработки зерна и бобов (рис. 2), разработанная учеными ФГБНУ ВНИИТиН [14-17] (патенты РФ № 2694631 и 2694631).

Установка включает в себя нагревательную камеру, состоящую из трех кассет и содержащую кварцевые галогенные лампы, расположенные над ленточным транспортером с лентой из жаропрочного материала. В первой и третей кассете находятся по 5 галогенных ламп мощностью 1 кВт, во второй – 4 лампы. Под транспортером располагается 9 нагревательных тенов мощностью 1 кВт. Скорость движения ленты транспортера – 70 секунд.

Принцип действия: в процессе прохождения зерна через установку оно нагревается до 110-150^{0}С, вспучивается, увеличивается в объеме (в 1,2-1,6 раза) и растрескивается. Влага, равномерно распределённая по объёму зерновки, начинает по капиллярам, порам, трещинам двигаться к центру зерновки (по направлению теплового потока). Так как плотность потока ИК-излучения выбирается достаточно большой, при повышении температуры влага превращается в пар, давление резко увеличивается, в результате чего разрушается структурный каркас зерна. Уменьшается прочность зерна, что способствует снижению энергозатрат при его дальнейшей обработке (помоле, плющении и т. д.).



1 – загрузочный бункер; 2 – термоизолирующая высокотемпературная рабочая камера; 3 – качающий теплопроводный прямоугольный желоб рабочей камеры; 4 – ребра жесткости на лицевой стороне качающего желоба; 5 – инфракрасные излучатели; 6 – саморегулируемые электронагревательные элементы; 7 – теплоизолированный бункер-температор; 8 – качающий желоб охлаждающей камеры; 9 – охлаждающая камера

Рисунок 2 – Устройство для термообработки зерна

Применялись следующие режимы обработки: 1) включена только первая кассета с галогенными лампами; 2) включены первая и вторая кассеты; 3) включены все три кассеты.

Научно-производственный опыт по скармливанию семян рыжика проведен на коровах симментальской породы на базе одного из племенных репродукторов Тамбовской области. В стойловый период через 1,5-2 месяца после отела были сформированы 2 группы коров по 5 голов (опытная и контрольная) в возрасте 2-3 лактации.

Опытной группе животных в течение 35 дней скармливали кормовую смесь, в зерновую часть которой были включены микронизированные семена рыжика в количестве 5 % от массы смеси зерна. Кормовая смесь состояла из силоса кукурузного, сена злакового, зерновой смеси (ячмень, пшеница, овес и горох), минерально-витаминные добавки (премикс, соль поваренная, источник кальция и фосфора). Контрольная группа коров получала аналогичный по составу (кроме семян рыжика) и питательности рацион.

Жирнокислотный состав семян рыжика и молока коров определяли на газовом хроматографе «Хроматэк-Кристалл 5000» в Тамбовском Испытательном центре ООО «ЦЕНТР СЕРТИФИКАЦИИ».

Результаты и обсуждение. Перед обработкой был изучен зоотехнический состав семян рыжика озимого сорта «Барон».

Содержание сырого протеина в семенах рыжика составляет 28,8 %, сырого жира – 38,4 % (таблица 1). По концентрации энергии (для КРС) семя рыжика сорта «Барон» превосходит такие масличные культуры, как рапс и лён [18].

Таблица 1 – Зоотехнический состав семян рыжика озимого сорта «Барон»

ОЭ, МДж/кг	Сухое вещество, %	Сырой протеин, % в СВ	Сырой жир, % в СВ	Сырая клетчатка, % в СВ	Сырая зола, % в СВ	Сырые БЭВ, % в СВ
17,0	93,5	28,8	38,4	12,9	4,7	8,7

Жирнокислотный состав семян в натуральном виде и после термической обработки в двух вариантах представлен в таблице 2. В процессе обработки по третьему варианту (три кассеты с галогенными лампами) произошел перегрев семян (обугливание).

Таблица 2 – Состав жирных кислот в семенах рыжика сорта «Барон» до и после термической обработки

Название жирной кислоты		Вариант обработки / Содержание, %		
Тривиальное	Систематическое	До обработки	1-й	2-й
Насыщенные жирные кислоты				
Пальмитиновая	С16:0 Гексадекановая	4,9	4,9	5,3
Стеариновая	С18:0 Октадекановая	2,8	2,9	2,9
Бегеновая	С22:0 Докозановая	0,5	0,5	0,5
Арахиновая	С20:0 Эйкозановая	0,4	0,4	0,4
Лигноцериновая	С24:0 Тетракозановая	0,3	0,3	0,3
Миристиновая	С14:0 Тетрадекановая	0,1	0,1	0,1
Мононенасыщенные жирные кислоты				
Гондоиновая	С20:1 Эйкозеновая	37,6	37,4	37,1
Олеиновая	С18:1 Октадеценовая	15,2	15,2	14,7
Эруковая	С22:1 Доказеновая	0,9	0,9	0,9
Пальмитолеиновая	С16:1 Гексадеценовая	0,1	0,1	0,1
Полиненасыщенные жирные кислоты				
Линолевая	С18:2 Октадекадиеновая	18,5	18,6	19,0
α-Линоленовая	С18:3α Октадекатриеновая	17,8	17,8	17,8
γ-Линоленовая	С18:3α Октадекатриеновая	0,9	0,9	0,9

Отличительный признак рыжикового масла – высокое содержание гондоиновой (эйкозеновой кислоты) кислоты [19]. Данное соединение относится к мононенасыщенным монокислотам из группы омега-9. Из большого разнообразия ненасыщенных жирных кислот для организма человека и животных имеют большое физиологическое значение кислоты из групп омега-3, -6 и -9. По данным таблицы 2 в составе масла семян рыжика сорта «Барон» находится около 37 % эйкозеновой жирной кислоты. В целом группа мононенасыщенных жирных кислот, включая олеиновую, составляет 53,8 % от суммы всех кислот. Доля полиненасыщенных жирных кислот – 37,2 %, при этом в наибольшем количестве содержатся линолевая и α-линоленовая кислоты.

Анализ показал, что после первого варианта режима микронизации сумма мононенасыщенных кислот в семенах рыжика уменьшилась незначительно – на 0,2 %, в результате использования второго варианта – уменьшилась на 1 % по отношению к их содержанию в натуральных семенах. При этом доля полиненасыщенных кислот увеличилась на 0,1 % после первого варианта обработки и на 0,5 % после второго. Следует отметить, что после термической обработки содержание суммы насыщенных жирных кислот увеличилось также незначительно – на 0,1-0,5 %.

При этом микронизация повлияла на содержание отдельных жирных кислот в семенах рыжика. Так количество пальмитиновой кислоты после обработки увеличилось на 8,2 % (второй режим), стеариновой – на 3,5 % (при обоих режимах), линолевой – на 2,1 % (второй режим). Содержание олеиновой кислоты, напротив, уменьшилось на 3,3 %, а эйкозеновой кислоты в обоих опытных вариантах – на 1,1-1,3 %.

По содержанию эруковой кислоты масло семян рыжика сорта «Барон» отвечает требованиям ГОСТ для пищевых и растительных масел (не более 5 %).

В таблице 3 представлены результаты анализа жирнокислотного состава молока коров, которым скармливали смесь семян рыжика, обработанных термически по первому и второму варианту ИК-облучения.

Таблица 3 – Состав жирных кислот в молоке коров при скармливании семян рыжика, %

Название жирной кислоты		Период отбора молока	
Тривиальное	Систематическое	До начала опыта	В период скармливания
Насыщенные жирные кислоты			
Пальмитиновая	С16:0 Гексадекановая	29,8	28,2
Стеариновая	С18:0 Октадекановая	15,2	12,1
Миристиновая	С14:0 Тетрадекановая	9,3	11,3
Масляная	С4:0 Бутановая	5,0	4,1
Капроновая	С6:0 Гексановая	2,5	2,6
Лауриновая	С12:0 Додекановая	2,1	3,1
Каприновая	С10:0 Декановая	2,0	2,9
Каприловая	С8:0 Октановая	1,1	1,4
Арахиновая	С20:0 Эйкозановая	0,1	0,2
Бегеновая	С22:0 Докозановая	0,09	0,08
Мононенасыщенные жирные кислоты			
Олеиновая	С18:1 Октадеценовая	21,6	21,5
Пальмитолеиновая	С16:1 Гексадеценовая	1,6	1,6
Миристолеиновая	С14:1 Тетрадеценовая	0,7	0,3
Капролеиновая	С10:1 9-Деценовая	0,2	0,3
Эруковая	С22:1 Доказеновая	0,1	0,1
Полиненасыщенные жирные кислоты			
Линолевая	С18:2 Октадекадиеновая	2,2	2,8
Линоленовая (сумма изомеров)	С18:3α Октадекатриеновая	0,3	0,8
Сумма других кислот, количество которых в составе молочного жира менее 0,05 %		6,11	6,62

Использование в рационе семян рыжика обусловило увеличение общего количества полиненасыщенных жирных кислот в молочном жире на 1,1 абс.%, из них линолевой – на 0,6 абс.%, а α-линоленовой – на 0,5 абс.%. Данные жирные кислоты являются незаменимыми, так как, необходимы для нормальной жизнедеятельности организма, но не синтезируются им. Основная роль линолевой и α-линоленовой кислот в организме состоит в том, что они могут являться биохимическими предшественниками некоторых длинноцепочечных полиненасыщенных жирных кислот (с 20 или 22 атомами углерода), необходимых для поддержания нормального функционирования клеток организма и синтеза ряда гормонов [20].

Заключение. Таким образом, результаты эксперимента показали, что термическую обработку семян рыжика путем микронизации целесообразно проводить в режимах включения одной или двух кассет с галогенными лампами. При такой обработке соотношение различных групп (насыщенных и ненасыщенных) жирных кислот в масле семян существенно не меняется. Вероятно, нагрев семян способствует трансформации отдельных видов жирных кислот, в связи с чем, количество пальмитиновой кислоты после обработки увеличилось примерно на 8 %, стеариновой – на 3 %, линолевой – на 2 %. В тоже время уменьшилось содержание олеиновой кислоты примерно на 3 %, эйкозеновой – на 1 %.

Скармливание дойным коровам семян рыжика, прошедших термическую обработку, в составе кормовой смеси существенно не изменило видовой состав жирных кислот в молоке, но способствовало увеличению количества некоторых особо ценных для организма человека полиненасыщенных жирных кислот – линолевой (в 1,3 раза) и линоленовой (в 2,7 раза).

Список источников

1. Филиппова О.Б., Кийко Е.И., Зазуля А.Н. Альтернативная энергетическая добавка в рационы коров // Наука в центральной России. 2018. № 1 (31). С.75-82.
2. Filippova O.B., Kiiko E.I., Zazulya A.N. Adding of Substandard Sunflower Seeds as an Energy Supplement to the Ration of Dairy Cows // Russian Agricultural Sciences. 2018. Vol. 44. No. 4. pp. 345-349. (DOI: 10.3103/S1068367418040080)
3. Филиппова О.Б., Кийко Е.И., Маслова Н.И. Натуральное зерно люпина в рационах коров // Зоотехния. 2016. № 12. С.11-15.
4. Kliem K.E., Humphries D.J., Grandison A.S. [et al.] Effect of a whey protein and rapeseed oil gel feed supplement on milk fatty acid composition of Holstein cows // Journal of Dairy Science. 2019. Vol. 102. Iss. 1. pp. 288-300. (doi.org/10.3168/jds.2018-15247)
5. Muñoz C., Sánchez R., Peralta A. M. T. [et al.] Effects of feeding unprocessed oilseeds on methane emission, nitrogen utilization efficiency and milk fatty acid profile of lactating dairy cows // Animal Feed Science and Technology. 2019. Vol. 249. pp. 18-30. (doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.01.015)
6. Харитонов Е.Л. Физиология и биохимия молочного скота. – Боровск : Изд-во «Оптима Пресс», 2011. 372 с.
7. Буянкин В.И. Посеешь рыжик, пожнешь выгоду // Поле деятельности. 2013. № 5. С. 50-53.
8. Качество и жирнокислотный состав рыжикового масла // Т.В. Рензяева, О.П. Рензяев, В.И. Кривовяз, А.А. Проскурин, И.В. Пикулева, Т.М. Чикунова // Масложировая промышленность. 2003. № 3. С. 62-63.
9. Изучение закономерностей предварительной экструзионной подготовки масличных культур к процессу прессования / Л.Н. Фролова, В.Н. Василенко, И.В. Драган, Н.А. Михайлова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2015. № 2. С. 27-29.
10. Бойко Л.П., Трунова Л.А. Экструзионная технология переработки семян сои [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: http://www.eks-bio.ru/stati/page21/index.html
11. Брагинец Н.В., Рабштына В.А. Микронизация зерна // Комбикормовая промышленность. 1989. № 4. С. 55-67.
12. Будников Д.А., Васильев А.Н., Васильев А.А. Постановка задачи теплопроводности при СВЧ нагреве зерна для обеззараживания // Вестник ВНИИМЖ. 2014. №1 (13) С. 56-63.

13. Зверев С.В., Тюрев Е.П. ИК-излучение при переработке фуражного зерна // Комбикормовая промышленность. 1994. № 6. С. 9-11.

14. Патент на изобретение № 2645345 Российская Федерация. МПК A23B 9/02. Устройство для термообработки зерна / Шувалов А.М., Машков А.Н.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВНИИТиН. - №2017116253, заяв. 10.05.2017; опубл. 21.02.2018. Бюл. №6.

15. Патент на изобретение № 2615004 Российская Федерация. МПК A23L 11/00. Способ обработки полножирных соевых бобов. / Шувалов А.М., Чернов Д.С., Шулаев Г.М., Вотановская Н.А., Машков А.Н.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВНИИТиН. - №2015153579, заяв. 14.12.2015; опубл. 03.04.2017. Бюл. №10.

16. Шувалов А.М., Машков А.Н., Чернов Д.С., Калинин В.Ф., Набатов К.А. Расчет показателей процесса нагрева зерна сои //Техника в сельском хозяйстве. - 2014. -№ 6. -С. 7.

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

18. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справочное пособие. 3-е издание переработанное и дополненное / Под ред. А.П. Калашникова, В.И. Фисинина, В.В. Щеглова, Н.И. Клейменова. – Москва, 2003. С. 38-51.

19. Зеленина О.Н., Прахова Т.Я. Жирнокислотный состав маслосемян озимого рыжика сорта Пензяк // Масличные культуры. 2009. № 2 (141). [Электронный ресурс] – Режим доступа : URL: https://cyberleninka.ru/article/n/zhirno-kislotnyy-sostav-maslosemyan-ozimogo-ryzhika-sorta-penzyak

20. Гладышев М.И. Незаменимые полиненасыщенные жирные кислоты и их пищевые источники для человека // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2012. Т. 5. № 4. С. 352-386.

Reference

1. Filippova O.B., Kiiko E.I., Zazulya A.N. Alternative energy supplement in cow diets // Nauka v tsentral'noy Rossii (Science in Central Russia). 2018. No. 1 (31). pp. 75-82.

2. Filippova O.B., Kiiko E.I., Zazulya A.N. Adding of Substandard Sunflower Seeds as an Energy Supplement to the Ration of Dairy Cows // Russian Agricultural Sciences. 2018. Vol. 44. No. 4. pp. 345-349. (DOI: 10.3103/S1068367418040080)

3. Filippova O.B., Kiiko E.I., Maslova N.I. Natural grain of a lupine in diets of cows // Zootechniya (Zootechnics.). 2016. No. 12. pp. 11-15.

4. Kliem K.E., Humphries D.J., Grandison A.S. [et al.] Effect of a whey protein and rapeseed oil gel feed supplement on milk fatty acid composition of Holstein cows // Journal of Dairy Science. 2019. Vol. 102. Iss. 1. pp. 288-300 (doi.org/10.3168/jds.2018-15247).

5. Muñoz C., Sánchez R., Peralta A. M. T. [et al.] Effects of feeding unprocessed oilseeds on methane emission, nitrogen utilization efficiency and milk fatty acid profile of lactating dairy cows // Animal Feed Science and Technology. 2019. Vol. 249. pp. 18-30. (doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.01.015)

6. Kharitonov E.L. Physiology and biochemistry of dairy cattle. – Borovsk : Publishing house "Optima Press", 2011. 372 p.

7. Buyankin V.I. Sow ginger, reap the benefits // Pole deyatel'nosti (Field of activity). 2013. No. 5. pp. 50-53.

8. Quality and fatty acid composition of ginger oil // T.V. Renzyaev, O.P. Renzyaev, V.I. Krivovyaz, A.A. Proskurin, I.V. Pikuleva, T.M. Chikunova // Maslozhirovaya promyshlennost' (Fat-and-oil industry). 2003. No. 3. pp. 62-63.

9. Studying the regularities of the preliminary extrusion preparation of oilseeds for the pressing process / L.N. Frolova, V.N. Vasilenko, I.V. Dragan, N.A. Mikhailova // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy (Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies). 2015. No. 2. pp. 27-29.

10. Boyko L.P., Trunova L.A. Extrusion technology of soybean seed processing [Electronic resource] – Access mode : URL: http://www.eks-bio.ru/stati/page21/index.html

11. Braginets N.V., Rabshtyna V.A. Grain micronization // Kombikormovaya promyshlennost' (Feed industry). 1989. No. 4. pp. 55-67.

12. Budnikov D.A., Vasiliev A.N., Vasiliev A.A. Statement of the problem of thermal conductivity during microwave heating of grain for disinfection // Vestnik VNII Mekhanizatsii Zhivotnovodstva (Bulletin of the Institute of Mechanization of Animal Husbandry). 2014. No. 1 (13) pp. 56-63.

13. Zverev C.B., Tyurev E.P. IR radiation in the processing of feed grain // Kombikormovaya promyshlennost' (Feed industry). 1994. No. 6. pp. 9-11.

14. Patent for invention No. 2645345 Russian Federation. IPC A23B 9/02. Device for heat treatment of grain / Shuvalov A.M., Mashkov A.N.; applicant and patent holder FGBNU VNIITiN. - No. 2017116253, application. 05.10.2017; publ. 02.21.2018. Bull. No. 6.

15. Patent for invention No. 2615004 Russian Federation. IPC A23L 11/00. Method for processing full-fat soybeans. / Shuvalov A.M., Chernov D.S., Shulaev G.M., Votanovskaya N.A., Mashkov A.N.; applicant and patent holder FGBNU VNIITiN. - No. 2015153579, application. 12.14.2015; publ. 04.03.2017. Bull. No. 10.

16. Shuvalov A.M., Mashkov A.N., Chernov D.S., Kalinin V.F., Nabatov K.A. Calculation of indicators of the soybean grain heating process //Technique in agriculture. - 2014. -№ 6. -P. 7.

17. Chernov, D.S. Experimental determination of the optimal ratio of heat flows during combined heating of soybean grains / D.S. Chernov, A.N. Mashkov, A.M. Shuvalov, N.A. Votanovskaya, G.M. Shulaev. // Vestnik VIESKh. –2015. –№2. –pp.46–51.

18. Norms and rations of feeding farm animals: a reference guide. 3rd edition revised and expanded / Edited by A.P. Kalashnikov, V.I. Fisinin, V.V. Shcheglova, N.I. Kleimenova. – Moscow, 2003. pp. 38-51.

19. Zelenina O.N., Prakhova T.Ya. Fatty acid composition of winter ginger oilseeds of the Penzyak variety // Maslichnyye kul'tury (Oilseeds). 2009. № 2 (141). [Electronic resource] – Access mode : URL: https://cyberleninka.ru/article/n/zhirno-kislotnyy-sostav-maslosemyan-ozimogo-ryzhika-sorta-penzyak

20. Gladyshev M.I. Irreplaceable polyunsaturated fatty acids and their food sources for humans // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Biologiya (Journal of the Siberian Federal University. Biology). 2012. Vol. 5. No. 4. pp. 352-386.

Информация об авторах

О.Б. Филиппова - доктор биологических наук; А. Н. Машков - кандидат технических наук; А.И. Фролов – кандидат сельскохозяйственных наук; А.Н. Бетин - кандидат сельскохозяйственных наук.

Information about the authors

O.Filippova – Doctor of Biological Sciences, Professor; A. Mashkov - Candidate of Technical Sciences; A. Frolov - PhD in Agriculture; A. Betin - PhD in Agriculture.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 23.07.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.08.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.243
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-4-37-46

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ БУНКЕР ДЛЯ ХРАНЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Владимир Викторович Васильев [1]***, Дарья Дмитриевна Афоничева*** [2]***,***
Игорь Игоревич Аксенов [3]
[1]*Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I,*
г. Воронеж, Россия
[1] vasiliev.vladimir87@mail.ru
[2]daria.afonicheva@yandex.ru
[3]igor-aksenov1989@ya.ru

Автор, ответственный за переписку: Владимир Викторович Васильев, vasiliev.vladimir87@mail.ru
Corresponding author: Vladimir Vasiliev, vasiliev.vladimir87@mail.ru

Реферат. *Предложен усовершенствованный цилиндрический бункер для хранения сельскохозяйственной продукции, отличительной особенностью которого является характер расположения в фундаменте ниже пола сквозных дополнительных каналов с транспортерами, которые параллельны друг другу и в обязательном порядке пересекают центральный канал с центральным транспортером под прямым углом. Такое расположение сквозных дополнительных каналов с транспортерами позволяет равномерно распределить по площади пола дополнительные воронки, в результате этого обеспечивается равномерная разгрузка цилиндрического бункера по всей его площади с минимальными остатками сельскохозяйственной продукции на полу и работа транспортеров независимо друг от друга, что позволяет реализовать максимально возможную подачу сырья на каждый транспортер. Наиболее эффективная разгрузка бункера реализуется при полном открытии воронок и дополнительных воронок, когда происходит максимально возможная подача сельскохозяйственной продукции на центральный транспортер и на каждый транспортер, установленный в сквозном дополнительном канале. Приведены зависимости для определения технической производительности разгрузочной системы цилиндрического бункера, которые позволили выполнить сравнительный анализ технических производительностей усовершенствованного бункера и его прототипа. Выполненный анализ показал, что при равных условиях техническая производительность разгрузочной системы усовершенствованного цилиндрического бункера на 30…33 % больше технической производительности разгрузочной системы прототипа. Техническая производительность разгрузочной системы цилиндрического бункера зависит от особенностей расположения транспортеров друг относительно друга и от подачи воронок, чем выше подача воронок, тем больше техническая производительность транспортеров. Получена зависимость для расчета требуемой мощности двигателя привода при известном значении технической производительности транспортера. Практическое использование усовершенствованной конструкции цилиндрического бункера для хранения сельскохозяйственной продукции даст возможность быстрой выгрузки продукции.*

Ключевые слова: *цилиндрический бункер, сельскохозяйственная продукция, хранение, разгрузка, разгрузочная система, транспортер, техническая производительность, воронка, подача.*

ADVANCED CYLINDRICAL STORAGE BIN FOR AGRICULTURAL PRODUCTS

Vladimir Vasiliev [1]***, Daria Afonicheva*** [2]***, Igor Aksenov*** [3]
[1]*Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia*

[1] vasiliev.vladimir87@mail.ru
[2]daria.afonicheva@yandex.ru
[3]igor-aksenov1989@ya.ru

Abstract. *An improved cylindrical hopper for storing agricultural products is proposed, the distinctive feature of which is the nature of the arrangement of through additional channels with conveyors in the foundation below the floor, which are parallel to each other and necessarily cross the central channel with the central conveyor at right angles. This arrangement of through additional channels with conveyors allows you to evenly distribute additional funnels over the floor area, as a result, uniform unloading of the cylindrical hopper is ensured over its entire area with minimal agricultural product residues on the floor and the operation of the conveyors independently of each other, which allows for the maximum possible supply of raw materials to each conveyor. The most efficient unloading of the hopper is realized when the funnels and additional funnels are fully opened, when the maximum possible supply of agricultural products occurs to the central conveyor and to each conveyor installed in the through additional channel. The dependences for determining the technical performance of the unloading system of a cylindrical hopper are given, which made it possible to perform a comparative analysis of the technical performance of the improved hopper and its prototype. The performed analysis showed that, under equal conditions, the technical performance of the unloading system of the improved cylindrical hopper is 30...33% higher than the technical performance of the unloading system of the prototype. The technical performance of the cylindrical hopper unloading system depends on the location of the conveyors relative to each other and on the funnel feed, the higher the funnel feed, the greater the technical performance of the conveyors. A dependence is obtained for calculating the required power of the drive motor at a known value of the technical performance of the conveyor. The practical use of the improved design of a cylindrical hopper for storing agricultural products will make it possible to quickly unload products.*

Keywords: *cylindrical hopper, agricultural products, storage, unloading, unloading system, conveyor, technical performance, funnel, feed.*

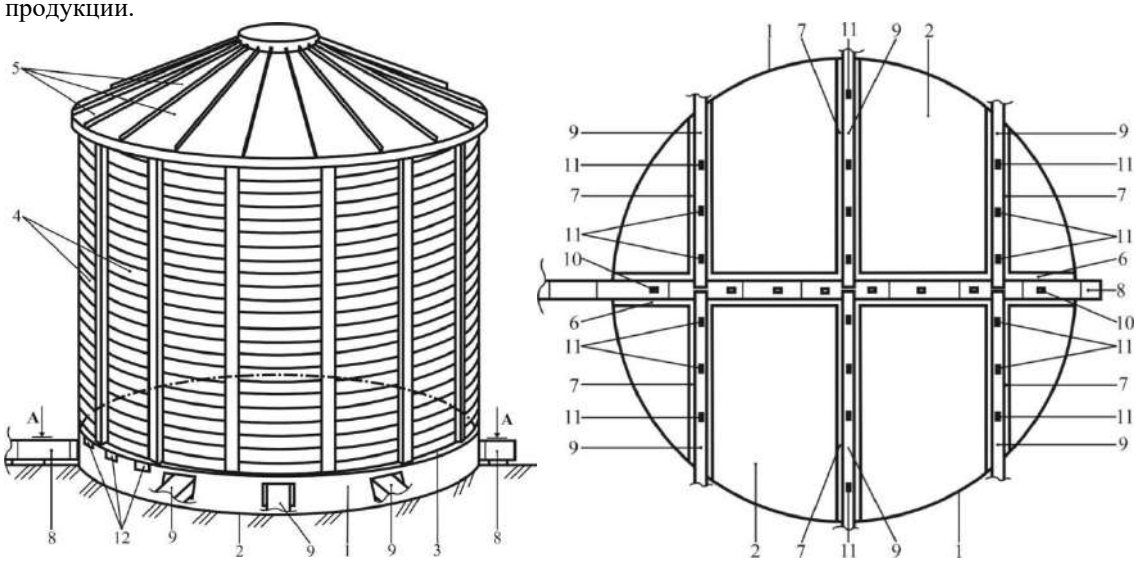
Для цитирования: Васильев В.В., Афоничева Д.Д., Аксенов И.И. Усовершенствованный цилиндрический бункер для хранения сельскохозяйственной продукции // Наука в центральной России. 2023. Т. 64, № 4. С. 37-46. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-37-46.

For citation: Vasilliev V., Afonicheva D., Aksenov I. Advanced cylindrical storage bin for agricultural products. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 64(4): 37-46. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-37-46.

Введение. Современное международное развитие различных отраслей агропромышленного комплекса (АПК) предусматривает не только производство сельскохозяйственной продукции, но и хранение произведенной или переработанной продукции на собственных складах, хранилищах. В настоящее время хранение сельскохозяйственной продукции может осуществляться в следующих зернохранилищах [1, 2, 3, 4, 5, 6]: бетонные стационарные элеваторы, склады (ангары, зерносклады), арочные бескаркасные зернохранилища, цилиндрические бункеры (металлические силосы, полимерные силосы, а также их модификации), герметичные полиэтиленовые рукава. При этом в различных странах мира [5, 6], в том числе и в России [1, 2, 3, 4] широкое распространение получило хранение сельскохозяйственной продукции в цилиндрических бункерах, которые имеют различную конструкцию. Проведенный анализ ряда известных цилиндрических бункеров [5, 6, 7, 8, 9] показал, что они характеризуются низкой производительностью системы разгрузки. Особенно указанный недостаток проявляется при большом диаметре бункера, когда сквозные дополнительные каналы с установленными в них транспортерами имеют круговое расположение вокруг фундамента цилиндрического бункера и пересекают сквозной центральный канал с установленным в нем центральным транспортером в двух точках. Учитывая выявленные недостатки хранилищ цилиндрической формы, на основе цилиндрического бункера, описанный в [7] с круговым расположением транспортеров, был предложен цилиндрический бункер для хранения сельскохозяйственной продукции, который представлен на рисунках 1 и 2.

Цилиндрический бункер для хранения сельскохозяйственной продукции содержит [10]: фундамент 1, имеющий пол 2 и фундаментную подушку 3, на фундамент 1 установлена в сборе боковая стенка 4, а сверху боковой стенки закреплена в сборе крышка 5. В фундаменте 1 ниже пола 2 выполнены сквозной центральный канал 6, проходящий по всей длине диаметра фундамента 1, и сквозные дополнительные каналы 7, расположенные параллельно друг другу и пересекающие сквозной центральный канал 6 под прямым углом. В сквозном центральном канале 6 установлен центральный транспортер 8, выходящий за фундамент 1. В сквозных дополнительных каналах 7 установлены транспортеры 9, каждый из которых одним концом выходит за фундамент 1, а другим концом соединен с центральным транспортером 8. Центральный транспортер 8, установленный в сквозном центральном канале 6, связан с воронками 10, выполненными в полу 2 фундамента 1 вдоль сквозного центрального канала 6. Установленные в сквозных дополнительных каналах 7 транспортеры 9 связаны с дополнительными воронками 11, выполненными в полу 2 фундамента 1 и расположенными вдоль сквозных дополнительных каналов 7. По периметру фундамента 1 имеются аэрационные каналы 12, оборудованные в полу 2 фундамента 1 по обеим сторонам сквозного центрального канала 6, сверху которых установлены металлические решетки 13.

Предложенный вариант размещения в фундаменте 1 сквозных дополнительных каналов 7 с транспортерами 9, которые имеют параллельное расположение относительно друг другу, и пересекающих сквозной центральный канал 6 под прямым углом, позволяет равномерно распределить по площади пола 2 дополнительные воронки 11, в результате этого обеспечивается равномерная разгрузка цилиндрического бункера по всей его площади с минимальными остатками сельскохозяйственной продукции на полу 2 фундамента 1 и работа транспортеров 9 независимо друг от друга, что позволяет реализовать максимально возможную подачу сырья на каждый транспортер 8 и 9. В свою очередь установка в каждом сквозном дополнительном канале 7 отдельного транспортера 9, каждый из которых одним концом выходит за фундамент 1, а другим концом соединен с центральным транспортером 8, дает возможность производить техническое обслуживание и ремонт транспортеров независимо от уровня заполнения бункера сельскохозяйственной продукцией, а при выходе из строя любого транспортера исключает необходимость экстренной остановки разгрузки. Указанные преимущества размещения в фундаменте 1 сквозных дополнительных каналов 7 с транспортерами 9 в совокупности повышают производительность разгрузки цилиндрического бункера для хранения сельскохозяйственной продукции.



а) б)

а – вид сбоку; б – разрез А-А

Рисунок 1 – Цилиндрический бункер для хранения сельскохозяйственной продукции

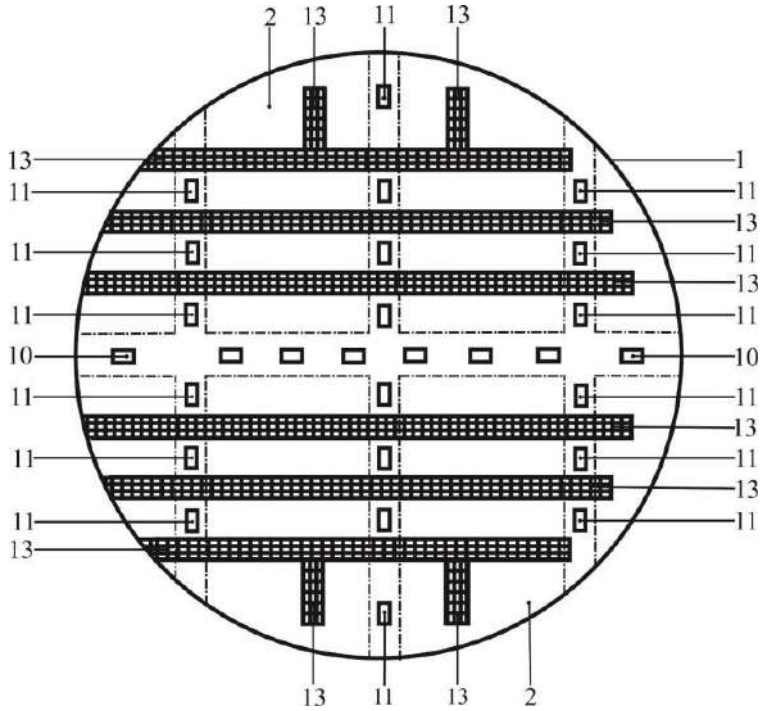


Рисунок 2 – Фундамент цилиндрического бункера для хранения сельскохозяйственной продукции вид сверху

Хранение сельскохозяйственной продукции в цилиндрическом бункере предложенной конструкции предусматривает обязательную выгрузку продукции из бункера. Рассмотрим подробно разгрузку цилиндрического бункера для хранения сельскохозяйственной продукции в рабочем режиме, которая осуществляется следующим образом. В зависимости от выбранного способа разгрузки бункера устройствами управления (на рисунках не показаны) регулируется подача сельскохозяйственной продукции через воронки 10 и дополнительные воронки 11. В результате этого за счет силы тяжести продукция поступает через воронки 10 и дополнительные воронки 11 соответственно на центральный транспортер 8 и транспортеры 9. Наиболее эффективная разгрузка бункера реализуется при полном открытии воронок 10 и дополнительных воронок 11, когда происходит максимально возможная подача сельскохозяйственной продукции на центральный транспортер 8 и на каждый транспортер 9. Транспортерами 9 сельскохозяйственная продукция перегружается на центральный транспортер 8, которым вместе с продукцией, поступившей через воронки 10, транспортируется к месту разгрузки. При полной разгрузке цилиндрического бункера через инспекционную дверь (на рисунках не показана) осуществляется ревизия по остаткам сельскохозяйственной продукции на полу 2 фундамента 1 между воронками 10 и дополнительными воронками 11. Все остатки сельскохозяйственной продукции принудительно направляются в воронки 10 или дополнительные воронки 11 и по транспортерам 9 и транспортеру 8 перемещаются к месту выгрузки. После этого цилиндрический бункер зачищается и загружается другой сельскохозяйственной продукцией.

Подробно проанализировав основные аргументы, повышающие эффективность разгрузки усовершенствованного цилиндрического бункера, а также процесс его разгрузки, можно сделать вывод, что повышение производительности разгрузки цилиндрического бункера в первую очередь зависит от характера расположения транспортеров 9 относительно центрального транспортера 8. Данный вариант расположения транспортеров 9 относительно центрального транспортера 8 определяет наиболее эффективное использование производительности разгрузочной системы, которая включает в себя центральный транспортер 8, транспортеры 9, воронки 10 и дополнительные воронки 11.

Целью данной работы был сравнительный анализ производительности разгрузочной системы усовершенствованного цилиндрического бункера с производительностью разгрузочной системы бункера, описанного в [7], что, по мнению авторов, требуется для практической реализации предложенного технического решения.

Результаты и обсуждение. Теоретическая производительность скребкового транспортера $П_0$ (т/ч) определяется по формуле

$$П_0 = \frac{mV}{l}, \tag{1}$$

где m – масса продукции, захватываемая скребком, кг;

V – скорость транспортера, м/с;

l – расстояние между скребками, м.

Скорость транспортера V зависит от мощности двигателя привода N (кВт) и преодолеваемого сопротивления движению транспортера P (кН)

$$V = \frac{\eta N}{P}, \tag{2}$$

где η – коэффициент полезного действия (КПД) механической передачи привода.

Сопротивление движению транспортера P является функцией двух аргументов: массы продукции, захватываемой скребком, m и скорости V, а теоретическая производительность транспортера $П_0$ ограничена мощностью двигателя привода N. Подставим формулу (2) в формулу (1)

$$П_0 = \frac{3,6m\eta N}{Pl}. \tag{3}$$

Техническая производительность транспортера $П_T$, которая не превышает теоретическую $П_0$, ($П_T \le П_0$) зависит от интенсивности подачи продукции на транспортер. Если принять, что техническая производительность транспортера равна его теоретической производительности ($П_T = П_0$), то из формулы (3) можно найти требуемую мощностью двигателя привода N

$$N = \frac{П_T Pl}{3,6m\eta}. \tag{4}$$

Техническая производительность разгрузочной системы цилиндрического бункера для хранения сельскохозяйственной продукции $П_{ТРСБ}$ равна технической производительности центрального транспортера $П_{ТЦТ}$, то есть $П_{ТРСБ} = П_{ТЦТ}$.

Так как транспортеры, установленные в сквозных дополнительных каналах, в усовершенствованном бункере работают автономно друг от друга, то техническая производительность *i*-го транспортера, установленного в *i*-ом сквозном дополнительном канале, $П_{Ti}$ равна суммарной подаче от дополнительных воронок, выполненных в полу фундамента вдоль *i*-го сквозного дополнительного канала, Q_i (т/ч), то есть $П_{Ti} = Q_i$.

Техническая производительность центрального транспортера $П_{ТЦТ}$ усовершенствованного бункера равна

$$П_{ТЦТ} = \sum_{i=1}^{n} П_i + Q_{ЦК}, \tag{5}$$

где n – количество транспортеров, установленных в сквозных дополнительных каналах;

$Q_{ЦК}$ – суммарная подача от воронок, выполненных в полу фундамента вдоль сквозного центрального канала, т/ч.

Из формулы (5) видно, что техническая производительность разгрузочной системы усовершенствованного цилиндрического бункера формируется из технических производительностей транспортеров, установленных в сквозных дополнительных каналах, и из подачи каждой воронки, выполненной в полу фундамента вдоль сквозного центрального канала.

У прототипа [7] дополнительные каналы с транспортерами имеют круговое расположение, с разделением на левую и правую цепочки взаимосвязанных транспортеров, то есть в каждой цепочке транспортеры соединены друг с другом, а порядок их соединения напрямую зависит от количества применяемых транспортеров в каждой цепочке. На основании сказанного, при условии что левая и правая цепочки взаимосвязанных транспортеров состоят из трех транспортеров, где два транспортера соединены друг с другом, а один работает автономно, суммарная техническая производительность транспортеров, установленных в дополнительных каналах, $П_{Тсум}$ будет равна

$$П_{Тсум} = П_{ТЛЦ} + П_{ТПЦ} = Q_{ЛЦЦТ} + Q_{ЛЦПТ} + Q_{ЛЦПрТЦТ} + Q_{ПЦЦТ} + Q_{ПЦПТ} + Q_{ПЦПрТЦТ}, \quad (6)$$

где $П_{ТЛЦ}$ – техническая производительность левой цепочки взаимосвязанных транспортеров, т/ч;

$П_{ТПЦ}$ – техническая производительность правой цепочки взаимосвязанных транспортеров, т/ч;

$Q_{ЛЦЦТ}$ – суммарная подача воронок, выполненных в полу фундамента вдоль сквозного дополнительного канала, в котором установлен транспортер левой цепочки, связанный с центральным транспортером и работающий автономно, т/ч;

$Q_{ЛЦПТ}$ – суммарная подача воронок, выполненных в полу фундамента вдоль сквозного дополнительного канала, в котором установлен транспортер левой цепочки, соединенный и совместно работающий с последующим транспортером, но не связанный с центральным транспортером, т/ч;

$Q_{ЛЦПрТЦТ}$ – суммарная подача воронок, выполненных в полу фундамента вдоль сквозного дополнительного канала, в котором установлен транспортер левой цепочки, соединенный и совместно работающий с предыдущим транспортером, и связанный с центральным транспортером, т/ч;

$Q_{ПЦЦТ}$ – суммарная подача воронок, выполненных в полу фундамента вдоль сквозного дополнительного канала, в котором установлен транспортер правой цепочки, связанный с центральным транспортером и работающий автономно, т/ч;

$Q_{ПЦПТ}$ – суммарная подача воронок, выполненных в полу фундамента вдоль дополнительного сквозного канала, в котором установлен транспортер правой цепочки, соединенный и совместно работающий с последующим транспортером, но не связанный с центральным транспортером, т/ч;

$Q_{ПЦПрТЦТ}$ – суммарная подача воронок, выполненных в полу фундамента вдоль дополнительного сквозного канала, в котором установлен транспортер правой цепочки, соединенный и совместно работающий с предыдущим транспортером, и связанный с центральным транспортером, т/ч.

Формула (6) регламентирует, что производительность левой и правой цепочек взаимосвязанных транспортеров зависит от суммарной подачи дополнительных воронок. При этом производительность транспортера левой или правой цепочки, соединенного и совместно работающего с предыдущим транспортером, равна соответственно $Q_{ЛЦПТ} + Q_{ЛЦПрТЦТ}$ или $Q_{ПЦПТ} + Q_{ПЦПрТЦТ}$.

Техническая производительность центрального транспортера $П_{ТЦТ}$ прототипа

$$П_{ТЦТ} = П_{Тсум} + Q_{ЦК}. \quad (7)$$

Для выполнения сравнительного анализа технической производительности разгрузочной системы усовершенствованного цилиндрического бункера с технической производительностью разгрузочной системы бункера-прототипа [7], обуславливаемся, что данный сравнительный анализ будет реализован при одинаковых условиях. Таким образом, в отношении разгрузочной системы усовершенствованного цилиндрического бункера для хранения сельскохозяйственной продукции и разгрузочной системы прототипа с учетом опыта эксплуатации цилиндрических бункеров [11, 12], принимаются следующие условия.

1. Центральный транспортер выполнен в виде скребкового транспортера, который связан с четырьмя воронками, выполненными в полу фундамента вдоль сквозного центрального канала.

2. Воронки, выполненные в полу фундамента вдоль сквозного центрального канала, имеют прямоугольное сечение и создают одинаковую подачу. Подача каждой воронки изменяется в диапазоне от 2,0 т/ч до 29,0 т/ч шагом 3,0 т/ч.

3. Общее количество транспортеров, установленных в сквозных дополнительных каналах, рано шести. При этом каждый транспортер выполнен в виде скребкового транспортера, который связан с тремя дополнительными воронками, выполненными в полу фундамента и расположенными вдоль сквозных дополнительных каналов.

4. Дополнительные воронки, выполненные в полу фундамента и расположенные вдоль сквозных дополнительных каналов, имеют прямоугольное сечение и создают одинаковую подачу. Подача каждой дополнительной воронки изменяется от 1,0 т/ч до 19,0 т/ч с шагом 2,0 т/ч.

Учитывая весь комплекс принятых условий, сравнительный анализ технической производительности разгрузочной системы усовершенствованного цилиндрического бункера с технической производительностью разгрузочной системы его прототипа, реализовали для десяти вариантов (таблица 1).

Таблица 1 – Варианты сравнительного анализа производительности разгрузочных систем цилиндрических бункеров

Показатели	Значения для вариантов									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Подача воронки, т/ч	2,0	5,0	8,0	11,0	14,0	17,0	20,0	23,0	26,0	29,0
Подача дополнительной воронки, т/ч	1,0	3,0	5,0	7,0	9,0	11,0	13,0	15,0	17,0	19,0

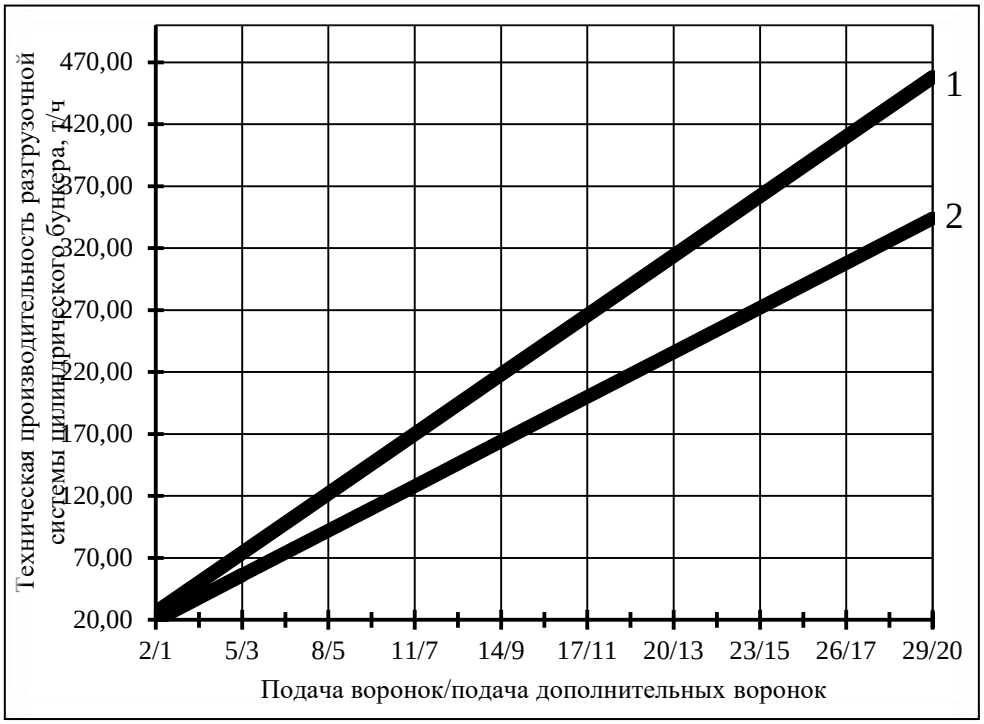
На основании таблицы 1 по формулам (5), (6) и (7) был выполнен расчет технической производительности разгрузочной системы усовершенствованного цилиндрического бункера для хранения сельскохозяйственной продукции и технической производительности разгрузочной системы прототипа. Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблицы 2 – Результаты сравнительного анализа технической производительности разгрузочных систем цилиндрических бункеров

Показатели	Значения для вариантов									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Производительность разгрузочной системы усовершенствованного цилиндрического бункера, т/ч	26	74	122	170	218	266	314	362	410	458
Производительность разгрузочной системы прототипа, т/ч	20	56	92	128	164	200	236	272	308	344

По данным таблицы 2 построены графики зависимости технической производительности разгрузочной системы цилиндрических бункеров от подачи воронок. Данные графики представлены на рисунке 3 (прямая *1* отражает изменение производительности разгрузочной системы усовершенствованного цилиндрического бункера от подачи воронок, прямая *2* – изменение производительности разгрузочной системы прототипа от подачи воронок). Из рисунка 3 видно, что техническая производительность разгрузочной системы усовершенствованного цилиндрического бункера больше технической производительности разгрузочной системы прототипа. Также из графиков следует, что при увеличении подачи воронок техническая производительность разгрузочной системы усовершенствованного цилиндрического бункера возрастает с большей интенсивностью, чем техническая производительность разгрузочной системы прототипа: при подаче воронок 2,0 т/ч и подаче дополнительных воронок 1,0 т/ч техническая производительность разгрузочной системы усовершенствованного цилиндрического бункера на 30 % больше технической производительности разгрузочной системы прототипа, а при подаче воронок 29,0 т/ч и подаче дополнительных воронок 19,0 т/ч техническая

производительность разгрузочной системы усовершенствованного цилиндрического бункера на 33,1 % больше технической производительности разгрузочной системы прототипа. Это связано с тем, что в разгрузочной системе усовершенствованного цилиндрического бункера транспортеры, установленные в сквозных дополнительных каналах, используются более рационально.



1 – усовершенствованный цилиндрический бункер; 2 – прототип

Рисунок 3 – Графики зависимости технической производительности разгрузочной системы цилиндрических бункеров для хранения сельскохозяйственной продукции от подачи воронок

Выводы.

1. Техническая производительность разгрузочной системы цилиндрического бункера для хранения сельскохозяйственной продукции зависит не только от производительности разгрузочных устройств, но и от их размещения. Предложенный вариант размещения в фундаменте сквозных дополнительных каналов с транспортерами параллельно друг другу обеспечивает автономную работу каждого транспортера, что обеспечивает их эффективное использование при разгрузке бункера.

2. Приведенные зависимости для определения технической производительности разгрузочной системы цилиндрического бункера для хранения сельскохозяйственной продукции позволили выполнить сравнительный анализ технических производительностей усовершенствованного бункера и его прототипа. Выполненный анализ показал, что при равных условиях техническая производительность разгрузочной системы усовершенствованного цилиндрического бункера на 30…33 % больше технической производительности разгрузочной системы прототипа.

3. Техническая производительность разгрузочной системы цилиндрического бункера зависит от особенностей расположения транспортеров друг относительно друга и от подачи воронок, чем выше подача воронок, тем больше техническая производительность транспортеров.

4. Известное при заданной подаче воронок значение технической производительности транспортера позволяет по полученной зависимости определить требуемую мощность двигателя привода.

5. Практическое использование усовершенствованной конструкции цилиндрического бункера для хранения сельскохозяйственной продукции даст возможность быстрой выгрузки продукции. Также следует отметить, что разгрузка бункера может выполняться в различной последовательности, то есть от центра к боковой стенке или в обратном порядке с постоянным равномерным распределением нагрузки на всю площадь боковой стенки, контактирующей с хранящейся продукцией.

Список источников

1. Зимняков В.М., Сергеев А.Ю. Сооружения и оборудование для хранения сельскохозяйственной продукции. Пенза: РИО ПГСХА, 2015. 207 с.

2. Федоренко В.Ф., Гольтяпин В.Я. Перспективные технологии послеуборочной обработки и хранения зерна: науч. аналит. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. 200 с.

3. Трасенко А.П. и др. Современные технологии хранения зерна в хозяйствах: учебное пособие. Воронеж: ФГБОУ Воронежский ГАУ, 2014. 135 с.

4. Юкиш А.Е., Ильина О.А. Техника и технология хранения зерна. М.: ДеЛи принт, 2009. 718 с.

5. Bala B.K. Drying and storage of cereal grains: second edition. Wiley Blackwell, 2017. 336 p.

6. Boumans G. Grain handling and storage. ELSEVIER, 1985. 442 p.

7. Патент на изобретение № 2570189 РФ, МПК B65G 65/40. Система разгрузки цилиндрического бункера / Внайемэйер Дуглас Дж., Динджельдейн Марк С.; заявитель и патентообладатель СТБ, ИНК. № 2013103427/11; заявл. 17.06.2011; опубл. 10.12.2015, бюл. № 34. 18 с.

8. Patent № 2020223649 A1 USA, Int. Cl. A01F 25/20, B65G 47/16, 65/48. Sweep conveyor assembly for use in a silo or granary / Forsberg Gustaf; applicant and patent holder FORSBERG VAEXTODLING AB. № 16/626,967; filed: 27.12.2019; date application 16.07.2020. 31 p.

9. Patent № 2006018739 A1 USA, Int. Cl. B65G 1/00, A01F 25/18, 25/20, B65G 33/10, 65/36, 65/46. Agricultural silo auger system apparatus and method / Lambert Charles F; applicant and patent holder Lambert Charles F. № 10/854,230; filed: 27.05.2004; date application 26.01.2006. 12 p.

10. Патент на изобретение № 2799277 РФ, МПК B65G 65/40. Цилиндрический бункер для хранения сельскохозяйственной продукции / В.В. Васильев, Д.Д. Афоничева, И.И. Аксенов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. № 2023110466; заявл. 24.04.2023; опубл. 04.07.2023, бюл. № 19. 10 с.

11. Design of reinforced concrete silo / Fernando A. N. Silva, Bernardo Horo-witz, João M. P. Q. Delgado, António C. Azevedo // Springer, 2019. 93 p.

12. Малин Н.И. Технология хранения зерна. М.: Колос, 2005. 280 с.

Reference

1. Zimnyakov V.M., Sergeev A.Yu. Structures and equipment for storage of agricultural products. Penza: RIO PGSHA, 2015. 207 s.

2. Fedorenko V.F., Goltyapin V.Ya. Promising technologies of post-harvest processing and grain storage: scientific. analyte. review. Moscow: FSBI "Rosinformagrotech", 2017. 200 s.

3. Trasenko A.P. et al. Modern technologies of grain storage in farms: a textbook. Voronezh: Voronezh State Pedagogical University, 2014. 135 s.

4. Yukish A.Well. Ilyina O.A. Technique and technology feeding Zerna. M.: Deli print, 2009. 718 s.

5. Bala B.K. Drying and storage of cereal grains: second edition. Wiley Blackwell, 2017. 336 s.

6. Boumans G. Grain handling and storage. ELSEVIER, 1985. 442 s.

7. Patent for invention № 2570189 of the Russian Federation, IPC B65G 65/40. Cylindrical hopper unloading system / Vnaemeyer Douglas J., Dingeldein Mark S.; applicant and patent holder STB, INC. №. 2013103427/11; application 17.06.2011; publ. 10.12.2015, bul. №. 34. 18 s.

8. Patent № 2020223649 A1 USA, Int. Cl. A01F 25/20, B65G 47/16, 65/48. Sweep conveyor assembly for use in a silo or granary / Forsberg Gustaf; applicant and patent holder FORSBERG VAEXTODLING AB. № 16/626,967; filed: 27.12.2019; date application 16.07.2020. 31 s.

9. Patent № 2006018739 A1 USA, Int. Cl. B65G 1/00, A01F 25/18, 25/20, B65G 33/10, 65/36, 65/46. Agricultural silo auger system apparatus and method / Lambert Charles F; applicant and patent

holder Lambert Charles F. № 10/854,230; filed: 27.05.2004; date application 26.01.2006. 12 s.

10. Patent for invention № 2799277 of the Russian Federation, IPC B65G 65/40. Cylindrical bunker for storing agricultural products / V.V. Vasiliev, D.D. Afonicheva, I.I. Aksenov; applicant and patent holder of the Voronezh State Agrarian University. №. 2023110466; application №. 24.04.2023; publ. 04.07.2023, bul. №. 19.10 s.

11. Design of reinforced concrete silo / Fernando A. N. Silva, Bernardo Horo-witz, João M. P. Q. Delgado, António C. Azevedo // Springer, 2019. 93 s.

12. Malin N.I. Grain storage technology. Moscow: Kolos, 2005. 280 s.

Информация об авторах

В.В. Васильев - кандидат технических наук, доцент; Д. Д. Афоничева – студент; Г.А. Симонов – доктор сельскохозяйственных наук; И.И. Аксенов – старший преподаватель.

Information about the authors

V. Vasiliev – Candidate of technical sciences; D. Afonicheva – student; I. Aksenov – Senior lecture.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 23.07.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.08.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.372:004.4
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-4-47-55

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Сергей Николаевич Пиляев [1]***, Дмитрий Николаевич Афоничев*** [2]***,***
Сергей Александрович Врагов [3]
[1,2] *Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, г. Воронеж, Россия*
[3] *Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия*
[1] pilyaevs@mail.ru
[2] dmafonichev@yandex.ru
[3] svragov@list.ru

Автор, ответственный за переписку: Сергей Николаевич Пиляев, pilyaevs@mail.ru
Corresponding author: Sergey Pilyaev, pilyaevs@mail.ru

Реферат. *В зависимости от типа предприятия затраты электроэнергии на электропривод технологических установок, составляют около 40…50 % всей потребляемой электроэнергии. Проанализированы два принципа управления асинхронным электродвигателем. Оптимальный, с точки зрения энергетической эффективности, скалярный закон регулирования амплитуды напряжения питания предполагает подбор для каждого фиксированного значения частоты питания и момента нагрузки такого значения амплитуды напряжения, при котором потери в двигателе минимальны, а КПД – максимальный. Для этих целей в состав электропривода добавляется дополнительный регулятор, который при изменении частоты питания корректирует в незначительных пределах полученное, согласно, базового закона значение амплитуды напряжения, таким образом, чтобы обеспечить экстремум КПД. В качестве целевой функции экстремального регулятора (критерия энергетической эффективности асинхронного электродвигателя) могут быть выбраны: потери мощности в двигателе, основанные на токе в обмотке статора или на величине основного магнитного потока, сохранение постоянного скольжения ротора, комбинации нескольких параметров. Предложена компьютерная модель системы скалярного управления с подобным экстремальным регулятором, созданная в программном комплексе SimInTech. Применение предлагаемого регулятора позволяет повысить КПД электродвигателя на 1,3…11,2 %, наибольшее значение увеличения КПД достигается при частоте 20 Гц, а наименьшее – при частоте 50 Гц. Предложенная компьютерная модель является универсальной, и позволяет исследовать различные комбинации оптимизационных критериев и алгоритмов работы экстремального регулятора.*

Ключевые слова: *энергоэффективность, электрическая энергия, электропривод, асинхронный электродвигатель, управление, экстремальный регулятор, потери, коэффициент полезного действия.*

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF AN ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE IN AGRICULTURE

Sergey Pilyaev [1]***, Dmitry Afonichev*** [2]***, Sergey Vragov*** [3]
[1,2] *Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia*
[3] *Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia*
[1] pilyaevs@mail.ru
[2] dmafonichev@yandex.ru

[3] svragov@list.ru

Abstract. *The cost of electricity for the electric drive of technological installations is about 40 ... 50% of the total electricity consumed, depending on the type of enterprise. Two principles of control of an asynchronous electric motor are analyzed. Optimum from the point of view of energy efficiency, the scalar law of regulation of the supply voltage amplitude assumes the selection for each fixed value of the supply frequency and load moment of such a value of the voltage amplitude at which the losses in the motor are minimal and the efficiency is maximum. For these purposes, an additional controller is added to the composition of the electric drive, which, when the power frequency changes, corrects the value of the voltage amplitude obtained, according to the basic law, to a small extent, in such a way as to ensure the extremum of efficiency. As an objective function of the extremal controller (a criterion for the energy efficiency of an asynchronous electric motor), the following can be chosen: power losses in the motor based on the current in the stator winding or on the value of the main magnetic flux, maintaining a constant rotor slip, combinations of several parameters. A computer model of a scalar control system with a similar extremal controller, created in the SimInTech software package, is proposed. The use of the proposed regulator allows to increase the efficiency of the electric motor by 1.3 ... 11.2%, the largest increase in efficiency is achieved at a frequency of 20 Hz, and the smallest - at a frequency of 50 Hz. The proposed computer model is universal and allows you to explore various combinations of optimization criteria and algorithms for the extremal controller.*

Keywords: *energy efficiency, electric energy, electric drive, asynchronous electric motor, control, extreme regulator, losses, efficiency.*

Для цитирования: Пиляев С.Н., Афоничев Д.Н., Врагов С.А. Повышение энергоэффективности асинхронного электропривода в сельском хозяйстве // Наука в центральной России. 2023. Т. 64, № 4. С. 47-55. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-47-55.

For citation: Pilyaev S., Afonichev D., Vragov S. Improving the energy efficiency of an asynchronous electric drive in agriculture. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 64(4): 47-55. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-47-55.

Введение. В связи с интенсификацией производства и широким внедрением современных технологий потребление электроэнергии сельскохозяйственными предприятиями увеличивается с каждым годом. С другой стороны, из-за несовершенства рынка электроэнергии и отраслевого регулирования тарифов цены на электроэнергию для сельскохозяйственных потребителей повышаются. Этот процесс негативно сказывается на развитии отрасли, так как значительно повышает себестоимость производимой продукции. Так, по литературным данным, доля оплаты электроэнергии в себестоимости сельскохозяйственной продукции составляет порядка 17…25 %, а в ряде производств, особенно с переработкой продуктов, достигает 40…50 % [1, 2], повышаясь с каждым годом. Поэтому, при невозможности повлиять на цену потребляемой электроэнергии и снижение затрат на ее использование необходимо повышение эффективности сельских систем электроснабжения и применение энергосберегающих и энергоэффективных устройств, потребляющих электроэнергию. Энергосбережение является наиболее дешевым и безопасным способом рационального использования генерирующих мощностей, так как затраты на экономию 1 кВт мощности обходятся в 4…5 раз дешевле, чем стоимость вновь вводимого 1 кВт генерируемой мощности [3].

Анализ структуры электропотребления типовых сельскохозяйственных предприятий показывает, что в зависимости от типа предприятия затраты электроэнергии на электропривод технологических установок составляют порядка 40…50 % всей потребляемой электроэнергии [2, 3]. Исходя из этого, задача повышения энергетической эффективности электроприводов технологических установок, заключающаяся в снижении потерь в них и повышении коэффициента мощности в сельскохозяйственных распределительных сетях, является одной из самых актуальных в настоящее время. Конечной целью всех мероприятий по энергосбережению в сельском хозяйстве является реализация следующего закона использования электрической энергии: на любой технологический процесс должно тратиться столько электрической энергии,

чтобы оптимальным образом обеспечивать его выполнение при минимуме ее потерь. В настоящее время создались все предпосылки для решения этой задачи – повышения энергетической эффективности электроприводов сельскохозяйственных технологических машин. К ним можно отнести: появление сравнительно недорогих технических средств управления – программируемых логических контроллеров, сетевого оборудования, интеллектуальных счетчиков электрической энергии, модемов и так далее; широкий уровень развития частотно управляемых электроприводов и другой техники электропривода; наличие развитой и апробированной теоретической базы как основы для создания моделей и алгоритмов управления уровнем электропотребления предприятия. Исходя из этого, к основным задачам снижения электропотребления сельскохозяйственного предприятия относятся следующие [4, 5, 6, 7, 8, 9]:

- разработка и внедрение новых инженерных решений и технических средств, позволяющих снизить реальное потребление электрической энергии в технологических процессах;
- разработка и внедрение новых систем управления режимами работы электрического оборудования технологических установок;
- внедрение новых моделей и алгоритмов оптимизации уровня потребления электрической энергии определенных групп технологического оборудования, основанных на современных цифровых технологиях.

Существует достаточно много самых разнообразных принципов и схем управления асинхронным электродвигателем, базовыми для которых являются два принципа управления: скалярный и векторный [10]. Каждый из этих принципов управления имеет свои достоинства и недостатки. Целью данной работы было рассмотрение принципа и алгоритм повышения энергетической эффективности электроприводов на базе асинхронных электродвигателей со скалярным управлением

Результаты и обсуждение. Принцип скалярного управления асинхронным двигателем основан на том, что при изменении частоты напряжения питания *f* амплитуда напряжения *U* тоже изменяется. Данный принцип предусматривает три варианта в зависимости от вида нагрузки двигателя [10, 11]: $U / f = const$ (рисунок 1) – для активной нагрузки (момент нагрузки постоянен); $U / f^2 = const$ – для нагрузки вентиля торного типа; $U / \sqrt{f} = const$ – для нагрузки, обратно пропорциональной частоте вращения.

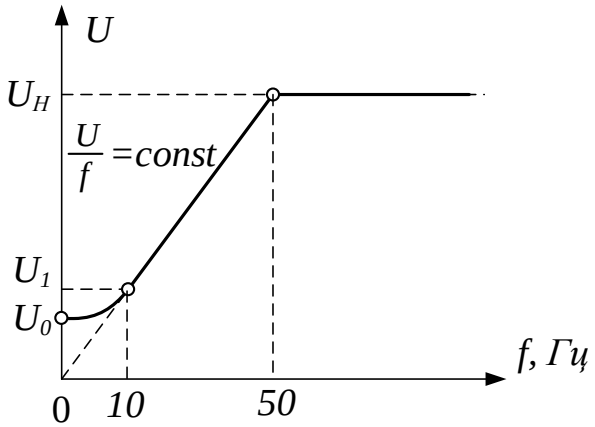


Рисунок 1 – Принцип скалярного частотного управления при $U / f = const$

Скалярное управление достаточно для большинства задач, в которых применяется электропривод с относительно небольшим диапазоном регулирования частоты вращения двигателя (до 1:10): для технологических установок, где не требуется высокая точность регулирования частоты вращения. Этот принцип относительно прост в реализации и более экономичен, чем более сложный векторный принцип управления. Поэтому системы электропривода с асинхронными электродвигателями на основе скалярного частотного

управления получили большое распространение в сельском хозяйстве. Однако, как показано в ряде исследований [5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14] законы изменения амплитуды питающего напряжения при скалярном управлении не обеспечивают достаточно энергоэффективные, наиболее выгоднейшие с точки зрения экономии электроэнергии, режимы работы. Под такими, энергосберегающими режимами работы понимаются такой закон изменения амплитуды питающего напряжения от его частоты $U(f)$, при котором для каждого значения частоты и момента нагрузки обеспечивается минимум потерь в двигателе, а следовательно максимальное значение коэффициента полезного действия (КПД). Таким образом, оптимальный, с точки зрения энергетической эффективности, скалярный закон регулирования амплитуды напряжения питания предполагает подбор для каждого фиксированного значения частоты питания f и момента нагрузки M такого значения U, при котором потери в двигателе минимальны, а КПД – максимальный. Для этих целей в состав электропривода добавляется дополнительный регулятор, который при изменении частоты питания f корректирует в незначительных пределах полученное, согласно, базового закона значение амплитуды напряжения U таким образом, чтобы обеспечить экстремум КПД. Функциональная схема подобной системы приведена на рисунке 2. В этом случае амплитуда питающего напряжения регулируется традиционным путем с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ) ключами инвертора. Полученное с регулятора частоты вращения ротора значение частоты питающего напряжения подается на блок определения требуемой амплитуды напряжения, согласно, выбранного закона скалярного управления $U(f)$, к этой величине амплитуды напряжения U добавляется управляющий сигнал с экстремального регулятора ΔU, который позволяет получить наиболее оптимальное значение напряжения, обеспечивающее минимум заданного энергетического критерия эффективности.

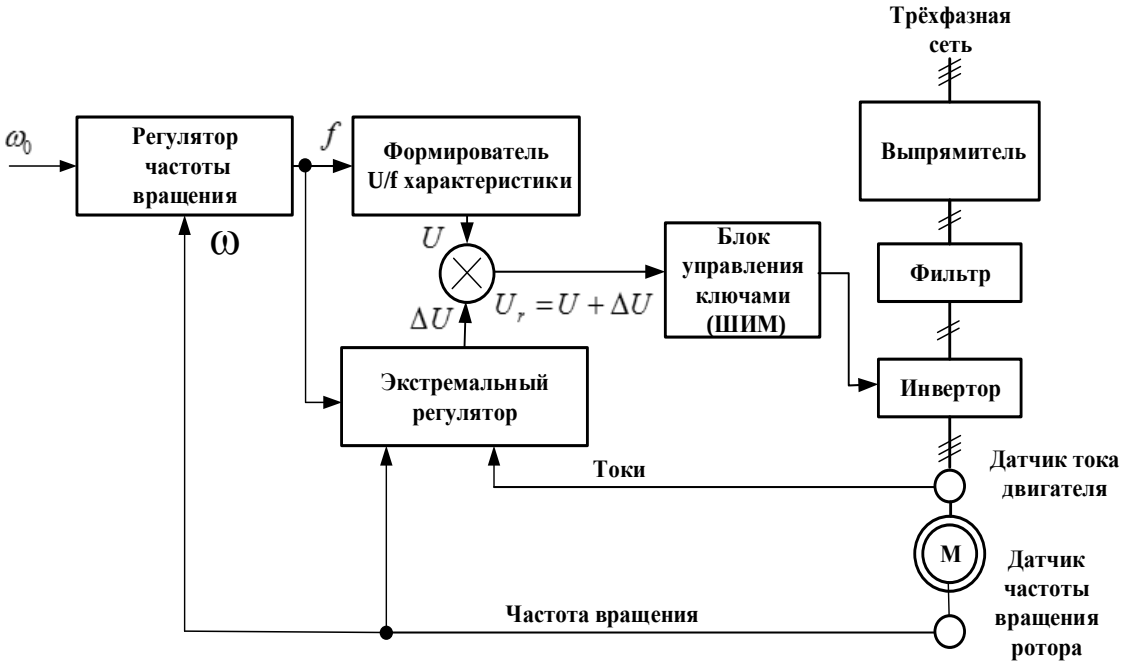


Рисунок 2 – Функциональная схема скалярного электропривода с экстремальным регулятором

В качестве целевой функции экстремального регулятора (критерия энергетической эффективности асинхронного электродвигателя) могут быть выбраны: потери мощности в двигателе, основанные на токе в обмотке статора или на величине основного магнитного потока, сохранение постоянного скольжения ротора, комбинации нескольких параметров [7, 10, 11, 12, 13,

14]. Алгоритмы поиска экстремума также могут быть разнообразными, четких, общепринятых рекомендаций и алгоритмов работы подобных энергосберегающих регуляторов пока не существует.

Достаточно часто в качестве основы модели потерь мощности в асинхронном электродвигателе используется величина основного магнитного потока. Так в работе [7] общие потери мощности ΔP при частотном управлении определяются следующим образом

$$\Delta P = 3R_1 I_1^2 + 3R_2 I_2^2 + \Delta P_{mn}\alpha^2\beta^k, \quad (1)$$

где R_1, R_2 – активные сопротивления статора и ротора, Ом;

I_1, I_2 – токи статора и ротора, А;

ΔP_{mn} – номинальные потери в магнитопроводе, Вт;

α – относительное значение магнитного потока двигателя (в долях от номинального Φ_n);

β – относительная частота напряжения питания (в долях от номинальной частоты напряжения питания f_n);

k – коэффициент, зависящий от типа стали магнитопровода ($k = 1{,}3\ldots1{,}5$).

Номинальные потери в магнитопроводе определяются по известной зависимости [13]

$$\Delta P_{mn} \approx P_{1n} - M_n\omega_c - 3R_1 I_{1n} - 0{,}005P_{2n}, \quad (2)$$

где P_{1n}, P_{2n} – номинальные потребляемая и полезная мощности двигателя, Вт;

M_n – номинальный момент двигателя, Н·м;

$\omega_c = 2\pi f_n$ – номинальная синхронная частота, с$^{-1}$;

I_{1n} – номинальный ток статора, А.

Текущее значение основного магнитного потока определяется током в цепи намагничивания схемы замещения двигателя, который может быть представлен через аппроксимацию кривой намагничивания двигателя [15]

$$I_0^2(\alpha) \approx I_{0n}^2 \frac{a\left(1-\alpha^2\right)+\alpha^2}{b\left(1-\alpha^2\right)+\alpha^2}, \quad (3)$$

где I_{0n} – номинальный ток цепи намагничивания, А;

a, b – коэффициенты, которые подбираются так, чтобы наиболее точно описывать участок кривой намагничивания, в котором расположен интервал оптимального изменения магнитного потока;

α – относительный параметр, характеризующий текущее значение тока намагничивания и, следовательно, магнитного потока.

Из схемы замещения асинхронного двигателя [10] следует:

$$I_1^2 \approx I_2^2 + I_0^2;\ I_2 = \frac{M_n\omega_c\mu}{E_{1n}\alpha}, \quad (4)$$

где μ – относительное значение момента нагрузки (отношение текущего значения момента M к номинальному M_n);

E_{1n} – номинальная электродвижущая сила (ЭДС) статора, В.

Подставляя выражения (3) и (4) в (1) получим зависимости для определения потерь в асинхронном двигателе в следующем виде:

$$\Delta P = A\frac{a(1-\alpha^2)+\alpha^2}{b(1-\alpha^2)+\alpha^2} + B\frac{\mu^2}{\alpha^2} + \alpha^2\beta^k\Delta P_{mn};$$
$$A = 3R_1 I_{0n}^2;\ B = \frac{\left(R_1+R_2\right)\left(M_n\omega_c\right)^2}{3E_{1n}^2}. \quad (5)$$

Из формул (5) видно, что потери мощности в асинхронном электродвигателе при заданных значениях частоты питающего напряжения и моменте нагрузки являются функцией от текущего

значения тока намагничивания, то есть магнитного потока, который в этом выражении отражается переменной α. Следовательно, минимально возможные потери мощности при заданных значениях частоты питающего напряжения и моменте нагрузки достигаются при минимуме функционала $\Delta P(\alpha)$.

Поиск минимума функционала потерь мощности в двигателе (5) возможно реализовать несколькими способами. Так в работе [7] предлагается использование пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регулятора. В этом случае алгоритм работы экстремального регулятора (рисунок 2) состоит в следующем:

- по математической модели двигателя при текущих значениях тока статора и частоты вращения ротора вычисляются параметры μ и β в формуле (5);

- вычисляется значение переменной α, обеспечивавшее минимум функционала $\Delta P(\alpha)$, и требуемое значение тока намагничивания при данном значении α;

- с помощью ПИД или FUZZY регулятора определяется поправка ΔU для получения оптимального значения тока намагничивания.

Недостаток такого подхода заключается в трудностях задания и вычисления момента нагрузки двигателя. Поэтому в работе [9] предлагается использование для поиска минимума целевой функции потерь мощности в асинхронном двигателе методов и алгоритмов математического программирования. На рисунке 3 представлена компьютерная модель системы скалярного управления с подобным экстремальным регулятором, созданная в программном комплексе SimInTech [16].

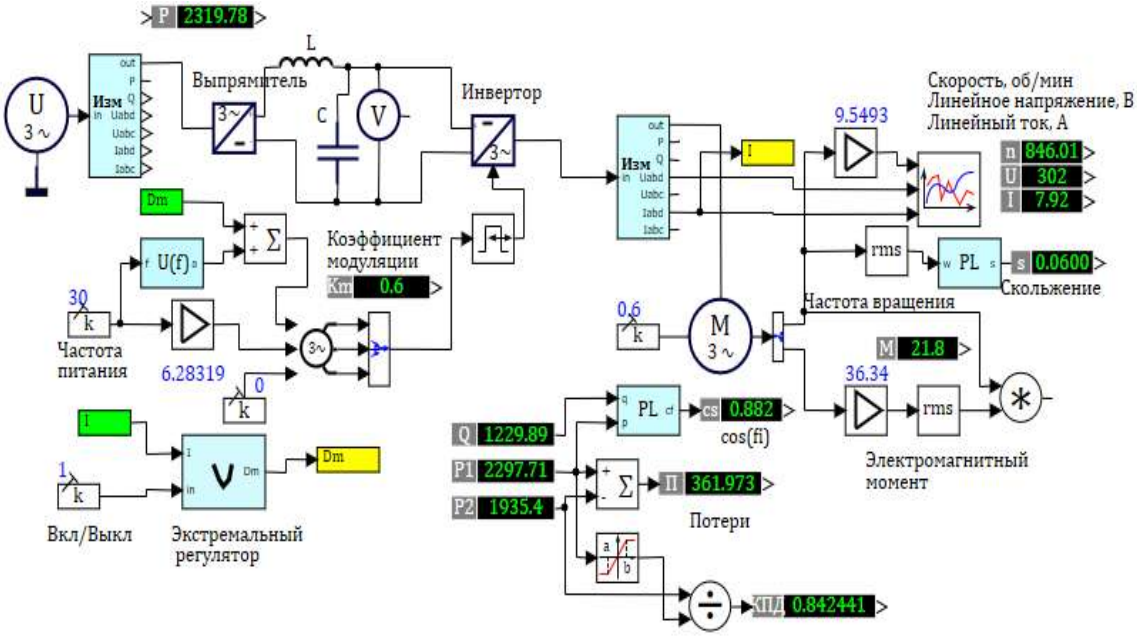


Рисунок 3 – Компьютерная модель системы скалярного управления с экстремальным регулятором в программе SimInTech

В таблице 1 приведены результаты моделирования частотного управления двигателя 4А112М4У3 мощностью 5,5 кВт при постоянном моменте нагрузки с энергосберегающим регулятором и без него.

Из таблицы 1 видно, что применение предлагаемого регулятора позволяет повысить КПД электродвигателя на 1,3…11,2 %, наибольшее значение увеличения КПД достигается при частоте 20 Гц, а наименьшее – при частоте 50 Гц.

Предложенная компьютерная модель является универсальной, и позволяет исследовать различные комбинации оптимизационных критериев и алгоритмов работы экстремального регулятора.

Таблица 1 – Энергетические параметры двигателя при M=22 Н·м

Частота f, Гц	Наличие регулятора	U, В	I, А	ΔP, Вт	P_1, Вт	P_2, Вт	КПД	$\cos\varphi$
10	Нет	187	6,93	210	869	658	0,776	0,578
	Да	189	6,84	173	835	662	0,792	0,584
15	Нет	237	6,66	255	1206	951	0,783	0,578
	Да	272	6.51	209	1192	983	0,824	0,662
20	Нет	188	8,17	411	1644	1232	0,749	0,900
	Да	279	7,03	259	1554	1295	0,833	0,822
25	Нет	258	8,11	373	1963	1590	0,809	0,887
	Да	297	7,07	265	1912	1647	0,861	0,835
30	Нет	297	7,92	363	2301	1938	0,842	0,881
	Да	313	6,88	271	2256	1985	0,879	0,834
35	Нет	322	7,61	354	2638	2284	0,865	0,878
	Да	343	7,29	273	2592	2318	0,894	0,838
40	Нет	341	7,84	343	2984	2641	0,885	0,877
	Да	350	6,85	272	2943	2671	0,907	0,842
45	Нет	358	7,64	338	3306	2967	0,897	0,875
	Да	370	7,21	279	3282	3004	0,915	0,844
50	Нет	382	7,37	339	3672	3334	0,907	0,878
	Да	384	6,88	295	3651	3356	0,919	0,863

Заключение. Таким образом, рассмотренные в данной работе принцип и алгоритм повышения энергетической эффективности электроприводов на базе асинхронных электродвигателей со скалярным управлением позволяют достаточно эффективно снизить общие потери в двигателе и тем самым повысить его КПД.

Список источников

1. Эрк А.Ф., Судаченко В.Н. Методы энергосбережения и повышения энергоэффективности сельскохозяйственного производства // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – С-Пб.: ИАЭП, 2015. № 87. С.233–239.

2. Переверзев И.А., Султанов Г.А. Характеристика основных объектов электропотребления в сельскохозяйственном производстве // Новые технологии, 2013, № 3. С. 78–85.

3. Коняев Н.В., Познахирев Е.Н., Воронин В.В. Тенденция энергопотребления в сельском хозяйстве // Электроэнергетика сегодня и завтра: сборник научных статей международной научно-технической конференции. Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова. Курск: «Университетская книга», 2022. С. 88–92.

4. Афоничев Д.Н., Пиляев С.Н. Повышение энергоэффективности сельскохозяйственных предприятий // Управление инновационным развитием аграрного сервиса России: материалы национальной научно-практической конференции; г. Воронеж; 15 сентября 2020 г. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. С. 335–341.

5. Афоничев Д.Н., Пиляев С.Н. Повышение эффективности работы технологических установок // VII Международная научно-техническая конференция «Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство»: сборник материалов; г. Воронеж, 20 ноября 2020 г. Воронеж: ФГБОУ ВО ВГУИТ, 2020. С. 416–419.

6. Афоничев Д.Н., Пиляев С.Н., Шубин Н.Э. Повышение энергоэффективности систем сельскохозяйственного электроснабжения средствами электропривода // Актуальные направления научных исследований для эффективного развития АПК: материалы международной научно-практической конференции; г. Воронеж, 27 марта 2020 г. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. Ч. II. С. 209–214.

7. Пиляев С.Н., Труфанов В.В., Афоничева Д.Д. Повышение энергоэффективности технологических установок на основе скалярного управления асинхронным электроприводом // Тенденции развития технических средств и технологий в АПК: материалы международной научно-практической конференции в 2-х ч.; Россия, Воронеж, 25 февраля 2021 г. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2021. Ч. II. С. 127–132.

8. Пиляев С.Н., Брюховецкий А.Н., Заболотная А.А. Повышение энергоэффективности асинхронного электропривода сельскохозяйственных технологических установок // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: материалы международной научно-практической конференции; г. Воронеж, 09-10 июня 2020 г. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. С. 401–409.

9. Пиляев С.Н., Афоничев Д.Н. Модель системы скалярного управления асинхронным электроприводом с экстремальным регулятором // Теория и практика инновационных технологий в АПК: материалы национальной научно-практической конференции; Россия, Воронеж, 29-30 апреля 2021 г. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2021. Ч. I. С. 65–73.

10. Austin Hughes, Bill Drury. Electric Motors and Drives. Fundamentals, Types and Applications. United Kingdom: Oxford, Elsevier Ltd, 2019. 649 p.

11. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 272 с.

12. Васильев Б.Ю. Электропривод. Энергетика электропривода. М.: СОЛОН-Пресс, 2015.268 с.

13. Поляков В.Н., Шрейнер Р.Т. Энергоэффективные режимы двигателей переменного тока в системах частотного управления. Екатеринбург: Уральский Федеральный университет, 2017. 256 с.

14. Kioskeridis and N. Margaris Loss Minimization in Scalar-Controlled Induction Motor Drives with Search Controllers. IEEE Transactions on Power Electronics, 1996. Vol. 11. № 2. P. 213–220.

15. Paul C. Krause, Oleg Wasynczuk, Scott D. Sudhoff Analysis of electric machinery and drive systems. USA, NY: John Wiley & Sons, Inc., 2002. 635 p.

16. Среда динамического моделирования SimInTech [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://simintech.ru.

Reference

1. Erk A.F., Sudachenko V.N. Methods of energy saving and energy efficiency improvement of agricultural production // Technologies and technical means of mechanized production of crop and livestock products. - St. Petersburg: IAEP, 2015. No. 87. P. 233–239.

2. Pereverzev I.A., Sultanov G.A. Characteristics of the main objects of electricity consumption in agricultural production // New Technologies, 2013, No. 3. P. 78–85.

3. Konyaev N.V., Poznahirev E.N., Voronin V.V. Energy consumption trend in agriculture // Power industry today and tomorrow: collection of scientific articles of the international scientific and technical conference. Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanova. Kursk: University Book, 2022, pp. 88–92.

4. Afonichev D.N., Pilyaev S.N. Improving the energy efficiency of agricultural enterprises // Management of innovative development of agrarian service in Russia: materials of the national scientific and practical conference; Voronezh; September 15, 2020 Voronezh: Voronezh State Agrarian University, 2020, pp. 335–341.

5. Afonichev D.N., Pilyaev S.N. Improving the efficiency of technological installations // VII International scientific and technical conference "Innovative technologies in the food industry: science, education and production": collection of materials; Voronezh, November 20, 2020 Voronezh: VSUIT, 2020, pp. 416–419.

6. Afonichev D.N., Pilyaev S.N., Shubin N.E. Improving the energy efficiency of agricultural power supply systems by means of an electric drive // Actual directions of scientific research for the effective development of the agro-industrial complex: materials of the international scientific and practical conference; Voronezh, March 27, 2020 Voronezh: Voronezh State Agrarian University, 2020. Part II. pp. 209–214.

7. Pilyaev S.N., Trufanov V.V., Afonicheva D.D. Improving the energy efficiency of technological installations based on scalar control of an asynchronous electric drive // Trends in the development of technical means and technologies in the agro-industrial complex: materials of the international scientific and practical conference in 2 hours; Russia, Voronezh, February 25, 2021 Voronezh: Voronezh State Agrarian University, 2021. Part II. pp. 127–132.

8. Pilyaev S.N., Bryukhovetsky A.N., Zabolotnaya A.A. Improving the energy efficiency of an asynchronous electric drive of agricultural technological installations // Energy efficiency and energy saving in modern production and society: materials of the international scientific and practical conference; Voronezh, June 09-10, 2020 Voronezh: Voronezh State Agrarian University, 2020, pp. 401–409.

9. Pilyaev S.N., Afonichev D.N. Model of a scalar control system for an asynchronous electric drive with an extreme controller // Theory and practice of innovative technologies in the agro-industrial complex: materials of the national scientific-practical conference; Russia, Voronezh, April 29-30, 2021. Voronezh: Voronezh State Agrarian University, 2021. Part I. P. 65–73.

10. Austin Hughes, Bill Drury. Electric Motors and Drives. Fundamentals, Types and Applications. United Kingdom: Oxford, Elsevier Ltd, 2019. 649 p.

11. Sokolovsky G.G. Electric drives of alternating current with frequency regulation. M.: Publishing Center "Academy", 2006. 272 p.

12. Vasiliev B.Yu. Electric drive. Energy of the electric drive. M.: SOLON-Press, 2015. 268 p.

13. Polyakov V.N., Shreiner R.T. Energy efficient modes of AC motors in frequency control systems. Yekaterinburg: Ural Federal University, 2017. 256 p.

14. Kioskeridis and N. Margaris Loss Minimization in Scalar-Controlled Induction Motor Drives with Search Controllers. IEEE Transactions on Power Electronics, 1996. Vol. 11. No. 2. P. 213–220.

15. Paul C. Krause, Oleg Wasynczuk, Scott D. Sudhoff Analysis of electric machinery and drive systems. USA, NY: John Wiley & Sons, Inc., 2002. 635 p.

16. SimInTech dynamic modeling environment [Electronic resource]. Access mode: http://simintech.ru.

Информация об авторах

С.Н. Пиляев - кандидат технических наук, доцент; Д. Н. Афоничев – доктор технических наук, профессор; С.А. Врагов – преподаватель.

Information about the authors

S. Pilyaev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; D. Afonichev – Doctor of Technical Sciences, Professor; S. Vragov – lecturer.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 23.07.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.08.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.31 (470.44)
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-4-56-62

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЛУГА-РЫХЛИТЕЛЯ В АГРЕГАТЕ С ТРАКТОРОМ ТЯГОВОГО КЛАССА 5

Василий Михайлович Бойков [1], Сергей Викторович Старцев [2], Андрей Владимирович Павлов [3], Евгений Сергеевич Нестеров [4]
[1,2,3,4] Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И.Вавилова, г. Саратов, Россия

[1]lena.boykova.84@mail.ru; [2] kingofscience@yandex.ru, [3]andrej.pavloff2015@yandex.ru, [4]nesterov21@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Василий Михайлович Бойков, lena.boykova.84@mail.ru
Corresponding author: Vasiliy Boykov, lena.boykova.84@mail.ru

Реферат. *В статье представлены результаты экспериментальных исследований машинно-тракторного агрегата (МТА), состоящего из трактора тягового класса 5 К-744Р и навесного плуга-рыхлителя ПБС-16. Определение производительности плуга-рыхлителя в опытах обеспечивалось изменением поступательной скорости машинно-тракторного агрегата. Расход топлива регистрировался с момента входа агрегата в зачетную делянку с установившейся скоростью и выхода агрегата из неё. Экспериментальные исследования работы МТА проводили в полевых условиях Марксовского района Саратовской области. Агротехнические показатели определяли при обработке полей по стерне нута и проса. Установлено, что плуг-рыхлитель может агрегатироваться тракторами тягового класса 5. Рациональный режим работы плуга при рабочей ширине захвата 6м обеспечивается при скорости движения 7,2-9,0 км/ч и глубине хода рабочих органов 35 и 25 см. Производительность за время основной работы агрегата составила 3,6-4,5га/ч, расход топлива 12,9-11,7 кг/га. Агрегат обеспечивает высокую степень крошения почвы влажностью 17-20% с сохранностью стерни и растительных остатков на агрофоне проса до 78%, на агрофоне нута до 42%. Рыхление пахотного горизонта до 35см с мульчированием поверхностного слоя создает оптимальные условия для накопления влаги в осенне–зимний период. Движение МТА в загоне челночным способом, без образования свальных и развальных борозд, обеспечивает ровную безгребневую поверхность пашни.*

Ключевые слова: *плуг-рыхлитель, трактор, агрегат, глубина обработки почвы, скорость движения, ширина захвата, стерня, производительность, расход топлива*.

RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF A RIPPER PLOUGH IN AN AGGREGATE WITH A TRACTOR OF TRACTION CLASS 5

Vasiliy Boykov [1], Sergey Startsev [2], Andrey Pavlov [3], Yuvgeniy Nesterov[4]
[1,2,3]Saratov State Agrarian University. N.I. Vavilova, Saratov, Russia
[1]lena.boykova.84@mail.ru; [2] kingofscience@yandex.ru, [3]andrej.pavloff2015@yandex.ru, [4]nesterov21@mail.ru

Abstract. *The results of experimental studies of the machine-tractor unit (MTA), consisting of a tractor of traction class 5 K-744R and a mounted plow-ripper PBS-16 presented in the article. Determining the performance of the plow-ripper in the experiments was provided by changing the translational speed of the machine-tractor unit. Fuel consumption was recorded from the moment the unit entered the test plot at a steady speed and the unit left it. Experimental studies of the work of the MTA*

were carried out in the field conditions of the Marxovsky district of the Saratov region. Agrotechnical indicators were determined during the processing of fields on the stubble of chickpeas and millet. It has been established that the plow-ripper can be aggregated with tractors of traction class 5. The rational mode of operation of the plow with a working width of 6 m is ensured at a speed of 7.2-9.0 km/h and a working depth of 35 and 25 cm. unit operation was 3.6-4.5 ha/h, fuel consumption was 12.9-11.7 kg/ha. The unit provides a high degree of soil crumbling with a moisture content of 17-20% with the safety of stubble and plant residues on the agrobackground of millet up to 78%, on the agrobackground of chickpea up to 42%. Loosening the arable horizon up to 35 cm with mulching of the surface layer creates optimal conditions for the accumulation of moisture in the autumn-winter period. The movement of the MTA in the corral by the shuttle method, without the formation of dump and breakup furrows, provides a flat, ridgeless surface of arable land.

Keywords: *plough-ripper, tractor, unit, depth of tillage, speed of movement, width of grip, stubble, productivity, fuel consumption.*

Для цитирования: Бойков В.М., Старцев С.В., Павлов А.В., Нестеров Е.С. Результаты экспериментальных исследований плуга-рыхлителя в агрегате с трактором тягового класса 5 // Наука в Центральной России. 2023. Т. 64, № 4. С. 56-62. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-56-62.

For citation: Boykov V, Startsev S., Pavlov A., Nesterov E. Results of experimental sturies of a ripper plough in an aggregate with a tractor of traction class 5. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 64(4): 56-62. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-56-62.

Введение. Рациональный способ основной обработки почвы должен обеспечить рост урожайности сельскохозяйственных культур, снижать засоренность и повышать плодородие почвы[1-5]. В почвенно-климатических зонах с недостаточным выпадением осадков от 300 мм в год, все больше посевных площадей обрабатывается способом без оборота пласта. Но у такой технологии имеются недостатки из-за недостаточно качественного крошения, рыхления и перемешивания почвы неглубоко заделываются растительные и пожнивные остатки, увеличивается засоренность поля, трудно бороться с вредителями и болезнями культурных растений [1,4,5]. Поэтому в севооборотах с безотвальной обработкой агрофона дифференцированно применяется отвальная вспашка [6,7]. Вспашка наряду с улучшенными агротехническими показателями остается самой энергоемкой операцией основной обработки почвы [8].

Регион земледелия Саратовского Заволжья характеризуются сложными погодными условиями возделывания сельскохозяйственных культур. Накопление влаги в основном происходит за осенне-зимний период. На полях больших размеров, с длинной гона 800-1000 м и более в основном используются энергонасыщенные, высокопроизводительные агрегаты. Тракторы семейства "Кировец" (К-701, К-744, К-744Р1, К-744Р2, К-744Р3, К-9000), тракторы Ростсельмаш серии RSM, а также тракторы иностранных производителей (John Deere, New Holland, Case IH, Caterpillar, Fendt, Claas и др.) мощностью 275-400 кВт и более являются основными энергосредствами, используемыми при обработке почвы. Эффективность использования тяговых возможностей тракторов в значительной степени зависит от потенциальных возможностей рабочих машин, агрегатируемых с ними [9].

В ФГБОУ ВО Вавиловский университет разработан плуг-рыхлитель ПБС-16 к тракторам тягового класса 5 (Рисунок 1). Плуг обеспечивает рыхление почвы на глубину до 40см, с одновременным частичным перемешиванием почвы с пожнивными и растительными остатками на глубину до 25см, мульчированием поверхности пашни глубиной до 12см. По техническим характеристикам ПБС-16 предназначен для основной комбинированной (совмещенной отвальной с глубоким рыхлением) обработки почв под зерновые и технические культуры, не засоренных плитняком, камнями, и другими препятствиями, с удельным сопротивлением до 0,14 МПа, твердостью почвы до 4 МПа и влажностью до 30 %.

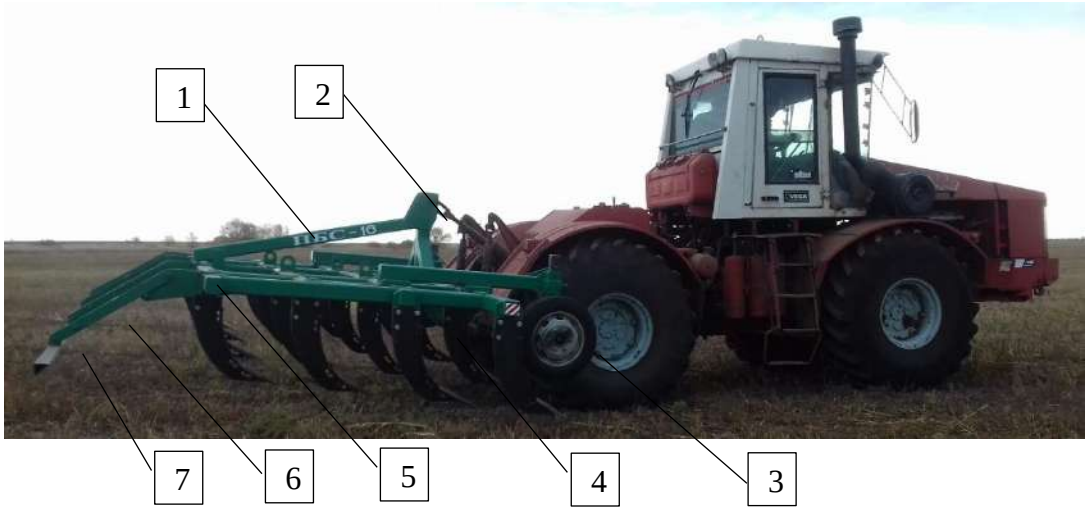


Рисунок 1- Плуг-рыхлитель ПБС-16 в агрегате с трактором К-744Р.

Конструкция плуга-рыхлителя ПБС-16 (рисунок 1) включает в себя следующие основные механизмы и узлы: раму 1 с навеской 2, два опорных пневматических колеса с механизмом регулировки 3 глубины обработки почвы реечного типа и шестнадцать корпусов 4, закрепленных в нижней части рамы 1. Сзади к раме 1 закреплены кронштейны 5, связанные посредством поводков 6 с выравнивателями 7 поверхности пашни. Выравниватели 7 имеют возможность поворачиваться в проушинах поводков 6, за счет чего изменяется его угол атаки относительно горизонта поля. Корпус плуга-рыхлителя выполнен в виде криволинейной стойки, в нижней части которой установлено круглое долото, вдоль рабочей поверхности стойки закреплена отвальная пластина. Соединяется плуг-рыхлитель с навесной системой трактора по трехточечной схеме. Технологический процесс работы плуга-рыхлителя ПБС-16 осуществляется следующим образом. Агрегат с отрегулированным на заданную глубину рыхления почвы переводится из транспортного положения в рабочее на краю поля и трактор выполняет рабочий ход. Долото подрезает слой почвы и за счет округлой формы выпуклостью вверх, частично его крошит. Затем раскрошенный пласт почвы поступает на отвальную пластину, повторяющую кривизну стойки, более интенсивно крошит и перемешивает почву с пожнивными остатками и семенами сорняков, находящимися на поверхности поля. Установленные сзади рамы плуга-рыхлителя рабочие органы окончательно мульчируют и выравнивают поверхность пашни. После завершения рабочего хода оператор трактора переводит агрегат в транспортное положение, выполняет холостой ход с разворотом для совершения следующего рабочего хода челночным способом.

Цель работы – исследование на среднесуглинистых почвах агротехнических и эксплуатационных показателей плуга-рыхлителя ПБС-16 для агрегатирования с тракторами тягового класса 5 [10].

Метод исследования. Экспериментальные исследования проводились на полях, расположенных в подзоне среднесуглинистых почв Крестьянско-фермерского хозяйства Бенке В.М. Марксовского района Саратовской области. Поля с агрофоном стерня нута и проса территориально находились рядом и разделялись полевой грунтовой дорогой. Условия характеризовались следующими показателями: влажность почвы в обрабатываемом горизонте от 0 до 30см составляла от 17,5 до 20,2%. Масса растительных и пожнивных остатков на фоне нута составляла в среднем 185 г/м^2, а высота растений в среднем была 9,8 см. Масса растительных и пожнивных остатков на фоне проса составляла в среднем 675 г/м^2, а высота стерни в среднем была 15,0 см. Обрабатываемые поля имели ровный рельеф и микрорельеф. Зачетные делянки, на которых проводились измерения, были разбиты на ровном горизонтальном участке каждого поля. Агротехнические и эксплуатационные показатели определялись в соответствии с СТО АИСТ 4.1-

2010. Машины и орудия для глубокой обработки почвы. Методы оценки функциональных показателей.

Определение производительности плуга-рыхлителя в опытах обеспечивалось изменением поступательной скорости машинно-тракторного агрегата. Расход топлива регистрировался с момента входа агрегата в зачетную делянку с установившейся скоростью и выхода агрегата из неё.

Результаты и обсуждение. Экспериментальные исследования плуга-рыхлителя определяли в составе с трактором тягового класса 5 К-744Р. Конструктивная ширина захвата плуга составляла 6,0 м. В первом опыте установили глубину обработки почвы 25см, угол атаки рабочей поверхности выравнивателя – 90º (перпендикулярно горизонту поля). Во втором опыте увеличили глубину рыхления до 35см. а угол атаки выравнивателя изменяли относительно горизонта поля 45º, 90º и 115º.

На рисунках 2 и 3 показаны поверхности пашни обоих агрофонов после прохода экспериментального агрегата К-744Р+ПБС-16.

Рисунок 2 – Вспашка поля по стерне нута агрегатом К-744Р+ПБС-16

Обработка почвы при рабочей скорости движения К-744Р+ПБС-16 9,0км/ч проводилась на глубину 25см, при этом степень крошения почвы (размер комков до 50 мм) на исследуемых полях практически не отличалась и составила 78%. Стерня проса и нута была перемешена с почвой в слое 0-12см, на поверхности оставалось в большей степени пожнивных остатков проса 40-42% и в меньшей степени нута - до 28%. Это можно объяснить разницей количественного содержания пожнивных и растительных остатков на каждом фоне. Все сорные растения и стерня после прохода агрегата 100% подрезаны. Наблюдались борозды по следам прохода стоек корпусов глубиной 7-9см. Забивание и залипание рыхлительных корпусов и выравнивателей пожнивными остатками и почвой не происходило. В этом режиме движения отвальная обработка почвы выполнялась агрегатом с производительностью 3,6 га/ч и погектарным расходом топлива 12,9 кг/га.

Рисунок 3- Вспашка поля по стерне проса агрегатом К-744+ПБС-16

При рыхлении почвы на глубину 30см при рабочей скорости движения К-744Р+ПБС-16 7,2км/ч, степень крошения почвы (размер комков до 50 мм) на каждом поле составила 78%. Подрезание пожнивных остатков и сорных растений также было полным. Сохранность стерни на поле после проса в среднем составила 38%. При обработке поля после нута сохранность пожнивных остатков заметно была ниже, на разных участках от 18 до 26%. Борозды по следам прохода стоек корпусов не отмечены, поверхность пашни была ровной и слитной. Забивание и залипание рыхлительных корпусов не наблюдалось. По работе выравнивателей при разных углах атаки установлено, что при углах 45º и 90º пожнивные остатки полностью сходили с рабочей части и распределялись по поверхности взрыхленной почвы. При установке выравнивателей на угол 115º пожнивные остатки и сорные растения частично задерживались на выравнивателе. Но в процессе дальнейшего движения агрегата происходило самоочищение выравнивателя. Также при регулировке выравнивателя на угол 115º отмечено улучшение мульчирования верхнего слоя почвы. В этом режиме движения отвальная обработка почвы выполнялась агрегатом с производительностью 4,5 га/ч и погектарным расходом топлива 11,7 кг/га.

Анализ работы мощности двигателя трактора К-744Р в агрегате с ПБС-16 по всем опытам показал, что мощность необходимая для работы плуга-рыхлителя с шириной захвата 6м, достаточна и соответствует эксплуатационной мощности трактора тягового класса 5[10].

Заключение. В результате экспериментальных исследований пахотного агрегата К-744Р+ПБС-16 при обработке стерневых полей после уборки нута и проса установлено, что плуг-рыхлитель может агрегатироваться тракторами тягового класса 5. Рациональный режим работы плуга при рабочей ширине захвата 6м обеспечивается при скорости движения 7,2-9,0 км/ч и глубине хода рабочих органов 35 и 25 см. Производительность за время основной работы агрегата составила 3,6-4,5га/ч, расход топлива 12,9-11,7 кг/га. Агрегат обеспечивает высокую степень крошения почвы влажностью 17-20% с сохранностью стерни и растительных остатков на агрофоне проса до 78%, на агрофоне нута до 42%. Рыхление пахотного горизонта до 35см с мульчированием поверхностного слоя создает оптимальные условия для накопления влаги в осенне–зимний период. Движение агрегата К-744Р+ПБС-16 в загоне челночным способом, без образования свальных и развальных борозд, обеспечивает ровную безгребневую поверхность пашни.

Список источников

1. Бородин, Д. Ю. Влияние основной обработки почвы на агрофизические факторы плодородия и урожайность полевых культур в условиях засушливой зоны/ Д.Ю.Бородин// Автореферат дисс-и канд-та с.х. наук. Ставрополь, 2013г.- 23с.

2. Перфильев Н.В., Вьюшина О.А., Засоренность и урожайность посевов ячменя в зависимости от систем основной обработки почвы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки, Т.49, №1, 2019-с.19-26.

3. Курдюкова О.Н. Система основной обработки почвы и засоренность посевов в севообороте// Известия ТСХА, выпуск 2, 2016, с.76-81.

4. Ивченко В.К., Полосина В.А., Ильченко И.О., Луганцева М.В. Влияние приемов основной обработки почвы на засоренность и урожайность посевов кукурузы в зернопаропропашном севообороте / Вестник Крас ГАУ, №5, 2018.-с.22-29.

5. Рымарь С.В. Изменение показателей плодородия чернозема обыкновенного под длительным воздействием удобрений и различных приемов основной обработки почвы в условиях ЦЧЗ// Автореферат дисс-и канд-та с.х. наук. Каменная Степь, Воронеж, 2007г.- 23с.

6. Рзаева В.В. Системы основной обработки почвы в земледелии Северного Зауралья. Автореферат дисс-и д-ра с.х. наук, Тюмень, 2014г.-32с.

7. Левкина, А.Ю. Приемы повышения урожайности и качества зерна озимой пшеницы при минимизации основной обработки чистого пара в Нижнем Поволжье. Автореф. дисс-и канд-та с.х. наук. - Саратов, 2021. - 20с.

8. Афонин А.Е. Повышение эффективности использования отвальных плугов путём совершенствования рабочих органов. / Автореферат дисс-и канд-та техн. наук. Мичуринск-Наукоград, 2007г.- 19с

9. Тракторное и сельскохозяйственное машиностроение России. Краткий обзор деятельности предприятий за 2021. Национальный аграрный каталог «Сельхозтехника», №24/2е полугодие, 2021г.-с.18-23.

10. ГОСТ 27021-86 (СТ СЭВ 628-85). Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Тяговые классы. М.: Издательство стандартов, 1986.-6с.

References

1. Borodin, D. Yu. Influence of the main tillage on the agrophysical factors of fertility and productivity of field crops in the conditions of the arid zone / D.Yu. Borodin / / Abstract of diss. Sciences. Stavropol, 2013 - 23p.

2. Perfilyev N.V., Vyushina O.A., Infestation and yield of barley crops depending on the systems of basic tillage // Siberian Bulletin of Agricultural Science, V.49, No. 1, 2019-p.19-26.

3. Kurdyukova O.N. The system of basic tillage and weediness of crops in crop rotation // Izvestiya TSHA, issue 2, 2016, pp. 76-81.

4. Ivchenko V.K., Polosina V.A., Ilchenko I.O., Lugantseva M.V. Influence of basic tillage practices on weediness and yield of corn crops in grain-fallow crop rotation / Vestnik Kras GAU, No. 5, 2018.-p.22-29.

5. Rymar S.V. Changes in the fertility of ordinary chernozem under prolonged exposure to fertilizers and various methods of basic tillage in the conditions of the Central Chernozem / / Abstract of diss. Sciences. Stone Steppe, Voronezh, 2007 - 23s.

6. Rzayeva V.V. Systems of basic tillage in agriculture of the Northern Trans-Urals. Abstract of diss. Dr. S.Kh. Sciences, Tyumen, 2014 - 32p.

7. Levkina A.Yu. Methods for increasing the yield and quality of winter wheat grain while minimizing the main processing of bare fallow in the Lower Volga region. Abstract diss and candidate of s.kh. Sciences. - Saratov, 2021. - 20p.

8. Afonin A.E. Improving the efficiency of the use of moldboard plows by improving the working bodies. / Abstract of diss and candidate of tech. Sciences. Michurinsk-Naukagrad, 2007 - 19s

9. Tractor and agricultural engineering in Russia. Brief overview of the activities of enterprises for 2021. National agricultural catalog "Selkhoztekhnika", No. 24/2nd half of the year, 2021-p.18-23.

10. GOST 27021-86 (ST SEV 628-85). Agricultural and forestry tractors. Traction classes. M .: Publishing house of standards, 1986.-6s.

Информация об авторах

В.М. Бойков - доктор технических наук, профессор; С.В. Старцев - доктор технических наук, профессор; А.В. Павлов – кандидат технических наук, доцент; Е.С. Нестеров - кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors

V. Boykov - doctor of technical sciences, professor; S. Startsev - doctor of technical sciences, professor; A.Pavlov - candidate of technical sciences, associate professor; E. Nesterov - candidate of technical sciences, associate professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: *all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.*

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 27.07.2023 Принята к публикации (Accepted): 28.08.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.331.8
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-4-63-71

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ПУНКТИРНО–ГНЕЗДОВОГО СПОСОБА ПОСЕВА

Сергей Петрович Стрыгин [1], Никита Юрьевич Пустоваров [2], Сабина Гумаровна Хайруллина [3], Виктория Викторовна Конкина [4], Александр Сергеевич Заводнов [5]
[1, 2] Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия
[3] Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, г. Уральск, Казахстан
[1,4, 5] Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия
[1]sew1982@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-7934-1673,
[2]nikita.pustovarov@mail.ru, https://orcid.org/0009-0006-0330-1150,
[3]hsg1988@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8492-2322,
[4]konkina-tstu@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0006-7366-7182,
[5]qzavodnov@yandex.ru

Автор ответственный за переписку: Сергей Петрович Стрыгин, sew1982@gmail.com
Corresponding author: Sergei Strygin, sew1982@gmail.com

Реферат. *Ключевыми факторами, влияющими на урожайность, являются способ посева, соблюдение заданной норма высева и точность размещения семян на поверхности поля. Одним из перспективных способов посева является пунктирно-гнездовой, при его использовании расстояние между семенами в ряду изначально различается, и математическое ожидание этого расстояния отлично от нуля, что ограничивает применение коэффициента вариации как индикатора качества работы сеялки. Цель исследования – определение метода оценки качественных показателей работы высевающего аппарата при пунктирно-гнездовом способе посева. Высевающие диски со следующими конструктивными параметрами: количество отверстий высевающего диска – 54 шт., количество отверстий в группе – 3 шт., угол между отверстиями в группе – α=5°, угол между группами – β=10° были изготовлены для экспериментальных исследований. Частота вращения высевающего диска варьировалась от 15 об/мин до 60 об/мин. использовались: Общий и динамический коэффициенты вариации, точность использовали для определения критерия оценки качества пунктирно-гнездового способа посева. При определении динамического коэффициента вариации производился расчет через каждые 200 семян, что с учетом нормы высева (20 шт./м) соответствует 10 метрам пути, пройденных посевным агрегатом, полученные значения сравнивались с теоретическим (0,355). Точность пунктирно-гнездового способа посева определялась подсчетом количества семян в группе, расстоянием между семенами и расстоянием до следующей группы семян. Если количество семян не соответствовало заданному (k=3) или интервал между семенами превышал стандартную ошибку, то данная группа семян отбраковывалась. Точность рассчитывалась как процентное отношение «правильных гнезд» к их общему количеству. Общий коэффициент вариации не превысил 2,9 % по сравнению с теоретическим. Однако, рассматривая изменение коэффициента вариации в динамике, получили, что разница между теоретическим и экспериментальным достигает максимума в 3,2 % при 15 об/мин и 7,9 % при 40 об/мин. Тенденция к увеличению коэффициента вариации и снижению точности пунктирно-гнездового посева с возрастанием частоты вращения высевающего диска наблюдалась во всех исследуемых вариантах.*

Ключевые слова: *датчик высева, коэффициент вариации, пунктирно-гнездовой высев, сбрасыватель семян, соя, точность высева.*

INVESTIGATION OF QUALITATIVE INDICATORS OF EVALUATION OF DOTTED–NEST SOWING METHOD

Sergei Strygin [1], Nikita Pustovarov [2], Sabina Khairullina [3], Victoria Konkina [4], Alexander Zavodnov [5]

[1, 2] All-Russian Research Institute for Use Machinery and Petroleum products in Agriculture, Tambov, Russia

[3] Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian and Technical University, Uralsk, Kazakhstan

[1, 4, 5] Tambov State Technical University, Tambov, Russia

[1]sew1982@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-7934-1673,
[2]nikita.pustovarov@mail.ru, https://orcid.org/0009-0006-0330-1150,
[3]hsg1988@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8492-2322,
[4]konkina-tstu@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0006-7366-7182,
[5]qzavodnov@yandex.ru

Abstract. *The key factors influencing the yield are the method of sowing, adherence to the set seeding rate and the accuracy of seed placement on the field surface. One of the promising sowing methods is dotted-nesting, when using it, the distance between seeds in a row initially differs, and the mathematical expectation of this distance is different from zero, which limits the use of the coefficient of variation as an indicator of the quality of the seeder. The purpose of the study is to determine the method for assessing the quality indicators of the operation of the sowing machine with the dotted-nested sowing method. Seeding discs with the following design parameters: the number of holes in the seeding disc - 54 pieces, the number of holes in the group - 3 pieces, the angle between the holes in the group - α=5°, the angle between the groups - β=10° were made for experimental studies. The rotational speed of the sowing disc varied from 15 rpm to 60 rpm. used: General and dynamic coefficients of variation, accuracy was used to determine the criterion for assessing the quality of the dotted-nested method of sowing. When determining the dynamic coefficient of variation, a calculation was made every 200 seeds, which, taking into account the seeding rate (20 pcs./m), corresponds to 10 meters of the path traveled by the sowing unit, the obtained values were compared with the theoretical one (0.355). The accuracy of the dotted-nested sowing method was determined by counting the number of seeds in a group, the distance between seeds and the distance to the next group of seeds. If the number of seeds did not correspond to the specified one (k=3) or the interval between seeds exceeded the standard error, then this group of seeds was rejected. Accuracy was calculated as a percentage of "correct nests" to their total number. The overall coefficient of variation did not exceed 2.9% compared to the theoretical one. However, considering the change in the coefficient of variation in dynamics, we found that the difference between theoretical and experimental reaches a maximum of 3.2% at 15 rpm and 7.9% at 40 rpm. The trend towards an increase in the coefficient of variation and a decrease in the accuracy of dotted-nested sowing with an increase in the frequency of rotation of the sowing disk was observed in all the studied variants.*

Keywords: *coefficient of variation, dotted-nest sowing, seeding accuracy, seed dumper, seeding sensor, soy.*

Для цитирования: Стрыгин С.П., Пустоваров Н.Ю., Хайруллина С.Г., Конкина В.В., Заводнов А.С. Исследование качественных показателей оценки пунктирно–гнездового способа посева // Наука в Центральной России. 2023. Т. 64, № 4. С. 63-71. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-63-71.

For citation: Strygin S., Pustovarov N., Khairullina S., Konkina V., Zavodnov A. Investigation of qualitative indicators of evaluation of dotted–nest sowing method. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 64(4): 63-71. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-63-71.

Введение. Один из наиболее перспективных способов посева представляет собой широкорядный пунктирно-гнездовой, при котором семена распределяются группами по несколько штук вместо традиционных сплошных рядов [1]. Этот метод обеспечивает лучшее освещение, способствующее более полному развитию корневой системы и надземных частей растений, что, в

свою очередь, способствует укреплению нижних бобов на растениях и снижению потерь при уборке [2]. Такой способ также упрощает механизированную обработку полей и требует меньше семян на единицу площади, а также меньше средств для предпосевной обработки. [3]

Равномерное размещение семян вдоль посевных рядов является ключевым условием оптимального использования питательных ресурсов каждым растением. Это обеспечивает максимальный урожай [4, 5].

Однако при проведении пунктирно-гнездового посева наблюдается инверсия семян, при которой семена не всегда высеваются в ожидаемом порядке из-за дефектов в механизме высева. Данное явление проявляется в образовании отрицательных интервалов между семенами [4]. Качество посева может быть оценено с помощью коэффициента вариации интервалов между семенами. Высокий коэффициент вариации указывает на плохое качество работы высевающего аппарата и его эксплуатационных условий. При равномерном высеве с одинаковыми интервалами между семенами коэффициент вариации стремится к нулю. Значение коэффициента вариации менее или равное 0,33 говорит о точности высева, соответствующей агротехническим требованиям [6].

При использовании пунктирно-гнездового способа посева расстояние между семенами в ряду изначально различается, и математическое ожидание этого расстояния отлично от нуля. Этот факт ограничивает применение коэффициента вариации как индикатора качества работы сеялки при данном способе посева [7]. Так как при данном способе теоретический коэффициент вариации, изначально, выше 0,33, что может вызвать затруднение в понимании у производственников и у специалистов в области посева.

Для эффективного автоматического контроля за процессом высева необходимо точно регистрировать момент прохождения семян через датчик или оптическую систему [8]. Правильное определение временных интервалов взаимодействия семян и датчика является существенным элементом для точной оценки регистрации семян в процессе исследования высевающих аппаратов.

Цель исследования – определение метода оценки качественных показателей работы высевающего аппарата при пунктирно-гнездовом способе посева.

Материалы и методы. Для проведения лабораторных исследований по определению качественных показателей работы пунктирно-гнездового высевающего аппарата применялась экспериментальная установка, изображенная на рисунке 1. Для вращения высевающего диска применялся электродвигатель FL86BLS71, блок управления BLSD-50, импульсный источник питания SDR-960-48. Управление частотой вращения высевающего диска осуществлялось через персональный компьютер с помощью разработанного программного обеспечения [9, 10].

а) общий вид исследовательского стенда

б) процесс пунктирно-гнездового высева

Рисунок 1 – Экспериментальная установка для исследования высевающего аппарата

Согласно ранее проведенным исследованиям [11, 12], для дальнейших экспериментов были изготовлены высевающие диски со следующими конструктивными параметрами: количество отверстий высевающего диска – N=54 шт., количество отверстий в группе – k=3 шт., угол между отверстиями в группе – α=5°, угол между группами – β=10°, диаметр отверстий $d_{отв}$ варьировался от 3,5 мм до 5 мм с шагом 0,5 мм (рисунок 2).

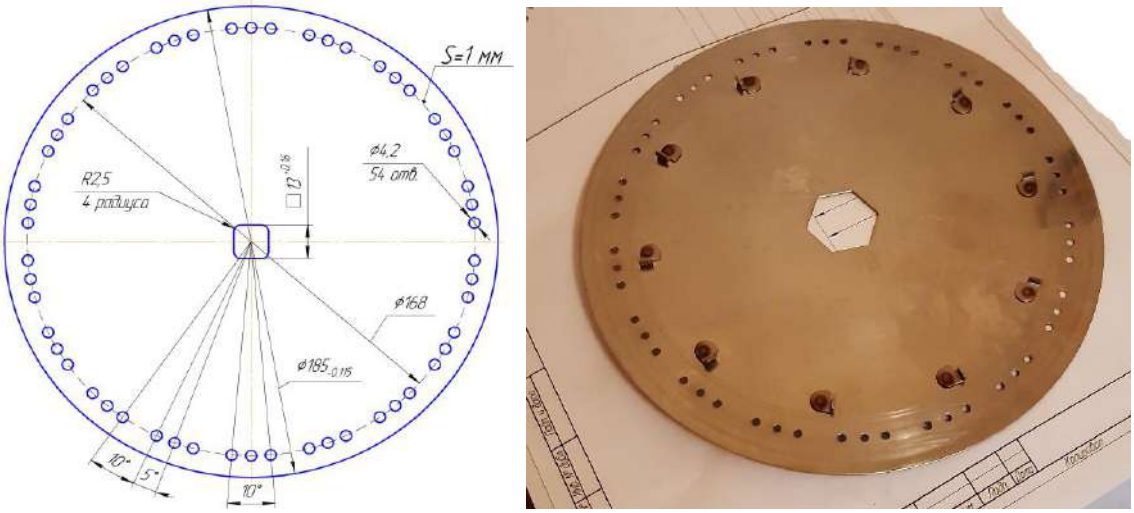


Рисунок 2 – Высевающий диск для пунктирно–гнездового посева семян сои

Частота вращения высевающего диска варьировалась от 15 об/мин до 60 об/мин с шагом 5 об/мин повторность опытов трехкратная. В качестве посевного материала использовали сою сортов «Аляска» и «Лиссабон» различных фракций.

В ходе лабораторных экспериментов было проведено измерение времени прохождения семян через чувствительные элементы датчика по миллисекундной шкале точности. Общее время пролета ($T_{общ}$) семени через датчик (рисунок 3) определялось как время пролета одного семени (T_1) и время между семенами (T_2). Полученные данные были занесены в log-файлы и визуализированы в виде графика. Графические данные были сохранены на компьютере и обработаны при помощи математической статистики с использованием программных средств, таких как Mathcad, Microsoft Excel и Python. [13]

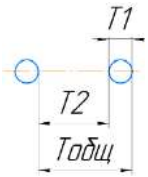


Рисунок 3 – Схема определения времени пролета семян через датчик высева

Время отрыва семян от диска высевающего аппарата зависит от частоты вращения и угла размещения отверстий на высевающем диске и определялось по следующей формуле:

$$T = \frac{\Omega^{\circ}}{6 \cdot n}, \quad (1)$$

где **Ω** - угол между отверстиями высевающего диска, °;

n – частота вращения высевающего диска, об/мин.

Теоретические значения сравнивались с экспериментальными, определялся коэффициент вариации и давалось заключение о работе высевающих аппаратов.

При конструктивных параметрах высевающего диска, когда $\frac{\alpha}{\beta} = \frac{1}{2}$ коэффициент вариации распределения семян пунктирно-гнездового способа высева стремится к 0,355.

Для определения критерия оценки качества пунктирно-гнездового способа посева использовались: общий коэффициент вариации, динамический коэффициент вариации и точность.

При определении общего коэффициента вариации обрабатывался целиком log-файл с результатами работы высевающего аппарата, рассчитывался экспериментальный коэффициент вариации и сравнивался с теоретическим (0,355).

При динамическом коэффициенте вариации расчет производился через каждые 200 шт. семян, что с учетом нормы высева (20 шт./м) соответствует 10 метрам пути, пройденных посевным агрегатом, полученные значения сравнивались с теоретическим (0,355).

Точность пунктирно-гнездового способа посева определялась с учетом агротребований, предъявляемых к сеялкам точного высева (ГОСТ 31345–2017), контролировалось количество семян в группе, расстояние между семенами в группе и расстояние до следующей группы семян. Если количество семян не соответствовало заданному (k=3) или интервал между семенами отклонялся от одной стандартной ошибки, то данная группа семян отбраковывалась. Точность рассчитывалась как процентное отношение «правильных гнезд» к их общему количеству.

Для обработки результатов применялось программное обеспечение, предназначенное для оценки неравномерности распределения семян высевающими аппаратами сеялок точного высева. В качестве входных данных служат log-файлы результатов испытаний высевающих аппаратов на различных режимах работы. Программа позволяет определить различные параметры качества работы высевающего аппарата, включая количество двойников, пропусков и дробленых семян на основании времени взаимодействия посевного материала с датчиком высева. [9, 10]

Результаты и их обсуждения. В таблице 1 значения времени пролета между семенами через датчик высева в зависимости от скорости и угла расположения отверстий.

Таблица 1 – Теоретические значения времени пролета семян в зависимости от конструктивно-технологических параметров высевающего аппарата

Частота вращения высевающего диска, об/мин	Время пролета семян, мс	
	α=5º	β=10º
15	56	112
20	42	84
25	33	66
30	28	56
35	28	56
40	21	42
45	18	36
50	16	33
55	15	30
60	14	28

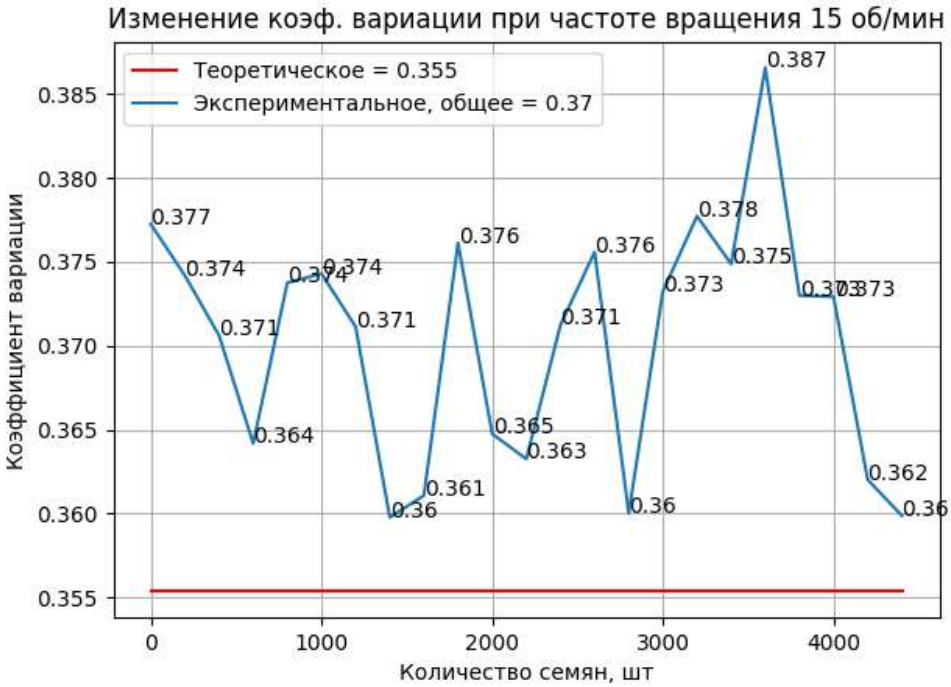
По результатам опытов установлено, что с увеличением частоты вращения высевающего диска более 40 об/мин и увеличения центробежной силы, разряжения в вакуумной камере недостаточно в следствии чего высев прекращался.

На рисунке 4 представлены графики изменения коэффициента вариации временных интервалов сои сорта «Аляска» фракция 5–5,5.

Как видно из графиков рисунка 4 общий коэффициент вариации не превышает 2,9 % по сравнению с теоретическим (0,37 при 15 об/мин и 0,384 при 40 об/мин), однако, рассматривая изменение коэффициента вариации в динамике, разница между теоретическим и экспериментальным достигает максимума в 3,2 % при 15 об/мин и 7,9 % при 40 об/мин. При частоте вращения в 15 об/мин коэффициент вариации принимал минимальное значение равное

0,36 и максимальное – 0,387. При частоте вращения 40 об/мин принимал минимальное значение равное 0,349, а максимальное – 0,434.

Данная тенденция к увеличению разницы между теоретическим и экспериментальным коэффициентом вариации с возрастанием частоты вращения высевающего диска наблюдалась во всех исследуемых вариантах.



а) частота вращения высевающего диска 15 об/мин

б) частота вращения высевающего диска 40 об/мин

Рисунок 4 – Изменение коэффициент вариации временных интервалов при пунктирно-гнездовом способе посева

На рисунке 5 представлены результаты определения точности пунктирно-гнездового способа посева в зависимости от частоты вращения высевающего диска и общего коэффициента вариации (соя «Аляска» фракция 5–5,5, $d_{отв}$=4 мм).

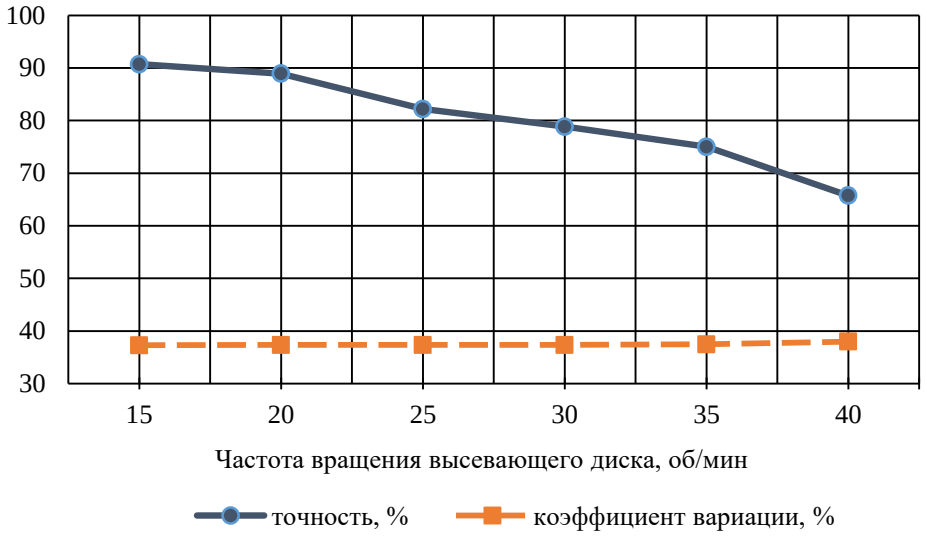


Рисунок 5 – Среднее значение общего коэффициента вариации и точность пунктирно-гнездового способа посева

Как видно из графиков рисунка 5, с увеличением скорости вращения высевающего диска неравномерность распределения семян ухудшается, появляются пропуски и двойники, что снижает точность пунктирно-гнездового способа, которая достигает своего минимального значения в 65,7% при 40 об/мин. При этом среднее значение общего коэффициента вариации практически не изменяется и колеблется в пределах 0,5 %.

Заключение. Согласно проведенным исследованиям, были рассмотрены различные критерии для оценки качества и определения неравномерности высева семян при пунктирно-гнездовом способе. Так использование общего критерия вариации для оценки неравномерности распределения семян нежелательно поскольку не дает информацию о пропусках, двойниках. При расчете коэффициента вариации во время работы сеялки мы получаем данные о количестве семян и неравномерности их распределения, можем косвенно определить качество пунктирно-гнездового посева, сравнивая теоретическое с экспериментальным значением, однако, нет информации о количестве семян в группе, расстоянии между семенами в группе и между группами. При определении точности пунктирно-гнездового посева задается количество семян в группе, с учетом нормы высева и конструктивных параметров высевающего диска, определяется расстояние между семенами. Расчетные значения временных интервалов пролета семян через датчик сравниваются с экспериментальными и с учетом заданного отклонения отбраковываются либо считаются как соответствующие агротехническим требованиям. Варьируя значение отклонения, можно настраивать точность посева.

Алгоритм определения коэффициента вариации и точности можно использовать для программирования системы контроля высева семян.

Список источников

1. Бузенков, Г. М. Машины для посева сельскохозяйственных культур / Г. М. Бузенков. – Москва : Научно-техническое издательство "Машиностроение", 1976. – 272 с. – EDN ULVJRV.

2. Патент № 2127032 C1 Российская Федерация, МПК A01C 7/00, A01C 7/04. Способ высева семян и устройство для его осуществления: № 97100615/13 : заявл. 16.01.1997 : опубл. 10.03.1999 /

В. Д. Липин, С. А. Шишлов ; заявитель Приморская государственная сельскохозяйственная академия. – EDN OJDQVH.

3. Шишлов, С. А. Совершенствование конструкции высевающего аппарата и способа посева для сои / С. А. Шишлов // Наука в центральной России. – 2013. – № 1. – С. 20-24. – EDN QCQBGN.

4. Василенко, В. В. Инверсия семян и ее влияние на качество пунктирного посева / В. В. Василенко, С. В. Василенко // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 12, № 2(61). – С. 102-108. – DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.2.102. – EDN WMRPRL.

5. Казаров, К. Р. Совершенствование теории и методов точного размещения растений сахарной свеклы вдоль рядка / К. Р. Казаров. – Воронеж: ВГАУ, 1998. – 119 с.

6. Крючин, Н. П. Влияние способов формирования семенного потока высевающими аппаратами на равномерность распределения семян в рядке / Н. П. Крючин // Научное обозрение. – 2015. – № 3. – С. 8-12. – EDN TLPGPN.

7. Разработка программного обеспечения для оценки качества высева / Ю. В. Литовка, В. В. Конкина, А. В. Гаврилин [и др.] // Цифровизация агропромышленного комплекса : Сборник научных статей III Международной научно-практической конференции, Тамбов, 25–27 октября 2022 года. Том 1. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет", 2022. – С. 163-165. – EDN PGSBDP.

8. Черноиванов, В. И. Агрокиборг как биомашсистема / В. И. Черноиванов, Г. К. Толоконников // Техника и оборудование для села. – 2022. – № 9(303). – С. 2-5. – DOI 10.33267/2072-9642-2022-9-2-5. – EDN YUSXKX.

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022680499 Российская Федерация. Модуль управления электроприводом высевающего аппарата : № 2022669889 : заявл. 25.10.2022 : опубл. 02.11.2022 / С. П. Стрыгин, Н. Ю. Пустоваров ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве». – EDN LXXSGL.

10. Патент на полезную модель № 218769 U1 Российская Федерация, МПК A01C 7/04. Стенд для испытания высевающих аппаратов пропашных сеялок точного высева : № 2023100239 : заявл. 10.01.2023 : опубл. 09.06.2023 / А. А. Синельников, А. В. Гаврилин, А. В. Балашов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве". – EDN DNYAHI.

11. Теоретическое обоснование параметров диска высевающего аппарата сеялки для гнездового посева семян сои / А. Н. Зазуля, А. В. Балашов, А. А. Синельников [и др.] // Российская сельскохозяйственная наука. – 2019. – № 2. – С. 69-71. – DOI 10.31857/S2500-26272019269-71. – EDN JFFXKS.

12. Research into the nested method of sowing soybean under the conditions of a moderate-continental climate / S. Khairullina, S. P. Strygin, A. A. Sinelnikov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Dushanbe, 14 марта 2023 года. – Dushanbe, 2023. – P. 012005. – DOI 10.1088/1755-1315/1212/1/012005.

13. Python Materials Genomics (pymatgen): A robust, open-source python library for materials analysis / S. P. Ong, W. D. Richards, G. Ceder [et al.] // Computational Materials Science. – 2013. – Vol. 68. – P. 314-319. – DOI 10.1016/j.commatsci.2012.10.028. – EDN SSLYAN.

References

1. Machines for sowing agricultural crops / G. M. Buzenkov. – Moscow : Scientific and Technical Publishing House "Mashinostroenie", 1976. – 272 p. – EDN ULVJRV.

2. Patent No. 2127032 C1 Russian Federation, IPC A01C 7/00, A01C 7/04. Method of sowing seeds and device for its implementation: No. 97100615/13 : application 16.01.1997 : publ. 10.03.1999 / V. D. Lipin, S. A. Shishlov; applicant Primorsky State Agricultural Academy. – EDN OJDQVH.

3. Improving the design of the sowing apparatus and the method of sowing for soybeans / S. A. Shishlov // Science in Central Russia. - 2013. – No. 1. – pp. 20-24. – EDN QCQBGN.

4. Inversion of seeds and its effect on the quality of single-grain sowing / V. V. Vasilenko, S. V. Vasilenko // Vestnik of Voronezh state agrarian university. – 2019. – Vol. 12, No. 2(61). – P. 102-108. – DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.2.102.

5. Improving the theory and methods of precise placement of sugar beet plants along the row / K. R. Kazarov. – Voronezh: VGAU, 1998. – 119 p.

6. Influence of the ways of seed flow formation by sowing devices on the evenness of seeds distribution in the bed / N. P. Kryuchin // Scientific Review. – 2015. – No. 3. – P. 8-12.

7. Software development for seeding quality assessment / Yu. V. Litovka, V. V. Konkina, A.V. Gavrilin [et al.] // Digitalization of the agro-industrial complex: Collection of scientific articles of the III International Scientific and Practical Conference, Tambov, October 25-27, 2022. Volume 1. – Tambov: Publishing Center of the Tambov State Technical University, 2022. – pp. 163-165. – EDN PGSBDP.

8. Agrocyborg as a biomachine system / V. I. Chernoivanov, G. K. Tolokonnikov // Machinery and equipment for rural area. – 2022. – № 9(303). – P. 2-5. – DOI 10.33267/2072-9642-2022-9-2-5.

9. Certificate of state registration of the computer program No. 2022680499 Russian Federation. The control module of the electric drive of the seeding apparatus : No. 2022669889 : application 25.10.2022 : publ. 02.11.2022 / S. P. Strygin, N. Y. Pustovarov ; applicant Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture". – EDN LXXSGL.

10. Patent No. 218769 U1 Russian Federation, IPC A01C 7/04. Stand for testing seeding machines of precision seeders : No. 2023100239 : application 10.01.2023 : publ. 09.06.2023 / A. A. Sinelnikov, A.V. Gavrilin, A.V. Balashov [et al.] ; applicant Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture". – EDN DNYAHI.

11. Theoretical parameters seeder for the nest method of sowing soybean seeds / A. N. Zazulya, A.V. Balashov, A. A. Sinelnikov [et al.] // Russian agricultural science. – 2019. – No. 2. – PP. 69-71. – DOI 10.31857/S2500-26272019269-71. – EDN JFFXKS.

12. Research into the nested method of sowing soybean under the conditions of a moderate-continental climate / S. Khairullina, S. P. Strygin, A. A. Sinelnikov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Dushanbe, 14 марта 2023 года. – Dushanbe, 2023. – P. 012005. – DOI 10.1088/1755-1315/1212/1/012005.

13. Python Materials Genomics (pymatgen): A robust, open-source python library for materials analysis / S. P. Ong, W. D. Richards, G. Ceder [et al.] // Computational Materials Science. – 2013. – Vol. 68. – P. 314-319. – DOI 10.1016/j.commatsci.2012.10.028. – EDN SSLYAN.

Информация об авторах

С. П. Стрыгин – кандидат технических наук; Н. Ю. Пустоваров – кандидат технических наук; С. Г. Хайруллина – PhD, кандидат технических наук; В. В. Конкина – кандидат технических наук; А.С. Заводнов – студент.

Information about the authors

S. Strygin – Candidate of Technical Sciences; N. Pustovarov – Candidate of Technical Sciences; S. Khairullina – PhD, Candidate of Technical Sciences; V. Konkina – Candidate of Technical Sciences; A. Zavodnov – student.

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: *all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication*.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 25.07.2023 Принята к публикации (Accepted): 26.08.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.21
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-4-72-81

РЕЖИМНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ИНФРАКРАСНЫХ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АПК

Александр Викторович Щегольков [1]***, Наталия Викторовна Земцова*** [2]***,***
Алексей Викторович Щегольков [3]
[1,2,3] *Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия*
[1]energynano@yandex.ru,[2]natasha_paramonova_68@mail.ru, [3]alexxx5000@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Александр Викторович Щегольков, energynano@yandex.ru
Corresponding author: Shchegolkov Alexander, energynano@yandex.ru

Реферат. *Модернизация агропромышленного комплекса может быть основана на использовании энергоэффективных технических подходов. Одним из направлений в области энергосбережения является использование инфракрасных (ИК) нагревателей, для создания которых наиболее рационально использовать технологические приемы получения композитных материалов на основе диэлектрических матриц (эластомеров) с добавками проводящих структур с наноразмерными геометрическими параметрами (МУНТ – многослойные углеродные нанотрубки). Исследования показали, что при включении образцов нагревателей происходит кратковременный скачек тока, который связан с разогревом эластомера с МУНТ и формированием в структуре композита электрического поля. Кратность пускового тока для образца №1 (Силагерм 8020, МУНТ 3%, никель 10%) составляет 3,56 А (время установления рабочего режима 350 с), что является наибольшим значением. Наименьшая кратность пускового тока 1,65 А (время установления рабочего режима 250 с) характерна для образца №2 (Силагерм 8030, МУНТ 3%, бронза 10%). Для образца №3 (Силагерм 8030, МУНТ 3%, алюминий 10%) при переменном токе характерно наименьшее время выхода на рабочий режим (140 с). Рабочие режимы нагревателей на переменном и постоянном токе отличаются, что связано с формированием морфологических и структурных свойств в композитах, влияющих на протекание электрического тока различного вида. Для всех образцов характерен режим, при котором ток снижается и через 140-360 с устанавливается на рабочем режиме, соответствующем тепловому балансу, при котором этот ток расходуется на создание теплового потока для подогрева растительного сырья и компенсацию тепловых потерь в окружающую среду. Установлено, что рабочий режим нагревателей на основе эластомеров, модифицированных МУНТ, характеризуется участком выхода на рабочий режим от 140 до 350 с, что превышает значение для керамических нагревателей на основе титаната бария ($BaTiO_3$). Но рабочая температура более стабильная и не меняется во времени (при постоянных условиях теплообмена). Использование эластичных матриц позволяет формировать эффективные системы ИК нагрева для технологических процессов переработки растительного сырья.*

Ключевые слова: *электронагреватель, саморегулирование температуры, эластомер, углеродные нанотрубки, пусковой ток, режимные параметры.*

MODE PARAMETERS OF INFRARED ELECTRIC HEATERS BASED ON NANOMODIFIED ELASTOMERS FOR TECHNOLOGICAL PROCESSES IN AGRICULTURAL COMPLEX

Alexander Shchegolkov [1]***, Natalia Zemtsova*** [2]***, Alexey Shchegolkov*** [3]
[1,2,3] *Tambov State Technical University, Tambov, Russia*
[1]energynano@yandex.ru,[2]natasha_paramonova_68@mail.ru, [3]alexxx5000@mail.ru

Abstract. *Modernization of the agro-industrial complex can be based on the use of energy efficient technical approaches. One of the directions in the field of energy saving is the use of infrared (IR) heaters, for the creation of which it is most rational to use technological methods for obtaining composite materials based on dielectric matrices (elastomers) with the addition of conductive structures with nanosized geometric parameters (MCNTs - multilayer carbon nanotubes). Studies have shown that when the heater samples are turned on, a short-term current jump occurs, which is associated with heating of the elastomer with MCNT and the formation of an electric field in the composite structure. The inrush current ratio for sample No. 1 (Silagerm 8020, MCNT 3%, nickel 10%) is 3.56 A (setting time of the operating mode is 350 s), which is the highest value. The smallest inrush current ratio of 1.65 A (setting time of the operating mode 250 s) is typical for sample No. 2 (Silagerm 8030, MCNT 3%, bronze 10%). For sample No. 3 (Silagerm 8030, MCNT 3%, aluminum 10%) at alternating current, the shortest time to reach the operating mode (140 s) is typical. The operating modes of heaters on alternating and direct current are different, which is associated with the formation of morphological and structural properties in composites that affect the flow of electric current of various types. All samples are characterized by a mode in which the current decreases and after 140-360 s is set to the operating mode corresponding to the heat balance, in which this current is spent to create a heat flow to heat the plant material and compensate for heat losses to the environment. It has been established that the operating mode of heaters based on elastomers modified with MCNT is characterized by the time interval for reaching the operating mode from 140 to 350 s, which exceeds the value for ceramic heaters based on barium titanate (BaTiO3). But the operating temperature is more stable and does not change over time (under constant heat exchange conditions). The use of elastic matrices makes it possible to form effective IR heating systems for technological processes of processing plant materials.*

Keywords: *electric heater, temperature self-regulation, elastomer, carbon nanotubes, inrush current, mode parameters.*

Для цитирования: Щегольков А.В., Земцова Н.В., Щегольков А.В. Режимные параметры инфракрасных электронагревателей на основе наномодифицированных эластомеров для технологических процессов в АПК // Наука в Центральной России. 2023. Т. 64, № 4. С. 72-81. https://doi.org/10.35887/2305- 2538-2023-4-72-81.

For citation: Shchegolkov A., Zemtsova N., Shchegolkov A. Mode parameters of infrared electric heaters based on nanomodified elastomers for technological processes in agricultural complex. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 64(4): 72-81. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-72-81.

Благодарности: работа выполнена при поддержке управления образования и науки Тамбовской области в рамках Соглашения №2/МУ2022 о предоставлении гранта по проекту №МУ 2022-02/5 областного конкурса «Гранты для поддержки прикладных научных исследований молодых ученых 2022 года».

Acknowledgments: the work was supported by the Department of Education and Science of the Tambov Region under the Grant Agreement No. 2/MU2022 for the project No. MU 2022-02/5 of the regional competition "Grants to support applied scientific research of young scientists in 2022".

Введение. Технологические процессы, которые используются в агропромышленном комплексе (АПК) могут быть существенным образом улучшены за счет использования инновационных энергоэффективных технических подходов [1]. Это касается существующих сфер переработки сельскохозяйственной продукции, а также формирования новых перспективных направлений глубокой переработки, которые улучшают рентабельность и позволяют выходить на новый уровень производительности. Наиболее востребованным направлением переработки продукции растениеводства является переработка, основанная на термической обработке. Направление термической обработки включает в себя различные виды сушки (конвективную [2], контактную и излучением [3]), причем для экстрагирования также требуется предварительная сушка [4]. Важное значение в процессе сушки растительного сырья отводится на уменьшение затрат энергии с целью повышения рентабельности переработанной продукции и оптимизации

температурного воздействия на плоды и овощи с целью сохранности биологически активных веществ в составе растительного сырья [5, 6].

Высокую востребованность имеют технологии сушки с применением электрических нагревателей, что обуславливается их универсальностью, компактностью и высокой безопасностью в сравнение с обогревателями, работающими на газу [7] или твердом топливе. При этом, стоит отметить высокий уровень экологичности, так как нет процесса горения и соотвественно выделения токсичных газообразных продуктов [8]. Наиболее оптимальным видом термической обработки растительного сырья является использование лучистого теплообмена. Этот способ термической обработки в целом ряде случаев является оптимальным с точки зрения энергетических затрат и позволяет сократить время термической обработки. Для реализации личистого теплообмена в процессе сушки используются ИК нагреватели. Следует отметить необходимость адаптации как конструктивных параметров, так и режимов работы ИК нагревателей для технологий сушки растительного сырья. Наиболее эффективным сочетанием для сушки растительного сырья является применнение технологии создания ваккума в сушильных шкафах и ИК нагревателей. Воздействие ИК излучателей на растительное сырье позволяет интенсифицировать процесс сушки во внутридиффузионном кинетическом режиме с управляемым воздействием на внутренний влагоперенос, который может быть реализован с учетом морфологической структуры растительного сырья.

В условиях вакуумной сушки с целью максимизации сохранения полезных веществ в растительном сырье следует поддерживать стабильный температурный режим без перегрева и недогрева. Это возможно реализовать с помощью эффекта саморегулирвоания температуры [9], который может быть реализован в керамике на основе $BaTiO_3$ за счет эффекта положительного температурного коэффициента сопротивления. Однако температурные режимы керамичсеких нагревателей с положительным температурным коэффициентом сопротивления [10] не являются оптимальными для сушки с сохрангением биологически активных веществ [11], и в этом отношении необходимо рассмотреть иные типы электропроводящих композитов, обеспечивающих реализацию эффекта поддержания температурного режима в диапазоне менее 60 °C [12].

Для получения эффективных ИК излучателей на основе плоских нагревателей с площадью, пропорциональной площади обогреваемой засыпки растительного сырья, наиболее рационально использовать технологические приемы получения композитных материалов на основе диэлектрических матриц (эластомеров) с добавками проводящих структур с наноразмерными геометрическими параметрами (МУНТ – многослойные углеродные нанотрубки). При использовании компланарных электродов такие проводящие композиты на основе эластомеров и МУНТ приобретают новые функциональные свойства, связанные с тепловыделениями под действием электрического напряжения [13]. Применение проводящих полимерных композитов позволяет полноценно реализовать всевозможные функциональные преимущества ИК нагревателей в условиях вакуумной сушки, а именно адаптацию геометрических параметров с регулируемыми мощностными и температурными режимами. Таким образом, проводящие композиты могут стать эффективной элементной базой для энергоэффективных сушильных установок для растительного сырья [14], в которых вакуум создается с помощью жидкостно-кольцевых вакуумных насосов [15].

Цель исследований – анализ режимов работы нагревателей с эффектом саморегулирования на основе наномодифицированных эластомеров с дисперсными добавками микроразмерных металлов.

Материалы и методы.

Для оценки корреляции электропроводящих свойств и состава композитов проведем оценку временной зависимости тока, что позволит установить режимы, связанные с переходным процессом, там, где есть пусковой ток и установившийся режим и при этом имеется возможность отследить динамику изменения выхода на оптимальный рабочий режим.

Для электропитания образцов электронагревателей используется ЛАТР TDGC-4KVA (Ресанта, Москва) и источник постоянного тока (программируемый) Актаком АНТ-1351. Для исследования потребляемого тока использован мультиметр UNI-T UT61E+ (UNI-T, Китай), подключаемый к ноутбуку HUAWEI MateBook D 15 (256GB) по USB интерфейсу.

Для получения МУНТ использована технология на основе СВЧ синтеза [16].

В соответствии с методикой, изложенной в работе [17], были получены образцы нагревателей. В таблице 1 представлены составы композита для электронагревателя с эффектом саморегулирования температуры.

Таблица 1 – Состав образцов композитов для электронагревателя с эффектом саморегулирования температуры

№ образца	Состав
1	Силагерм 8020, МУНТ 3%, никель 10%
2	Силагерм 8030, МУНТ 3%, бронза 10%
3	Силагерм 8030, МУНТ 3%, алюминий 10%

В качестве полимерной матрицы использовался кремнийорганический компаунд Силагерм 8030 (8020) (ООО «ЭЛЕМЕНТ 14», Москва, Россия). Для исследования были использованы образцы с размерами 5х5х0,2 см. Напряжение электропитания образцов нагревателей 10 В.

Результаты и их обсуждение.

На рисунках 1-7 показаны кривые изменения силы тока от времени при включении нагревателей на режим нагрева. В таблицах 2-8 представлены параметры режима саморегулирования электронагревателей, при котором происходит выход на рабочий температурный режим.

Исследование образца нагревателя №1

На рисунке 1 показана зависимость силы тока от времени для образца №1(Силагерм 8020, МУНТ 3%, никель 10%) на переменном токе.

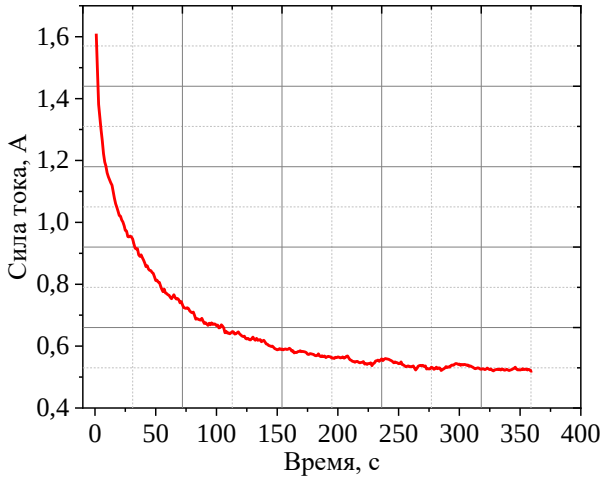


Рисунок 1 – Зависимость силы тока от времени образца (Силагерм 8020, МУНТ 3%, никель 10%) на переменном токе

Параметры режима саморегулирования для образца представлены в таблице 2: пусковой ток 1,6 А, время переходного процесса 360 с, рабочий ток 0,45 А, отношение пускового тока к рабочему 3,56.

Таблица 2 – Параметры режима саморегулирования для образца (Силагерм 8020, МУНТ 3%, никель 10%)

Пусковой ток, А	Время переходного процесса, с	Рабочий ток, А	Отношение пускового тока к рабочему
1,6	360	0,45	3,56

На рисунке 2 показана зависимость силы тока от времени образца (Силагерм 8020, МУНТ 3%, никель 10%) на постоянном токе. Значения параметров в этом случае ниже, чем при переменном токе. Параметры режима саморегулирования для образца представлены в таблице 3: пусковой ток

0,57 А, время переходного процесса 260 с, рабочий ток 0,26 А, отношение пускового тока к рабочему 2,19.

Исследование образца нагревателя №2

На рисунке 3 показана зависимость силы тока от времени образца № 2 (Силагерм 8030, МУНТ 3%, бронза 10%) при переменном токе. Параметры режима саморегулирования для образца представлены в таблице 4. Они отличаются от показателей для образца №1 в меньшую сторону.

На рисунке 4 показана зависимость силы тока от времени образца (Силагерм 8030, МУНТ 3%, бронза 10%) при постоянном токе. Параметры режима саморегулирования для данного образца представлены в таблице 5.

В отличие от образца №1 не все значения меньше при постоянном токе, чем при переменном.

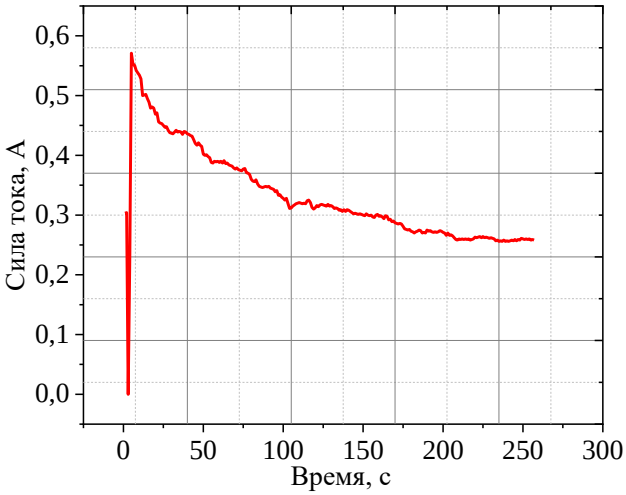


Рисунок 2 − Зависимость силы тока от времени образца (Силагерм 8020, МУНТ 3%, никель 10 %) при постоянном токе

Таблица 3 − Параметры режима саморегулирования для образца (Силагерм 8020, МУНТ 3%, никель 10%) при постоянном токе

Пусковой ток, А	Время переходного процесса, с	Рабочий ток, А	Отношение пускового тока к рабочему
0,57	260	0,26	2,19

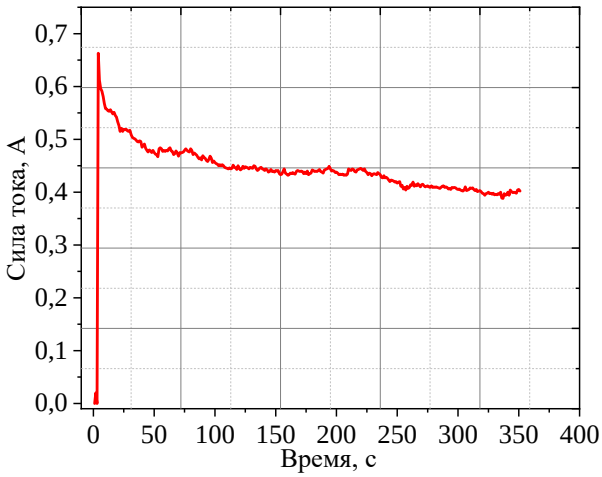


Рисунок 3 − Зависимость силы тока от времени образца (Силагерм 8030, МУНТ 3%, бронза 10%) при переменном токе

Таблица 4 − Параметры режима саморегулирования для образца (Силагерм 8020, МУНТ 3%, никель 10%) при переменном токе

Пусковой ток, А	Время переходного процесса, с	Рабочий ток, А	Отношение пускового тока к рабочему
0,66	355	0,4	1,65

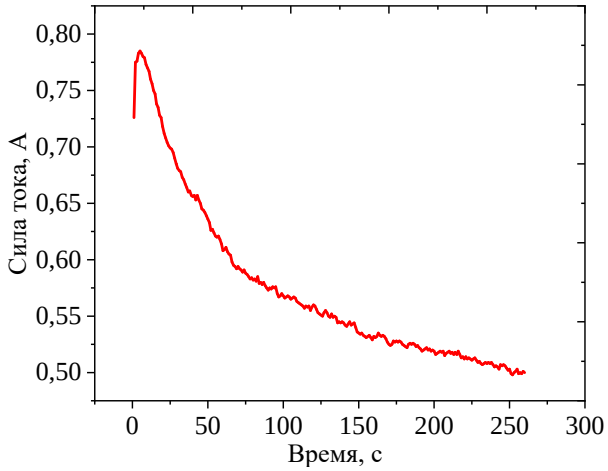


Рисунок 4 − Зависимость силы тока от времени образца (Силагерм 8030, МУНТ 3%, бронза 10%) при постоянном токе

Таблица 5 − Параметры режима саморегулирования для образца (Силагерм 8030, МУНТ 3%, бронза 10%) при постоянном токе

Пусковой ток, А	Время переходного процесса, с	Рабочий ток, А	Отношение пускового тока к рабочему
0,78	260	0,51	1,53

Исследование образца нагревателя №3

На рисунке 5 показана зависимость силы тока от времени образца (Силагерм 8030, МУНТ 3%, алюминий 10%) при постоянном токе. Параметры режима саморегулирования для образца №3 представлены в таблице 6, они отличаются от параметров режима саморегулирования для образцов № 1 и № 2.

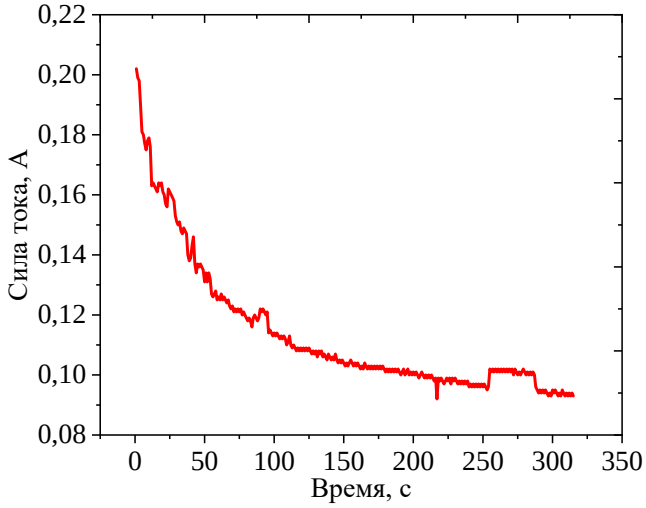


Рисунок 5 − Зависимость силы тока от времени образца (Силагерм 8030, МУНТ 3%, алюминий 10%) при постоянном токе

Таблица 6 − Параметры режима саморегулирования для образца (Силагерм 8030, МУНТ 3%, алюминий 10%) при постоянном токе

Пусковой ток, А	Время переходного процесса, с	Рабочий ток, А	Отношение пускового тока к рабочему
0,22	340	0,09	2,44

На рисунке 6 показана зависимость силы тока от времени образца (Силагерм 8030, МУНТ 3%, алюминий 10%) при переменном токе. Параметры режима саморегулирования для образца №3 представлены в таблице 7.

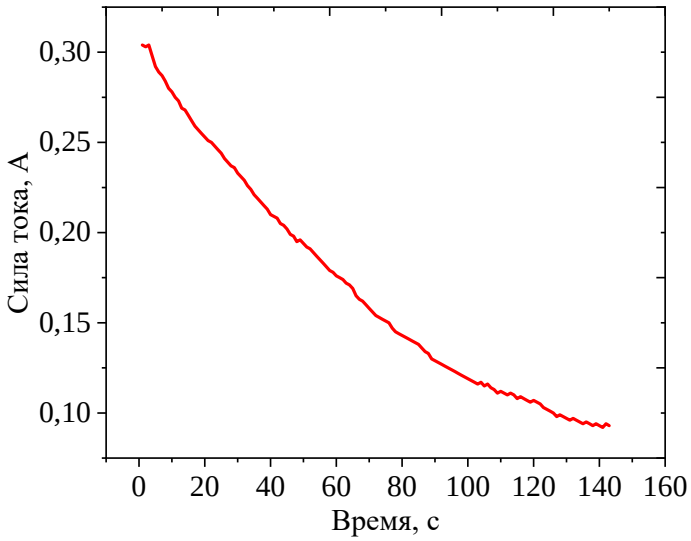


Рисунок 6 − Зависимость силы тока от времени образца (Силагерм 8030, МУНТ 3%, алюминий 10%) при переменном токе

Таблица 7 − Параметры режима саморегулирования для образца (Силагерм 8030, МУНТ 3%, алюминий 10%) при переменном токе

Пусковой ток, А	Время переходного процесса, с	Рабочий ток, А	Отношение пускового тока к рабочему
0,31	145	0,10	3,1

В результате исследований установлено, что при включении образца нагревателя (подаче питающего напряжения на электроды) происходит кратковременный скачек тока, который связан с разогревом эластомера с МУНТ и формированием электрического поля в структуре композита. Кратность пускового тока для образца №1 (Силагерм 8020, МУНТ 3%, никель 10%) составляет 3,56 А (время установления рабочего режима 350 с), что является наибольшим значением. Наименьшая кратность пускового тока 1,65 А (время установления рабочего режима 250 с) характерна для образца №2 (Силагерм 8030, МУНТ 3%, бронза 10%). Для образца №3 (Силагерм 8030, МУНТ 3%, алюминий 10%) при переменном токе характерно наименьшее время выхода на рабочий режим (140 с). Рабочие режимы нагревателей на переменном и постоянном токе отличаются, что связано с формированием влияющих на протекание электрического тока различного вида морфологических и структурных свойств в композитах с добавками разного типа дисперсных металлических структур. Для всех образцов характерен режим, при котором ток после первоначального скачка начинает монотонно снижаться и через 140 -360 с устанавливается на значении рабочего режима. Такой режим зависит от теплового баланса, при котором этот ток расходуется на создание теплового потока для подогрева растительного сырья в режиме сушки и компенсацию тепловых потерь в окружающую среду.

Заключение.

Проведенные исследования показали, что различные типы дисперсных металлических добавок влияют на режимные параметры композитных нагревателей на основе эластомеров и МУНТ и в отличии от керамических нагревателей на основе титаната бария ($BaTiO_3$), рабочий режим нагревателей на основе эластомеров, модифицированных МУНТ характеризуется временем выхода на рабочий режим в диапазоне от 140 до 360 с, что превышает такой же параметр для керамических нагревателей на основе титаната бария ($BaTiO_3$) [9-10]. Однако рабочая температура для нагревателей на основе эластичных матриц более стабильная и не меняется во времени (стабильный ток) при постоянных условиях теплообмена. Использование эластичных матриц с МУНТ и дисперсными микроразмерными добавками позволяет формировать эффективные системы ИК нагрева для технологических процессов переработки растительного сырья.

Список источников

1. Eichhammer W. Industrial Energy Efficiency,Editor(s): Cutler J. Cleveland, Encyclopedia of Energy. Elsevier. 2004; 383-393. DOI: 10.1016/B0-12-176480-X/00197-2.

2. Adak N., Heybeli N., Ertekin C. Infrared drying of strawberry. Food chemistry. 2017; 219:109-116.

3. Boudhrioua N., Bahloul N., Slimen I.B., Kechaou N. Comparison on the total phenol contents and the color of fresh and infrared dried olive leaves. Industrial crops and products. 2009; 29(2-3):412-419.

4. Xu P., Zhang Z., Peng X., Yang J., Li X., Yuan T., Jia X., Liu Y., Abdullaev O., Jenis J. Study on vacuum drying kinetics and processing of the Lonicera japonica Thunb. aqueous extracts. LWT. 2022; 167:113868. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.113868.

5. Alwi H., Zubairy N., Ku Hamid K.H. Drying properties of agarwood leaves in vacuum far infrared dryer: Colour changes. Materials Today: Proceedings. 2022; 63(11):S174-S177. DOI: 10.1016/j.matpr.2022.02.130.

6. Pateiro M., Vargas-Ramella M., Franco D., da Cruz A.G., Zengin G., Kumar M., Dhama K., Lorenzo J.M. The role of emerging technologies in the dehydration of berries: Quality, bioactive compounds, and shelf life. Food Chemistry: X. 2022; 16:100465. DOI: 10.1016/j.fochx.2022.100465.

7. Maznoy A., Kirdyashkin A., Pichugin N., Zambalov S., Petrov D. Development of a new infrared heater based on an annular cylindrical radiant burner for direct heating applications. Energy. 2020; 204:117965. DOI: 10.1016/j.energy.2020.117965.

8. England G.C., McGrath T.P., Gilmer L., Seebold J.G., Lev-On M., Hunt T. Hazardous air pollutant emissions from gas-fired combustion sources: emissions and the effects of design and fuel type. Chemosphere. 2001; 42(5–7):745-764. DOI: 10.1016/S0045-6535(00)00249-6.

9. Zhang D., Zhou D., Jiang S., Wang X., Gong S. Effects of porosity on the electrical characteristics of current-limiting BaTiO3-based positive-temperature-coefficient (PTC) ceramic thermistors coated with electroless nickel–phosphorous electrode. Sensors and Actuators A Physical. 2004; 112(1):94–100. DOI:10.1016/j.sna.2003.09.039.

10. Bell J.G., Graule T., Stuer M. Barium titanate-based thermistors: Past achievements, state of the art, and future perspectives featured. Applied Physics Reviews. 2021; 8:031318. DOI: 10.1063/5.0048697.

11. Morais R.M.S.C., Morais A.M.M.B., Dammak I., Bonilla J., Sobral P.J.A., Laguerre J.-C., Afonso M.J., Ramalhosa E.C.D. Functional Dehydrated Foods for Health Preservation. Journal of Food Quality. 2018; 3:1–29. DOI: 10.1155/2018/1739636.

12. Ali I., AlGarni T.S., Shchegolkov A., Shchegolkov A., Jang S.-H., Galunin E., Komarov F., Borovskikh P., Imanova G.T. Temperature self-regulating flat electric heaters based on MWCNTs-modified polymers. Polymer Bulletin. 2020. DOI:10.1007/s00289-020-03483-y.

13. Shchegolkov A.V., Jang S.-H., Shchegolkov A.V., Rodionov Y.V., Glivenkova O.A. Multistage Mechanical Activation of Multilayer Carbon Nanotubes in Creation of Electric Heaters with Self-Regulating Temperature. Materials. 2021; 14:4654. DOI: 10.3390/ma14164654.

14. Энергоэффективная система для глубокой переработки растительного сырья с тепловыми аккумуляторами и электронагревателями: пат. 2771723 C1 Рос. Федерация. № 2021127502 /

Родионов Ю.В., Щегольков А.В., Щегольков А.В., Зорина О.А.; заявл. 20.09.2021; опубл. 11.05.2022.

15. Жидкостно-кольцевая машина: пат. 2763233 C1 Рос. Федерация. № 2021111225 / Родионов Ю.В., Никитин Д.В., Щегольков А.В., Зорин А.С., Иванова И.В., Махмуд М.А.С.; заявл. 20.04.2021; опубл. 28.12.2021.

16. Shchegolkov A.V., Shchegolkov A.V. Synthesis of Carbon Nanotubes Using Microwave Radiation: Technology, Properties, and Structure. Russ J Gen Chem. 2022; 92:1168–1172. DOI: 10.1134/S1070363222060329.

17. Щегольков А.В., Щегольков А.В., Земцова Н.В. Исследование тепловыделения в наномодифицированных эластомерах при растяжении и кручении под действием электрического напряжения. Фронтирные материалы и технологии. 2022; (2):121-132. (На рус. языке) https://doi.org/10.18323/2782-4039-2022-2-121-132.

References

1. Eichhammer W. Industrial Energy Efficiency,Editor(s): Cutler J. Cleveland, Encyclopedia of Energy. Elsevier. 2004; 383-393. DOI: 10.1016/B0-12-176480-X/00197-2.

2. Adak N., Heybeli N., Ertekin C. Infrared drying of strawberry. Food chemistry. 2017; 219:109-116.

3. Boudhrioua N., Bahloul N., Slimen I.B., Kechaou N. Comparison on the total phenol contents and the color of fresh and infrared dried olive leaves. Industrial crops and products. 2009; 29(2-3):412-419.

4. Xu P., Zhang Z., Peng X., Yang J., Li X., Yuan T., Jia X., Liu Y., Abdullaev O., Jenis J. Study on vacuum drying kinetics and processing of the Lonicera japonica Thunb. aqueous extracts. LWT. 2022; 167:113868. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.113868.

5. Alwi H., Zubairy N., Ku Hamid K.H. Drying properties of agarwood leaves in vacuum far infrared dryer: Colour changes. Materials Today: Proceedings. 2022; 63(11):S174-S177. DOI: 10.1016/j.matpr.2022.02.130.

6. Pateiro M., Vargas-Ramella M., Franco D., da Cruz A.G., Zengin G., Kumar M., Dhama K., Lorenzo J.M. The role of emerging technologies in the dehydration of berries: Quality, bioactive compounds, and shelf life. Food Chemistry: X. 2022; 16:100465. DOI: 10.1016/j.fochx.2022.100465.

7. Maznoy A., Kirdyashkin A., Pichugin N., Zambalov S., Petrov D. Development of a new infrared heater based on an annular cylindrical radiant burner for direct heating applications. Energy. 2020; 204:117965. DOI: 10.1016/j.energy.2020.117965.

8. England G.C., McGrath T.P., Gilmer L., Seebold J.G., Lev-On M., Hunt T. Hazardous air pollutant emissions from gas-fired combustion sources: emissions and the effects of design and fuel type. Chemosphere. 2001; 42(5–7):745-764. DOI: 10.1016/S0045-6535(00)00249-6.

9. Zhang D., Zhou D., Jiang S., Wang X., Gong S. Effects of porosity on the electrical characteristics of current-limiting BaTiO3-based positive-temperature-coefficient (PTC) ceramic thermistors coated with electroless nickel–phosphorous electrode. Sensors and ActuatorsA Physical. 2004; 112(1): 94–100. DOI:10.1016/j.sna.2003.09.039.

10. Bell J.G., Graule T., Stuer M. Barium titanate-based thermistors: Past achievements, state of the art, and future perspectives featured. Applied Physics Reviews. 2021; 8:031318. DOI: 10.1063/5.0048697.

11. Morais R.M.S.C., Morais A.M.M.B., Dammak I., Bonilla J., Sobral P.J.A., Laguerre J.-C., Afonso M.J., Ramalhosa E.C.D. Functional Dehydrated Foods for Health Preservation. Journal of Food Quality. 2018; 3:1–29. DOI: 10.1155/2018/1739636.

12. Ali I., AlGarni T.S., Shchegolkov A., Shchegolkov A., Jang S.-H., Galunin E., Komarov F., Borovskikh P., Imanova G.T. Temperature self-regulating flat electric heaters based on MWCNTs-modified polymers. Polymer Bulletin. 2020. DOI:10.1007/s00289-020-03483-y.

13. Shchegolkov A.V., Jang S.-H., Shchegolkov A.V., Rodionov Y.V., Glivenkova O.A. Multistage Mechanical Activation of Multilayer Carbon Nanotubes in Creation of Electric Heaters with Self-Regulating Temperature. Materials. 2021; 14:4654. DOI: 10.3390/ma14164654.

14. Energy efficient system for deep processing of vegetable raw materials with thermal accumulators and electric heaters: patent. 2771723 C1 Ros. Federation. No. 2021127502 / Rodionov Yu.V., Shchegolkov A.V., Shchegolkov A.V., Zorina O.A.; applied. 20.09.2021; published 11.05.2022.

15. Liquid ring machine: patent. 2763233 C1 Ros. Federation. No. 2021111225 / Rodionov Y.V., Nikitin D.V., Shchegolkov A.V., Zorin A.S., Ivanova I.V., Mahmud M.A.S.; applied. 20.04.2021; published 28.12.2021.

16. Shchegolkov A.V., Shchegolkov A.V. Synthesis of Carbon Nanotubes Using Microwave Radiation: Technology, Properties, and Structure. Russ J Gen Chem. 2022; 92:1168–1172. DOI: 10.1134/S1070363222060329.

17. Shchegolkov A.V., Zemtsova N.V. Investigation of heat release in nanomodified elastomers during stretching and torsion under the action of electric voltage. Front. Mater. Technol. 2022; 2:121–132.

Информация об авторах

А. В. Щегольков – кандидат технических наук, доцент; Н. В. Земцова – аспирант; А. В. Щегольков – кандидат технических наук, инженер.

Information about the authors

A. Shchegolkov – Ph.D., Associate Professor, N. Zemtsova – student, A. Shchegolkov – Ph.D., engineer

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: *all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication*.

***The authors declare no conflict of interest*.**

Поступила в редакцию (Received): 23.07.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.08.2023

Тип статьи: научная
УДК 621.321
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-4-82-87

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЯЗКОСТИ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАЗМЕРА МАСЛЯНЫХ КАПЕЛЬ, КОНЦЕНТРАЦИИ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ И ВВЕДЕНИЯ ТВЕРДОФАЗНЫХ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ МОДИФИКАТОРОВ

Кирилл Леонидович Сергеев [1], ***Михаил Михайлович Дечко*** [2]
[1] *Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь*
[2] *ОАО «ЛМЗ Универсал», г. Солигорск, Республика Беларусь*
[1] 13nuke@mail.ru
[2] mdechko@rambler.ru

Автор ответственный за переписку: Сергеев Кирилл Леонидович, 13nuke@mail.ru
Corresponding author: Sergeev Kirill, 13nuke@mail.ru

Реферат. *Одним из путей увеличения производительности обработки и обеспечения высокого качества обработанной поверхности является правильный выбор и использование смазочно-охлаждающих жидкостей. Решение задач повышения эффективности реализовывалось путем выбора состава смазочно-охлаждающих жидкости, которая была приготовлена на основе отходов, образующихся в процессе производства масложировой продукции. Это обеспечит снижение экологической нагрузки на систему окружающей среды. Также большое внимание в последнее время уделяется оценке действия смазочно-охлаждающих жидкостей модифицированных углеродными материалами, в частности, углеродными нанотрубками и графитом. Из-за особенностей их физико-механических свойств, углеродные модификаторы оказывают влияние на процессы резания, и закономерности этого влияния до сих пор изучены недостаточно. В данной статье продолжено исследование изменения вязкости водомасляной эмульсионной смазочно-охлаждающей жидкости от варьирования размера масляных капель, концентрации дисперсной фазы и введения твердофазных высокодисперсных модификаторов. Установлено, что уменьшение размера масляных капель, повышение концентрации дисперсной фазы и модифицирование водомасляной эмульсионной смазочно-охлаждающей жидкости высокодисперсными углеродными материалами приводят к увеличению вязкости.*

Ключевые слова: *вязкость, смазочно-охлаждающая жидкость, дисперсность, концентрация, модификатор, ультразвук.*

ENVIRONMENTALLY FRIENDLY PRODUCTS FOR CORROSION PROTECTION

Kirill Sergeev [1], ***Mihail Dechko*** [2]
[1] *Educational Institution "Belarusian State Agrarian Technical University", Minsk, Republic of Belarus*
[2] *JSC "LMZ Universal", Soligorsk, Republic of Belarus*
[1] *13nuke@mail.ru*
[2] *mdechko@rambler.ru*

Abstract. *One of the ways to increase processing productivity and ensure high quality of the treated surface is the correct choice and use of lubricants and coolants. The solution to the problems of increasing efficiency was implemented by choosing the compositions of lubricants and coolants, which were prepared based on fat-and-oil waste products. This will ensure a reduction in the environmental burden on the environmental system. Also, the greatest attention has recently been paid to evaluating the*

effect of lubricants modified with carbon materials, in particular, carbon nanotubes and graphite. Due to the particular features of their physical and mechanical properties, carbon modifiers have an impact on cutting processes and rules of the impact have not been sufficiently studied so far. This article continues the study of changes in the viscosity of a water-oil emulsion coolant from varying the oil droplets size, the dispersed phase concentration and the introduction of solid-phase highly dispersed modifiers. It was found that reducing the size of oil droplets, increasing the concentration of the dispersed phase and modifying the water-oil emulsion coolant with highly dispersed carbon materials lead to an increase in viscosity.

Keywords: *viscosity, lubricant cooling liquid, dispersion, concentration, modifier, ultrasound*.

Для цитирования: Сергеев К.Л., Дечко М.М. Исследование изменения вязкости смазочно-охлаждающей жидкости в зависимости от размера масляных капель, концентрации дисперсной фазы и введения твердофазных высокодисперсных модификаторов // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023. Т. 64, № 4. С. 82-87. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-82-87.

For citation: Sergeev K., Dechko M. Joint effect of oil droplet size, dispersed phase concentration and solid-phase highly dispersed modifiers on the viscosity of the emulsion coolant // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023; 64(4): 82-87. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-82-87.

Введение. В результате проведенного литературного анализа было выявлено, что на вязкость существенно будет влиять размер масляных капель и частиц твердофазных высокодисперсных модификаторов. Закономерности данного влияния могут проявляться по-разному для различных видов эмульсий и вводимого материала [1]. Особый интерес представляет исследование влияния масляных капель и частиц твердофазных высокодисперсных модификаторов на вязкость водомасляных эмульсионных смазочно-охлаждающий жидкостей (СОЖ). Результаты ранее проведенных экспериментальных исследований подтверждают, что увеличение дисперсности и введение модификаторов в состав СОЖ вызывает повышение эффективности процесса резания металлов [2–3].

В рамках данной работы были продолжены исследования по совместному влиянию размера масляных капель, концентрации дисперсной фазы и введенных в состав водомасляной эмульсионной СОЖ высокодисперсных углеродных материалов на изменение вязкости. При использовании оборудования по ультразвуковому (УЗ) диспергированию целенаправленно варьировали размеры масляных капель и концентрацию дисперсной фазы эмульсии СОЖ. Использовавшаяся концентрация модификатора оставалась неизменной.

Научная новизна проведенного экспериментального исследования состоит в том, что впервые рассмотрено изменение влияния ранее отмеченных факторов СОЖ на вязкость по схеме полного факторного эксперимента при полном контроле температуры исследуемой технологической среды. В результате проведенных экспериментов можно в дальнейшем предугадывать процессы изменения не только реологических, но и трибологических свойств исследуемых СОЖ.

Материалы и методы. Объектом исследований была СОЖ, которая ранее использовалась в экспериментах по изучению влияния дисперсности СОЖ на эффективность МАО [2]. В качестве модификаторов СОЖ использовали порошок углеродного наноматериала в виде конгломератов углеродных нанотрубок (УНТ) (синтезирован в НПП «Перспективные исследования и технологии», Беларусь) и порошок технического графита (ТГ) марки ГК-2 [2].

На основе модификаторов готовили водные суспензии, которые подвергали механическому перемешиванию и ультразвуковому (УЗ) диспергированию (использованное оборудование – УЗ диспергатор погружного типа (производство БГУИР, Беларусь)), после чего вводили в них концентрат эмульсии и полученные таким образом смеси суспензии и эмульсии вновь подвергали УЗ диспергированию до достижения определенных размеров компонентов дисперсных фаз. Параллельно (с целью получения сравнительных данных) подвергали УЗ диспергированию водные эмульсии, не содержащие модификаторов. Компьютерный микроскоп (производство ЧНПУП «Спектравтоматкомплекс», Беларусь) и программа AutoScan Studio 3.0 (производство

ЗАО «Спектроскопические системы», Беларусь) были предназначены для получения изображений капель дисперсной фазы и изучения структурных особенностей исследуемой СОЖ.

Образцы СОЖ объемом 150 мл заливали в стеклянный стакан (внутренний диаметр 58 мм и высота 80 мм). УЗ обработку осуществляли при частоте 22 кГц и выходной мощности генератора 40 Вт. Вязкость эмульсии СОЖ измеряли с помощью вискозиметра капиллярного типа ВПЖ-2 по стандартной методике – путем установления времени истечения определённого объёма жидкости через капилляр вискозиметра под действием силы тяжести. На основании полученных экспериментальных данных определяли расчетным путем значение кинематической вязкости. Число измерений вязкости составило 15. Значение температуры эмульсии СОЖ составляло 25±0,2˚С, т.к. в течение всех экспериментов проводился замер каждого из образцов технологической среды термометром ТР-101.

В качестве факторов, влияющих на вязкость, для получения регрессионной зависимости выбраны твердофазные высокодисперсные модификаторы, концентрация дисперсной фазы и размер масляных капель (таблица 1).

Варьирование управляющих факторов выполнено по схеме полного факторного эксперимента. Всего было приготовлено 12 пар образцов СОЖ с различными размерами масляных капель, в каждой из них 8 пар содержали модификаторы УНТ ($СОЖ_{УНТ}$) и технического графита ($СОЖ_{ТГ}$) с размерами частиц приблизительно в 2 мкм, 4 оставшиеся пары были без модификаторов ($СОЖ_{о}$). Содержание модификатора в СОЖ составляло 0,1 масс. %.

Таблица 1 – Исследуемые факторы и уровни их варьирования

Фактор	Натуральные значения	Нормированные значения
Модификатор	порошок углеродного наноматериала УНТ	–1
	порошок технического графита ТГ	+1
	без добавки	0
Концентрация дисперсной фазы, $C_{СОЖ}$, г/л	10	– 1
	30	–0,046
	50	0,398
	100	+1
Размер масляных капель, $R_{ср}$, мкм	1	–1
	3	0
	5	+1

Результаты и их обсуждение. Статистическая обработка экспериментальных данных осуществлена в соответствии с пособиями [4–6]. Адекватное уравнение регрессии в нормированных координатах, полученное на их основе с учетом статистической значимости коэффициентов, имеет вид:

$$Y = 0,9688 + 0,1617X_2 - 0,0066X_3 - 0,0105X_1X_2 - 0,0043X_2X_3 + 0,0106X_1^2 +$$
$$+ 0,0599X_2^2 - 0,0195X_2^3 + 0,0101X_1X_2^3,$$

где $X_1 = 0$ для СОЖ без модификатора; $X_1 = –1$ для СОЖ с УНТ 0,1 масс. %; $X_1 = 1$ для СОЖ с ТГ 0,1 масс. %;

$$X_2 = \frac{C_{СОЖ} - 55}{45}$$ – концентрация дисперсной фазы СОЖ;

$$X_3 = \frac{R_{ср}}{2} - 1,5$$ – размер капель СОЖ.

Анализ коэффициентов регрессии показывает, что наиболее влияющим фактором является концентрация дисперсной фазы СОЖ. Причем эта зависимость существенно нелинейная и адекватно аппроксимируется полиномом 3-й степени, коэффициенты которого зависят от выбранного материала твердофазного высокодисперсного модификатора. Размер масляных капель в исследованном диапазоне – фактор, менее влияющий на вязкость эмульсии. Уменьшение размера масляных капель увеличивает вязкость в среднем на 3 %.

Для иллюстрации влияния управляющих факторов на вязкость построены графики изолиний уровней вязкости в координатах $C_{СОЖ}$-$R_{ср}$ для различных составов СОЖ (рисунок 1). Сравнение графиков для двух твердофазных высокодисперсных модификаторов (рисунок 1: а и б) показывает, что их влияние одинаково в диапазоне концентраций дисперсной фазы 40–100 г/л. В диапазоне концентраций дисперсной фазы 10–40 г/л вязкость СОЖ с ТГ модификатором немного превосходит остальные исследованные составы.

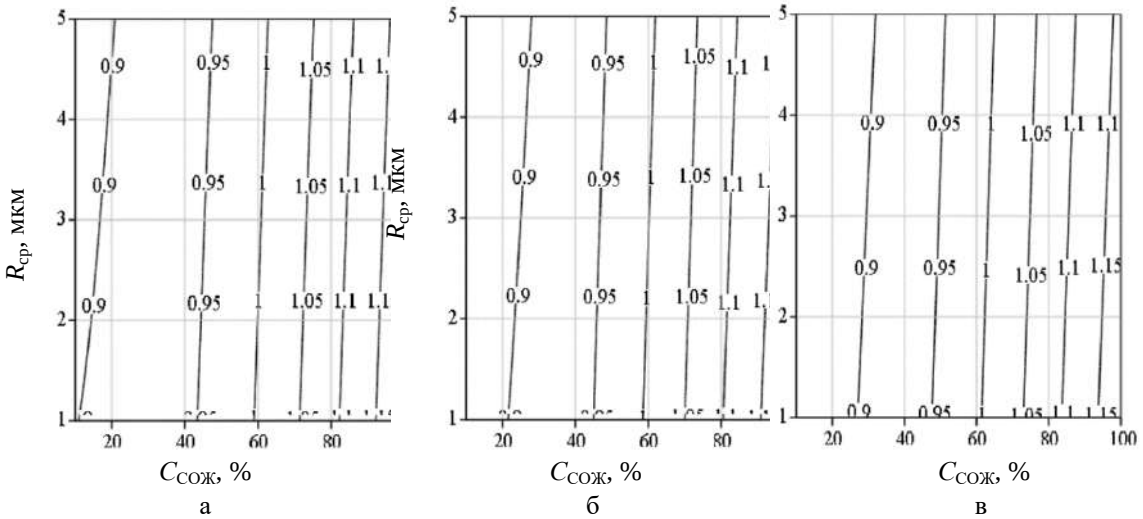


Рисунок 1 – Зависимость вязкости от управляющих факторов для СОЖ различного состава: *а* – СОЖ с ТГ; *б* – СОЖ с УНТ; *в* – СОЖ без модификатора

В связи с тем, что в результате анализа полученных зависимостей наиболее влияющим фактором является концентрация дисперсной фазы СОЖ, то нужно разобраться, как влияют и другие исследуемые факторы на качество обработанной поверхности с учетом увеличения вязкости.

Для начала нужно установить взаимосвязь между полученными результатами по вязкости и шероховатости, значения которой приведены в вышеуказанных работах [2, 3]. Для этого следует разобраться в самих действиях СОЖ. Разделить различные эффекты действий СОЖ весьма проблематично, так как в одних случаях они могут проявляться как и положительно, так и отрицательно в зависимости от наименования операции, режимов резания, от технологических особенностей обрабатываемого материала и т.д. На наш взгляд, главными действиями, которые могут связать полученные результаты по вязкости на будущем формировании качества обработанной поверхности является режущее для магнитно-абразивной обработки и смазывающее – для лезвийной обработки.

Так, в результате ранее проведенных исследований по магнитно-абразивной обработке было установлено, что применение водомасляной эмульсионной СОЖ с более высокой дисперсностью способствует уменьшению шероховатости поверхности. Это можно объяснить тем, что в механизме проникновения СОЖ на контактирующие поверхности главную роль играет не только концентрация дисперсной фазы, но и размер масляных капель. Чем меньше будут размеры капель масла, тем эффективнее будет осуществляться процессы проникновения дисперсной фазы в зону

контакта, а повышенная вязкость, зависящая от концентрации дисперсной фазы, способствует удержанию СОЖ на трущихся поверхностях.

В работе по лезвийной обработке было определено, что модифицирование СОЖ углеродными высокодисперсными материалами типа УНТ или ТГ вызывает дополнительное уменьшение шероховатости обрабатываемой поверхности по сравнению с использованием свежеприготовленной СОЖ, которую предварительно подвергали УЗ диспергированию. Можно предположить, что от повышения вязкости, зависящей от размера масляных капель и концентрации дисперсной фазы, увеличивается толщина смазочной пленки, что приводит к уменьшению коэффициента трения, что позволит снизить силы резания и, следовательно, повысить качество обработки. Введение в СОЖ высокодисперсных модификаторов также сокращает возможность контактирования трущихся поверхностей, воспринимая на себя большие контактные нагрузки в зоне обработки.

Заключение. Результаты проведенных исследований показывают, что вязкость водомасляных эмульсионных СОЖ наиболее существенно зависит от концентрации дисперсной фазы, размера масляных капель и введенных в состав водомасляной эмульсионной СОЖ твердофазных высокодисперсных модификаторов. Таким образом, изменяя размер масляных капель, материал модификатора и концентрацию дисперсной фазы, можно регулировать вязкость СОЖ в пределах ±17 % и, следовательно, изменять характер действия СОЖ на процесс резания.

Список источников

1. Сергеев К. Л. Влияние размера масляных капель дисперсной фазы и твердофазных высокодисперсных модификаторов на вязкость эмульсий «масло в воде» // Электронный журнал «Наука и образование». 2021. Том 4. № 4.

2. Толочко Н. К., Сергеев К. Л. Влияние дисперсности эмульсионной смазочно-охлаждающей жидкости на эффективность магнитно-абразивной обработки // Технология машиностроения. 2014. № 10. С. 31-35.

3. Толочко Н. К., Сергеев К. Л., Петрусик И. М. Влияние модифицирования СОЖ углеродными частицами на шероховатость обрабатываемой поверхности при лезвийной обработке // Техсервис-2021: материалы научно-технической конференции студентов и магистрантов. Минск. 2021. С. 30-31.

4. Монтгомери Д. К. Планирование эксперимента и анализ данных. Л. : Судостроение, 1980. 380 с.

5. Леонов А. Н., Дечко М. М., Ловкис В. Б. Основы научных исследований в примерах и задачах : учеб. пособие. Минск: БГАТУ, 2013. 133 с.

6. Леонов А. Н., Дечко М. М., Ловкис В. Б. Основы научных исследований и моделирования : учебн. пособие. Минск: БГАТУ, 2010. 276 с.

References

1. Sergeev K. L. Vliyanie razmera maslyanyh kapel' dispersnoj fazy i tverdofaznyh vysokodispersnyh modifikatorov na vyazkost' emul'sij «maslo v vode» // Elektronnyj zhurnal «Nauka i obrazovanie». 2021. Tom 4. № 4.

2. Tolochko N. K., Sergeev K. L. Vliyanie dispersnosti emul'sionnoj smazochno-ohlazhdayushchej zhidkosti na effektivnost' magnitno-abrazivnoj obrabotki // Tekhnologiya mashinostroeniya. 2014. № 10. S. 31-35.

3. Tolochko N. K., Sergeev K. L., Petrusik I. M. Vliyanie modificirovaniya SOZH uglerodnymi chasticami na sherohovatost' obrabatyvaemoj poverhnosti pri lezvijnoj obrabotke // Tekhservis-2021: materialy nauchno-tekhnicheskoj konferencii studentov i magistrantov. Minsk. 2021. S. 30-31.

4. Montgomeri D. K. Planirovanie eksperimenta i analiz dannyh. L.: Sudostroenie, 1980. 380 c.

5. Leonov A. N., Dechko M. M., Lovkis V. B. Osnovy nauchnyh issledovanij v primerah i zadachah: ucheb. posobie. Minsk: BGATU, 2013. 133 s.

6. Leonov A. N., Dechko M. M., Lovkis V. B. Osnovy nauchnyh issledovanij i modelirovaniya: uchebn. posobie. Minsk: BGATU, 2010. 276 s.

Информация об авторах
К.Л. Сергеев – старший преподаватель; М.М. Дечко – кандидат технических наук, доцент.
Information about the authors
K. Sergeev – Senior Lecturer; M. Dechko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 15.07.2023 Принята к публикации (Accepted): 17.08.2023

Тип статьи: научная
УДК 620.193.23
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-4-88-95

К ВОПРОСУ ПРОТЕКАНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА НАВОЗОУБОРОЧНОМ ОБОРУДОВАНИИ

Николай Петрович Аюгин [1], Денис Евгеньевич Молочников [2], Асгат Завдетович Мухитов[3], Александр Викторович Морозов [4], Сергей Александрович Яковлев [5]
[1,2,3,4,5] *Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, г. Ульяновск, Россия*
[1]nikall85g@yandex.ru, [2]denmol@yandex.ru, [3]surgeon-dep@ugsha.ru, [4]alvi.mor@mail.ru, [5]jakseal@mail.ru

Автор ответственный за переписку: Денис Евгеньевич Молочников, denmol@yandex.ru
Corresponding author: Denis Molochnikov, denmol@yandex.ru

Реферат. *Статья посвящена изучению скорости протекания коррозионных процессов стальных деталей в животноводческих и птицеводческих помещениях, в первую очередь навозоуборочного оборудования, которое эксплуатируется и взаимодействует с химически агрессивной средой. Рассмотрены вопросы потерь металла деталей, контактирующих с продуктами жизнедеятельности крупного рогатого скота, свиней и птицы. Установлено, что максимальная коррозионная активность продуктов жизнедеятельности сельскохозяйственных животных наблюдается при следующей влажности: помет кур – 70…72 %, экскременты свиней – 66…70 %, экскременты крупного рогатого скота – 70…74 %. Наиболее агрессивной средой является помет птиц, при этом за год скорость коррозии может достигать до 600 г/м^2, в экскрементах свиней – до 540 г/м^2, крупного рогатого скота – 440 г/м^2. При этом максимальная коррозия металла в помете кур наблюдается при влажности 71 %, экскрементах свиней – 68 %, экскрементах крупного рогатого скота – 72 %. Исследование влияния коррозионных процессов на увеличение крутящего момента при отворачивании резьбовых соединений навозоуборочного оборудования животноводческих и птицеводческих ферм показало, что окисление резьбовых соединений в продуктах жизнедеятельности животных в течение года приводит к увеличению крутящего момента на отворачивание в среднем 2,1 раза.*

Ключевые слова: *коррозия, животноводческое и птицеводческое оборудование, агрессивная среда, потеря массы металла, скорость коррозии, момент откручивания.*

ON THE ISSUE OF THE COURSE OF CORROSION PROCESSES ON MANURE HARVESTING EQUIPMENT

Nikolaj Ayugin [1], Denis Molochnikov [2], Asgat Muhitov [3], Aleksandr Morozov [4], Sergej Yakovlev [5]
[1,2,3,4,5] *Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Ulyanovsk, Russia*
[1]nikall85g@yandex.ru, [2]denmol@yandex.ru, [3]surgeon-dep@ugsha.ru, [4]alvi.mor@mail.ru, [5]jakseal@mail.ru

Abstract. *The article is devoted to the study of the rate of corrosion processes in steel parts in livestock and poultry buildings, primarily manure equipment, which is operated and interacts with a chemically aggressive environment. The issues of metal loss of parts in contact with the waste products of cattle, pigs and poultry are considered. It has been established that the maximum corrosive activity of the waste products of agricultural animals is observed at the following humidity: chicken droppings - 70 ... 72%, pig excrement - 66 ... 70%, cattle excrement - 70 ... 74%. The most aggressive environment is bird droppings, while during the year the corrosion rate can reach up to 600 g/m2, in pig excrement - up to 540 g/m2, cattle - 440 g/m2. At the same time, the maximum corrosion of metal in chicken droppings is*

observed at a moisture content of 71%, pig excrement - 68%, cattle excrement - 72%. The study of the effect of corrosion processes on the increase in torque when unscrewing the threaded joints of manure equipment of livestock and poultry farms showed that the oxidation of threaded joints in animal waste products during the year leads to an increase in the torque for unscrewing by an average of 2.1 times.

Keywords: *corrosion, livestock and poultry equipment, aggressive environment, loss of metal mass, corrosion rate, unscrewing moment.*

Для цитирования: Аюгин Н.П., Молочников Д.Е., Мухитов А.З., Морозов А.В., Яковлев С.А. К вопросу протекания коррозионных процессов на навозоуборочном оборудовании // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023. Т. 64, № 4. С. 88-95. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-88-95.

For citation: Ayugin N., Molochnikov D., Muhitov A., Morozov A., Yakovlev S. On the issue of the course of corrosion processes on manure harvesting equipment // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023; 64(4): 88-95. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-88-95.

Введение. Поскольку продовольствие является первичной потребностью человека, продовольственная безопасность страны является ключевой задачей государства [1]. Объемы потребления населением продуктов питания и их качественный состав является одним из основных показателей, характеризующих благополучие нации. Отрасль животноводства вносит существенный вклад в обеспечение продовольственной безопасности страны.

При этом отрасли растениеводства и животноводства имеют тесную взаимосвязь, поскольку растениеводческая продукция во многом производится на корм животным, а побочные продукты животноводства используются в качестве органических (экологически чистых) удобрений для сельскохозяйственных растений [2].

Наличие навозоуборочного оборудования является неотъемлемым элементом современных животноводческих и птицеводческих ферм. Микроклимат ферм способствует быстрому окислению металлических поверхностей, вследствие высокой влажности воздуха, наличия водяных паров, соединений аммиака и т.д. Кроме того, рабочие органы навозоуборочного оборудования постоянно контактируют с продуктами жизнедеятельности животных, которые способствуют активному протеканию коррозионных процессов [3].

Особенно остро коррозионные процессы на фермах протекают в холодное время года, поскольку с целью сохранения тепла в помещении содержания животных стараются утеплить, загерметизировать окна, двери, оставляя лишь ворота для входа людей и для заезда кормораздатчиков.

В самые холодные месяцы года для сохранения тепла используют рециркуляционные системы, так как на обогрев воздуха, поступающего в помещение, расходуется много энергетических ресурсов. В результате чего в помещении содержания животных наблюдается повышенная влажность, кроме того, при заезде и выезде кормораздатчика в помещение поступает холодный воздух, который конденсируется на всех поверхностях фермы [4], дополнительно влияя на влажность в животноводческих помещениях.

В теплое время года процессы коррозии протекают значительно в меньшей степени, поскольку помещения постоянно проветриваются и лишняя влага удаляется через вентиляционные окна.

Продукты жизнедеятельности животных в своем составе содержат коррозионно активные вещества, содержание которых обусловлено обменом веществ в организме животного [5]. Так, например, в продуктах жизнедеятельности крупного рогатого скота может содержаться 500…2800 мг/л сульфат ионов, свиней – 190…210 мг/л. Содержание солей магния в навозе крупного рогатого скота составляет порядка 840 мг/л и более, свиней – не более 480 мг/л, в помете птицы содержание солей магния совсем незначительное. Содержание ионов хлора в навозных стоках крупного рогатого скота может достигать достаточно значительных величин – до 6000 мг/л, свиней – до 340 мг/л, в помете птицы содержание данных веществ незначительное.

Как показывают данные таблицы 1, содержание минеральных солей: нитратов, фосфатов в продуктах жизнедеятельности крупного рогатого скота может достигать 29000 мг/л, свиней – до 9500 мг/л, птицы – 68000 мг/л. Следует отметить, что в помете птицы отсутствует хлориды и

сульфаты, а также летучие органические вещества, кетоны, серосодержащие органические вещества.

Серосодержащие органические вещества, которые представлены цистином, метионином, цистеином, в которых содержатся тиогруппы, легко переходят в дисульфиды. При распаде дисульфидов образуется серная кислота и ряд эфирсерных кислот, таких как индоксилсерная, фенилсерная и ряд летучих серосодержащих кислот. В составе мочи животных сера обуславливает кислую реакцию. В составе фекалий крупного рогатого скота содержится таурин, представленный солями серосодержащих бескислородных минеральных кислот. Механизм распара дисульфидов напрямую влияет на коррозионную активность продуктов жизнедеятельности животных на металлы.

Кроме вышеперечисленных элементов, продукты жизнедеятельности животных содержат вещества, входящие в группу аминного азота – мочевая кислота, пуриновые основания, аллантоин. Наибольшее содержание аминного азота в фекалиях птицы (может составлять до 60 %), когда как в фекалиях свиней и птицы незначительное содержание. Присутствие в навозных стоках органических аминов приводит к снижению поверхностного натяжения воды на границе раздела жидкость – металл, что усиливает смачиваемость металла. При этом существует зависимость, чем выше концентрация аминов в составе фекальных стоков, тем значительнее снижение величины поверхностного натяжения и сильнее смачиваемость фекальными стоками поверхности металла. Это усиливает взаимодействие между агрессивными компонентами навоза и крепежными элементами машин животноводческих и птицеводческих ферм.

Таблица 1 - Содержание кислот, минеральных и органических веществ в продуктах жизнедеятельности крупного рогатого скота, свиней и птицы

Вещества и их концентрация	Птицы	Свиньи	Крупный рогатый скот
Органические вещества, %			
мочевая кислота	57	1,8	7,3
гиппуриновая кислота	Минимальное значение	Отсутствует	15,0
глюкороновая кислота	Отсутствует	6,9	16,8
глютамин	12,3	5,0	23,0
бензойная кислота	150	5,0	3,0
Амины (пуриновые основания), % от общего азота	10	5,8	0,7
Минеральные соли, мг/л			
фосфаты, нитраты	До 68000	До 9500	До 29000
соли магния	Минимальные значения	150…480	800…880
сульфаты	Отсутствуют	190…210	500…820 (периодически увеличение до 2800)
хлориды	Минимальные значения	150…340	900…1500 (периодически превышают до 6000)
Летучие органические кислоты, кетоны, мг/л	Отсутствуют	3,9	Отсутствуют
Серосодержащие органические вещества, мг/л	Отсутствуют	1,4	150

Органические кислоты в составе продуктов жизнедеятельности животных также являются агрессивными компонентами по отношению к металлу. Химическое взаимодействие стальных деталей с органическими кислотами приводит к образованию соответствующих солей, хорошо растворимых в воде.

Содержание влаги существенно влияет на протекание коррозионных процессов. С увеличением влажности продуктов жизнедеятельности животных увеличивается степень их диссоциации и электрохимически активная площадь металла, находящегося в них. При этом происходит более интенсивная диффузия, что ведет к увеличению скорости коррозии. При чрезмерном повышении влажности происходит некоторое замедление скорости коррозии вследствие уменьшения притока кислорода воздуха к поверхности металла.

На навозоуборочном оборудовании в животноводческих и птицеводческих помещений есть детали из углеродистой стали Ст3, в том числе крепежные, исследование коррозионных процессов на деталях из стали Ст3, в том числе крепежных, в экскриментах животных актуально. В данной работе определяли наиболее агрессивные экскременты животных по отношению к стали Ст3 и изучали крутящие моменты резьбовых соединений до и после экспозиции в экскриментах животных.

Материалы и методы. Для изучения процесса корродирования стальных поверхностей под воздействием экскрементов сельскохозяйственных животных были изготовлены пластины из стали Ст3 толщиной 3 мм, а также подготовлены крепежные элементы, включающие шайбы, болты и гайки М10, материал которых также Ст3.

а б

Рисунок 1 – Крепежные элементы до (а) и после испытаний (б)

Рисунок 2 – Фото размещения пластин с крепежными элементами на рабочих органах транспортеров для удаления навоза

Для изучения влияния влажности на коррозионные процессы стали в экскрементах животных с целью поддержания постоянной влажности от 50 до 90% первая часть пластин была помещена в герметичные емкости. Продолжительность выдержки составляла 1 год. Вторая часть пластин

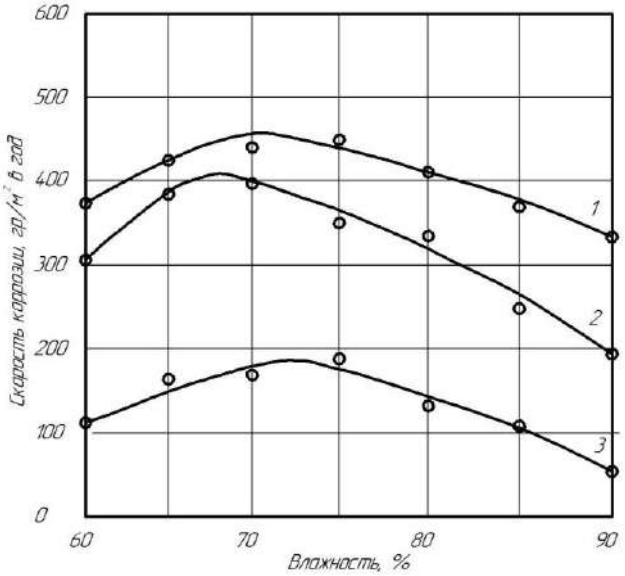
вместе с крепежными элементами, затянутыми динамометрическим ключом с крутящим моментом равным 20 Н·м, была размещена на рабочих органах транспортеров для удаления навоза на учебной ферме КРС ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ (рисунок 2). Образцы ежемесячно извлекались для оценки потери металла за счет коррозии, а также изменения крутящего момента на отворачивание. Влажность экскрементов была «естественная», учитывалось только время контакта пластин с экскрементами.

Результаты и их обсуждение. На рисунке 3 представлена зависимость скорости коррозии металла Ст3 от влажности продуктов жизнедеятельности различных животных.

Данные, представленные на рисунке 2, свидетельствуют, что наименьшая скорость коррозии металла при помещении его в продукты жизнедеятельности сельскохозяйственных животных характерна для экскрементов крупного рогатого скота (до 190 г/м^2 в год), для экскрементов свиней и птицы характерна более высокая интенсивность коррозионных процессов (до 310 г/м^2 и 460 г/м^2 в год).

Максимальная коррозионная активность продуктов жизнедеятельности сельскохозяйственных животных наблюдается при следующей влажности: помет кур – 70…72 %, экскременты свиней – 66…70 %, экскременты крупного рогатого скота – 70…74 %.

Из-за особенностей фракционного состава продуктов жизнедеятельности сельскохозяйственных животных, наличия в них непереваренных растительных остатков и влажности касание экскрементов с металлической поверхностью происходит не по всей площади, а в отдельных точках касания. При недостатке влаги протекание коррозионного процесса возможно только в местах контакта с влажными частицами экскрементов, площадь коррозионных поражений уменьшается, но наблюдается проникновение коррозии вглубь металла.



1- помет кур; 2 – экскременты свиней; 3- экскременты крупного рогатого скота
Рисунок 3 – Зависимость скорости коррозии металла Ст3 от влажности

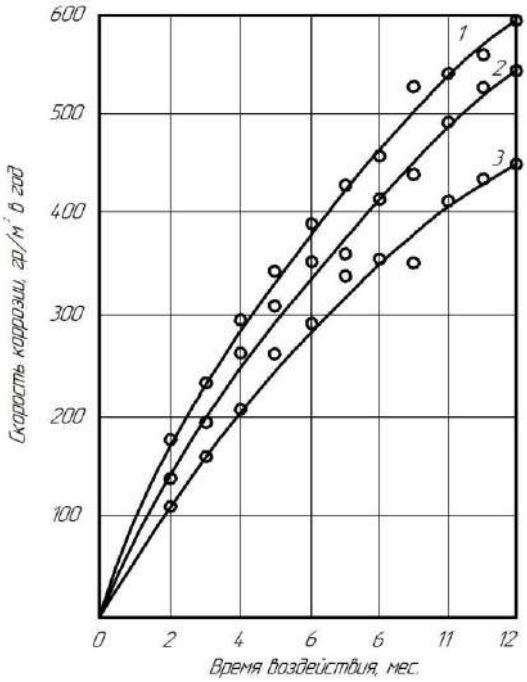
Это вызвано тем, что содержащиеся в жидкой фазе ионы вызывают разрушение имеющейся на металле первоначальной оксидной пленки, главным образом в местах тесного контакта металла с частицами экскрементов. В тех местах поверхности металла, где контакт менее тесный, эта пленка почти целиком сохраняется неповрежденной. Создаются условия, когда значительный участок поверхности металла не защищен пленкой (тесный контакт), а другой участок остается покрытым ею (рисунок 4). Первоначальное распределение площадей, покрытых и непокрытых пленкой участков сохраняется при дальнейшем протекании коррозионного процесса. Коррозия на участках контакта при этом будет проникать вглубь металла, образуя глубокие питтинги.

Рисунок 4 – Коррозионные повреждения металла

Поскольку в условиях животноводческих предприятий рабочие органы навозоуборочных машин постоянно контактируют со свежими порциями продуктов жизнедеятельности животных, во втором эксперименте металлические пластины были закреплены на рабочих органах навозоуборочных транспортеров, а результаты по потере массы представлены на рисунке 5.

Анализируя данные, представленные на рисунке 5, следует отметить, что при закреплении стальных пластин на ленте навозоуборочного транспортера скорость коррозионных процессов возросла в несколько раз, по сравнению со скоростью коррозии пластин, находящихся в герметичных емкостях при различных значениях влажности (рисунок 3): для экскрементов крупного рогатого скота в 2,3 раза; свиней – 1,8 раза; птицы – 1,3 раза.

Как показали результаты эксперимента наибольшая коррозионная активность продуктов жизнедеятельности животных проявляется на границе раздела фаз в условиях периодического смачивания.

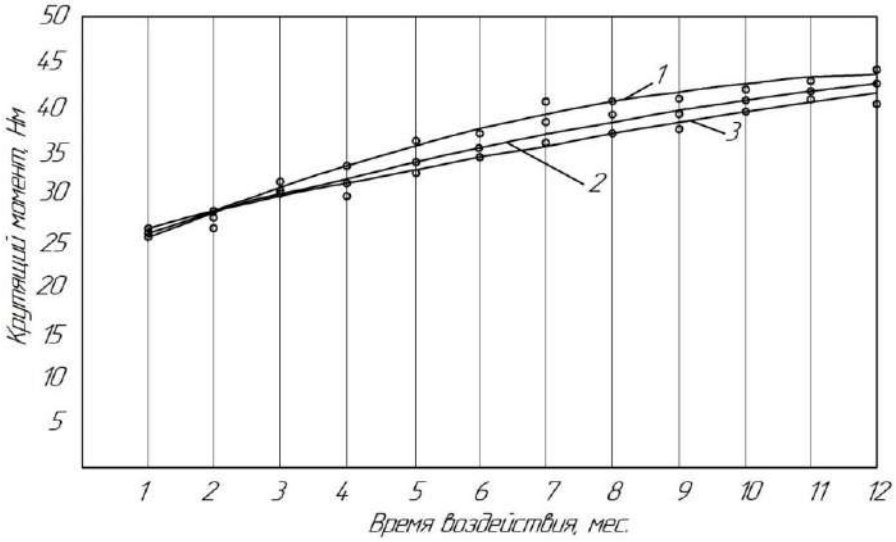


1- помет кур; 2 – экскременты свиней; 3- экскременты крупного рогатого скота

Рисунок 5 - Зависимость коррозии стали Ст3 от времени воздействия продуктов жизнедеятельности животных (при закреплении на навозоуборочных транспортерах)

Результаты исследований по изучению изменения крутящего момента на отворачивание крепежных элементов, под действием агрессивной среды продуктов жизнедеятельности сельскохозяйственных животных, представлены в виде графика на рисунке 6.

Результаты эксперимента свидетельствуют, что за год нахождения в агрессивной среде экскрементов животных происходит увеличение крутящего момента на отворачивания в 2…2,2 раза.



1- помет кур; 2 – экскременты свиней; 3- экскременты крупного рогатого скота

Рисунок 6 - Зависимость крутящего момента отворачивания гайки от продолжительности ее нахождения в продуктах жизнедеятельности сельскохозяйственных животных

Продукты жизнедеятельности сельскохозяйственных животных являются весьма агрессивной средой для металлических деталей навозоуборочной техники, что объясняется содержанием в них солей и органических кислот. Коррозионные процессы, протекающие на поверхности стальных деталей, приводят как к потере металла, так и к увеличению крутящего момента на отворачивание данных соединений из-за проникновения в зазор между гайкой и болтом под действием капиллярных сил влаги с образованием пленок. В этой пленке постепенно растворяются такие компоненты воздуха, как углекислый газ, оксиды серы и азота, в результате чего образуются слабые серная и азотная кислоты. Также экскременты в своем составе также содержат мочевую, гиппуриновую, глюкороновую и бензойную кислоты, что в конечном итоге только интенсифицирует процесс коррозии металла, также не следует забывать о минеральных солях, содержащихся в продуктах жизнедеятельности животных.

Выводы. Результаты исследования влияния продуктов жизнедеятельности животных на коррозию металла свидетельствуют, что в связи с различным содержанием кислот, минеральных и органических веществ в продуктах жизнедеятельности сельскохозяйственных животных, наиболее агрессивной средой является помет птиц, при этом за год может происходить снижение массы металла на 600 г/м^2, в экскрементах свиней – до 540 г/м^2, крупного рогатого скота – 440 г/м^2. При этом максимальная коррозия металла в помете кур наблюдается при влажности 71 %, экскрементах свиней – 68 %, экскрементах крупного рогатого скота – 72 %.

Окисление резьбовых соединений в продуктах жизнедеятельности животных в течение года приводит к увеличению крутящего момента на отворачивание в среднем 2,1 раза.

Список источников

1. Павлов, В. С. Моделирование и исследование процесса коррозии стали ст.3 и цинка в водной среде животноводческих и птицеводческих помещений / В. С. Павлов, А. Г. Смирнов, И. А. Павлов // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 3(6). – С. 97-102.

2. Пек, Л. Защита от коррозии оборудования животноводческих ферм методом цинкования / Л. Пек // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский ГАУ". – 2009. – № 3(34). – С. 50-51.

3. Лоскутова, Е. В. Виды коррозии оборудования и сооружений объектов животноводства / Е. В. Лоскутова // Инновационные тенденции развития российской науки : материалы X

Международной научно-практической конференция молодых ученых, посвященной Году экологии и 65-летию Красноярского ГАУ, Красноярск, 22–23 марта 2017 года. Том Часть I. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2017. – С. 164-166.

4. О проблемах защиты от атмосферной коррозии техники и оборудования в АПК / Л. Г. Князева, А. В. Дорохов, Н. А. Курьято, В. В. Сафонов // Научная жизнь. – 2021. – Т. 16, № 8(120). – С. 1106-1117. – DOI 10.35679/1991-9476-2021-16-8-1106-1117.

5. Козлов, А. А. Методы коррозионных исследований / А. А. Козлов, Д. Е. Молочников, Х. Карадаг // Инновационное развитие АПК: проблемы и перспективы кадрового обеспечения отрасли и внедрения достижений аграрной науки: Материалы Международной научно-практической конференции, Махачкала, 30 сентября 2021 года. – Махачкала: Дагестанский институт повышения квалификации кадров АПК, Дагестанский государственный аграрный университет им. М.М. Джамбулатова, 2021. – С. 232-237.

References

1. Pavlov, V. S. Modeling and investigation of the corrosion process of steel st.3 and zinc in the aquatic environment of livestock and poultry premises / V. S. Pavlov, A. G. Smirnov, I. A. Pavlov // Bulletin of the Chuvash State Agricultural Academy. – 2018. – № 3(6). – Pp. 97-102.

2. Peck, L. Corrosion protection of livestock farm equipment by galvanizing / L. Peck // Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State Agrarian University". – 2009. – № 3(34). – Pp. 50-51.

3. Loskutova, E. V. Types of corrosion of equipment and structures of livestock facilities / E. V. Loskutova // Innovative trends in the development of Russian science : Materials of the X International Scientific and Practical Conference of Young Scientists dedicated to the Year of Ecology and the 65th anniversary of the Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, March 22-23, 2017. Volume Part I. – Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University, 2017. – pp. 164-166.

4. On the problems of protection from atmospheric corrosion of machinery and equipment in the agro-industrial complex / L. G. Knyazeva, A.V. Dorokhov, N. A. Kuryato, V. V. Safonov // Scientific life. – 2021. – Vol. 16, No. 8(120). – pp. 1106-1117. – DOI 10.35679/1991-9476-2021-16-8-1106-1117.

5. Kozlov, A. A. Methods of corrosion research / A. A. Kozlov, D. E. Molochnikov, H. Karadag // Innovative development of the agro-industrial complex: problems and prospects of staffing the industry and the introduction of achievements of agricultural science : Materials of the International Scientific and Practical Conference, Makhachkala, September 30, 2021. – Makhachkala: Dagestan Institute of Advanced Training of Agricultural Personnel, Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov, 2021. – pp. 232-237.

Информация об авторах

Н.П. Аюгин - кандидат технических наук, доцент, Д.Е. Молочников - кандидат технических наук, доцент, А.З. Мухитов - кандидат технических наук, доцент, А.В. Морозов - доктор технических наук, доцент, С.А. Яковлев - кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors

N.P. Ayugin - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, D.E. Molochnikov - Candidate of Technical Sciences, associate Professor, A.Z. Mukhitov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, A.V. Morozov - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, S.A. Yakovlev - Candidate of Technical Sciences, associate Professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 14.07.2023 Принята к публикации (Accepted): 22.08.2023

Тип статьи: научная
УДК 662.75
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-4-96-106

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМОВ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ МОТОРНОГО ТОПЛИВА

Юлия Владимировна Мещерякова [1], Игорь Вячеславович Бусин [2], Станислав Александрович Нагорнов [3], Александр Викторович Щегольков [4]
[1,2,3] *Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия,*
[1]yulya-belova@yandex.ru, [2]igorek19883108@mail.ru, [3]snagornov@yandex.ru,
[4] *Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия,*
[4]energynano@yandex.ru

Автор, ответственный за переписку: Юлия Владимировна Мещерякова, yulya-belova@yandex.ru
Corresponding author: Yulia Meshcheryakova, yulya-belova@yandex.ru

Реферат. *В статье рассмотрен пример ультразвуковой кавитации, создаваемой пьезоэлектрическим излучателем. Для выявления режимов ультразвуковой кавитационной обработки использовали лабораторную установку Qsonica sonicators Q-700. Целью работы является определение режимов ультразвуковой обработки моторного топлива для создания кавитационной области. Определение областей кавитации осуществляли по площади разрушения образцов алюминиевой фольги, толщиной 0,008-0,009 мм. Лист алюминиевой фольги помещали в исследуемую среду параллельно и перпендикулярно наконечнику на различном расстоянии h, l. С целью выявления интенсивности возникающей кавитации осуществлялось выделение кавитационного шума из сигнала первичного измерительного преобразователя на основе наномодифицированного эластомера погруженного в моторное топливо на различном расстоянии от излучателя и подключенного к мультиметру UNI-T UT61E+. Интенсивность кавитации оценивалась по изменению сопротивления среды, R. Для обработки использовали следующие виды моторного топлива: дизельное товарное топливо, биодизельное топливо на основе масла рыжика, смесевое дизельное топливо (содержащее 20% биодизельного). После исследования, фольгу высушивали и определяли площадь разрушения. Установлено, что на создание кавитации влияют следующие параметры – расстояние от излучающей поверхности, интенсивность, амплитуда и время ультразвуковой обработки Sраз.ф= f (l, h, I, A, t). Определены четыре области кавитации: область активной или оптимальной кавитации, область начала кавитации, область зарождающейся кавитации, область отсутствия кавитации. В зависимости от амплитуды и интенсивности выделены 6 режимов работы. Установлено, что обработку используемого моторного топлива следует проводить на 3 кавитационном режиме работы (A=21-40%, I=12,5-24,8 Вт/см^2) лабораторной установки в используемом технологическом объеме или в более крупных объемах с отражающими поверхностями. Установлено, что кавитационный шум в биодизельном топливе ниже, чем в дизельном топливе, так как оно более вязкое. В вязких жидкостях кавитация менее развита и, следовательно, для них коэффициент поглощения ультразвука ниже. В связи с этим под среды с более высокой вязкостью необходимо проектировать аппараты исходя из оптимального расстояния от излучателя до дна.*

Ключевые слова: *ультразвук, кавитация, моторное топливо, амплитуда, площадь разрушения, сопротивление, режимы, области кавитации.*

DETERMINATION OF ULTRASONIC CAVITATION TREATMENT MODES MOTOR FUEL

Yulia Meshcheryakova [1], Igor Busin [2], Stanislav Nagornov [3], Alexander Shchegolkov [4]

[1,2,3] *All-russian research institute for use of machinery and petroleum products in agriculture Tambov, Russia,*
[1]yulya-belova@yandex.ru, [2]igorek19883108@mail.ru, [3]snagornov@yandex.ru,
[4] *Tambov State Technical University, Tambov, Russia,*
[4]energynano@yandex.ru

Abstract. *The article considers an example of ultrasonic cavitation created by a piezoelectric emitter. To identify the modes of ultrasonic cavitation treatment, the Qsonica sonicators Q-700 laboratory unit was used. The aim of the work is to determine the modes of ultrasonic treatment of motor fuel to create a cavitation region. Cavitation areas were determined by the area of destruction of aluminum foil samples, 0.008-0.009 mm thick. A sheet of aluminum foil was placed in the test medium parallel and perpendicular to the tip at different distances h, l. In order to identify the intensity of the resulting cavitation, cavitation noise was isolated from the signal of a hydrophone immersed in motor fuel at different distances from the radiator and connected to a multimeter model UT61E. The intensity of cavitation was estimated by the change in the resistance of the medium, R. The following types of motor fuel were used for processing: commercial diesel fuel, biodiesel based on ginger oil, mixed diesel fuel (containing 20% biodiesel). After the study, the foil was dried and the area of destruction was determined. It has been established that the following parameters influence the creation of cavitation – the distance from the radiating surface, intensity, amplitude and time of ultrasonic treatment of the sample.f= f (l, h, I, A, t). Four cavitation areas are defined: the area of active or optimal cavitation, the area of the beginning of cavitation, the area of incipient cavitation, the area of absence of cavitation. Depending on the amplitude and intensity, 6 operating modes are highlighted. It is established that the processing of the used motor fuel should be carried out on the 3 cavitation mode of operation (A =21-40%, I= 12.5-24.8 W / cm2) of the laboratory installation in the used technological volume or in larger volumes with reflective surfaces. It has been found that the cavitation noise in biodiesel is lower than in diesel fuel, since it is more viscous. In viscous liquids, cavitation is less developed and, consequently, the ultrasound absorption coefficient is lower for them. In this regard, it is necessary to design devices for media with a higher viscosity based on the optimal distance from the radiator to the bottom.*

Keywords: *ultrasound, cavitation, motor fuel, amplitude, fracture area, resistance, modes, cavitation areas.*

Для цитирования: Мещерякова Ю.В., Бусин И.В., Нагорнов С.А., Щегольков А.В. Определение режимов ультразвуковой кавитационной обработки моторного топлива // Наука в Центральной России. 2023. Т. 64, № 4. С. 96-106. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-96-106.

For citation: Meshcheryakova Y, Busin I., Nagornov S., Shchegolkov A. Determination of ultrasonic cavitation treatment modes motor fuel. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 64(4): 96-106. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-96-106.

Введение. Одно из перспективных направлений развития сельскохозяйственного производства является обеспечение в достаточном количестве и требуемого качества смесевого моторного топлива для современной автотракторной техники, существующие методы производства которого неизбежно требуют дальнейшего совершенствования технологического процесса и разработки прогрессивного энергоэффективного аппаратурного оформления. К наиболее востребованным относятся мобильные установки для получения смесевого моторного топлива, снабженные блоком для получения биодизельного топлива. В ранее разработанной мобильной установке [1] в основе технологии получения биотоплива использован эффект Ранка-Хилша, который требует применения компрессора с устройством очистки воздуха. Этот метод по ряду причин не всегда является удобным для эксплуатации разработанной мобильной установки в условиях ряда сельскохозяйственных предприятий, в частности, в ней отсутствует блок улучшения качества моторного топлива за счет деструкции тяжелых углеводородов.

На протяжении многих лет отечественные и зарубежные ученые свое внимание уделяют термодинамически неравновесному пузырьковому состоянию жидкой среды (краеугольным камнем которой является кавитация), поскольку термодинамическая неравновесность одной из

фаз обуславливает протекание интенсивных процессов массообмена и возникновение полей давления высокой интенсивности, что может являться основой для создания новых технологических процессов [2]. В этом направлении наиболее успешно зарекомендовали себя модульные смесители [3], в которых заложено многофакторное воздействие на обрабатываемую жидкую среду, среди которых первостепенная роль отводится кавитации [4], обуславливающее требуемое изменение фракционного состава и физико-химических свойств обрабатываемого топлива.

Применение кавитационной ультразвуковой обработки позволяет интенсифицировать и усовершенствовать технологические процессы в различных отраслях, а также повысить их эффективность и надежность. Как правило, явление кавитации связывают с износом и эрозией на грибных винтах судов и различного рода насосов [5] в системах водоснабжения и отопления. Однако, кавитация способна приводить к разрывам химических связей, увеличению поверхностей и скоростей взаимодействия, ускорению процессов массо- и теплопереноса. На сегодняшний день ультразвуковая воздействие используется для обработки различных по свойствам материалов, для обработки различных по агрегатному состоянию веществ, для воздействия на биологические ткани и многое другое [6-10].

Все процессы, которые реализуются с ультразвуком, носят экстремальный характер и всегда при их реализации необходима его оптимизация. Колебания высокой интенсивности, а также кавитация по определению призваны изменять структуру и свойства материала и веществ. Характер этих изменений свидетельствует, что реализация исследуемых процессов возможна при определенных режимах воздействия. При реализации ультразвукового воздействия необходимо контролировать частоту, интенсивность, амплитуду колебаний, давление, а также регулировать конструктивные параметры - размеры обрабатываемого объема, размеры ультразвукового колебательного элемента и их расположение, чтобы получить оптимальные результаты.

В связи с этим существует необходимость в обосновании режимов ультразвукового воздействия в устройствах, необходимых для создания оптимальной кавитационной области в моторном топливе. Целью данной работы является определение режимов ультразвуковой обработки моторного топлива для создания кавитационной области.

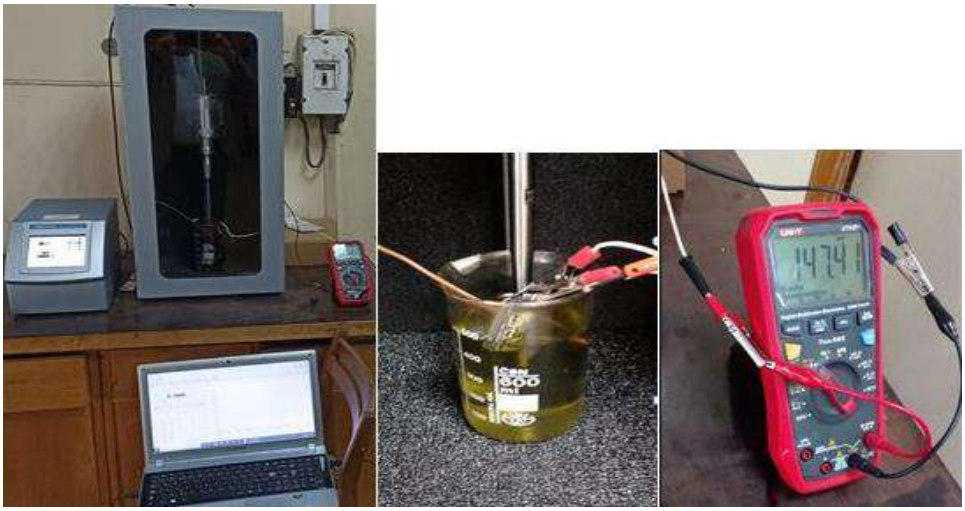
Материалы и методы. Для выявления режимов обработки и областей кавитации использовали лабораторную установку Qsonica sonicators Q700 (рисунок 1а). Ультразвуковой электронный генератор преобразует сетевое питание переменного тока в сигнал частотой 20 кГц, который приводит в действие пьезоэлектрический преобразователь. Этот электрический сигнал преобразуется преобразователем в механическую вибрацию. Вибрация усиливается и передается по длине зонда, где наконечник продольно расширяется и сжимается. Расстояние, на которое перемещается наконечник, зависит от амплитуды. В топливе вибрация наконечника вызывает кавитацию, образование и сильное сжатие микроскопических пузырьков.

Ультразвуковой аппарат позволяет запрограммировать определенный режим обработки, исследуемого топлива. Для этого с помощью сенсорного экрана устанавливается амплитуда ультразвука, время обработки и время отдыха. В случае возникновения неисправности устройство оснащено схемой обнаружения неисправностей для отключения обработки ультразвуком.

С целью выявления интенсивности возникающей кавитации осуществлялось выделение кавитационного шума из сигнала первичного измерительного преобразователя на основе наномодифицированного эластомера [11] погруженного в моторное топливо на различном расстоянии от излучателя (рисунок 1 б) и подключенного к мультиметру *UNI-T UT61E+* (рисунок 1 с). Интенсивность кавитации оценивалась по изменению сопротивления среды, R.

Для обработки использовали следующие виды моторного топлива: дизельное товарное топливо, биодизельное топливо на основе масла рыжика, смесевое дизельное топливо (содержащее 20% биодизельного).

Определение областей кавитации осуществляли по площади разрушения образцов алюминиевой фольги, толщиной 0,008-0,009 мм. Лист алюминиевой фольги помещали в исследуемое топливо параллельно и перпендикулярно наконечнику на различном расстоянии *h, l*. После исследования, фольгу высушивали и определяли площадь разрушения.



а б с

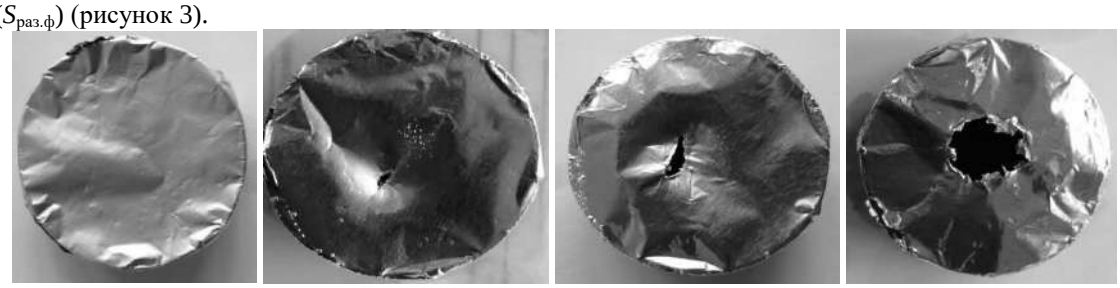
Рисунок 1 – Лабораторная установка для ультразвуковой обработки топлива

Результаты и их обсуждение. На рисунке 2 показана общая схема ультразвуковой кавитационной обработки моторного топлива.

h, l – расстояние от излучающей поверхности до отражающей стенки, м; *d* – диаметр наконечника, м.

Рисунок 2 – Общая схема и фото ультразвуковой кавитационной обработки топлива

В зависимости от изменения расстояния (*h, l*) интенсивности ультразвука (*I*), амплитуды (*A*) и времени обработки топлива (*t*) оценивали площадь разрушенной области алюминиевой фольги ($S_{раз.ф}$) (рисунок 3).



а) расположение фольги перпендикулярно излучающей поверхности на расстоянии *h*

б) расположение фольги параллельно излучающей поверхности на расстоянии *l*

Рисунок 3 – Фото тестовых разрушенных образцов фольги

На рисунках 4 – 6 представлено влияние параметров ультразвуковой обработки на площадь разрушения фольги.

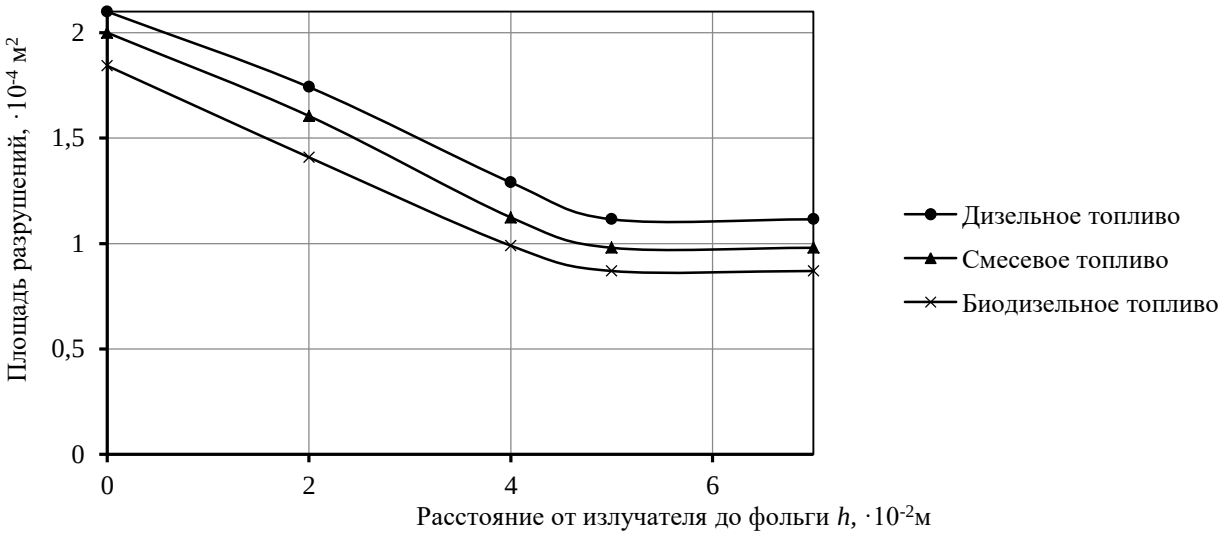


Рисунок 4 – Динамика изменения площади разрушения от расстояния от излучателя до фольги

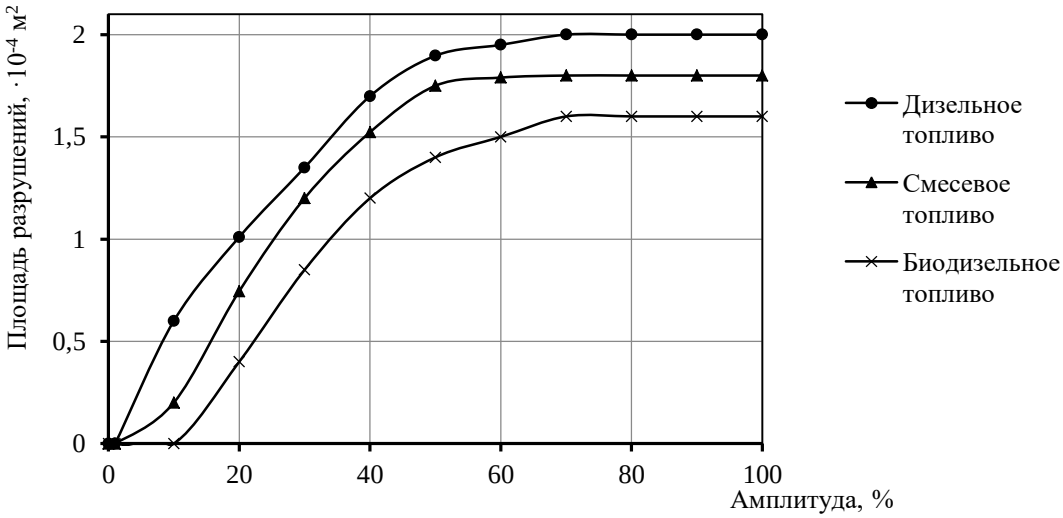


Рисунок 5 – Динамика изменения площади разрушения от амплитуды ультразвуковой обработки

Значительное влияние на разрушение листа фольги оказывает интенсивность, амплитуда и расстояние. С течением времени обработки площадь разрушения увеличивается, но при этом растет температура обрабатываемого топлива. За критерий оптимальной кавитации выбрано разрушение листа алюминиевой фольги площадью более 1,13 см2, более диаметра наконечника. Дальнейшее увеличение расстояния от излучающей поверхности не приводит к заметным разрушениям фольги.

Установлено, что чем ближе к излучателю и чем выше интенсивность или амплитуда ультразвуковой обработки, тем большая часть листа подвергается разрушению, тем активнее кавитационная область. Следовательно, в обрабатываемом топливе можно выделить различные области кавитации, что подтверждается и визуальным наблюдением. Пузырьки топлива образуются на некотором расстоянии от излучателя, поднимаются на поверхность и схлопываются.

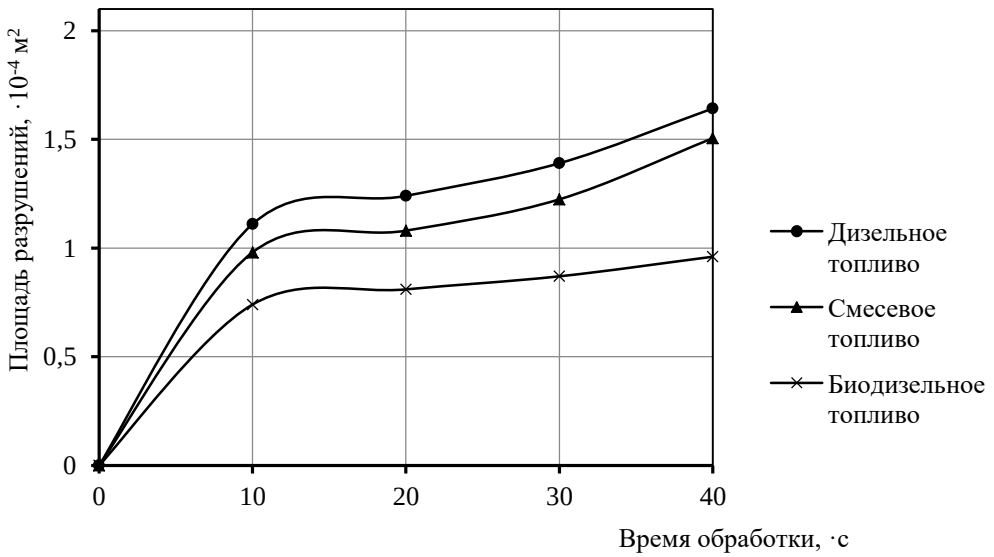


Рисунок 6 – Динамика изменения площади разрушения от времени ультразвуковой обработки

Таким образом, по мере удаления от излучателя при А=100% выделено несколько областей кавитации (рисунок 7): 1 – область активной или оптимальной кавитации, характеризуется активным схлопыванием пузырьков с максимальными амплитудами (для данного технологического объема $h_1=2\cdot10^{-2}$м); 2 – область начала кавитации, характеризуется появлением небольшого количества пузырьков и их схлопыванием, $h_2=4\cdot10^{-2}$м; 3 – область зарождающейся кавитации, начало образования пузырьков $h_3=6\cdot10^{-2}$м; 4 – область отсутствия кавитации, характеризуется отсутствием пузырьков $h>6\cdot10^{-2}$м. С уменьшением амплитуды или интенсивности обработки размер кавитационных областей может изменяться. На рисунке 7 представлено схематичное расположение кавитационных областей в обрабатываемом объеме. В соответствии с изменением амплитуды в таблице выделены следующие режимы обработки.

Таблица 1 – Режимы обработки моторного топлива

Режимы	1 режим	2 режим	3 режим	4 режим	5 режим	6 режим
	докавитационный	кавитационный				
А, %	1-10	11-20	21-40	41-60	61-80	81-100
I, Вт/см^2	0,62-6,2	6,3-12,4	12,5-24,8	24,9-37,2	37,3-49,6	49,7-62
Области	4		1 – 4			

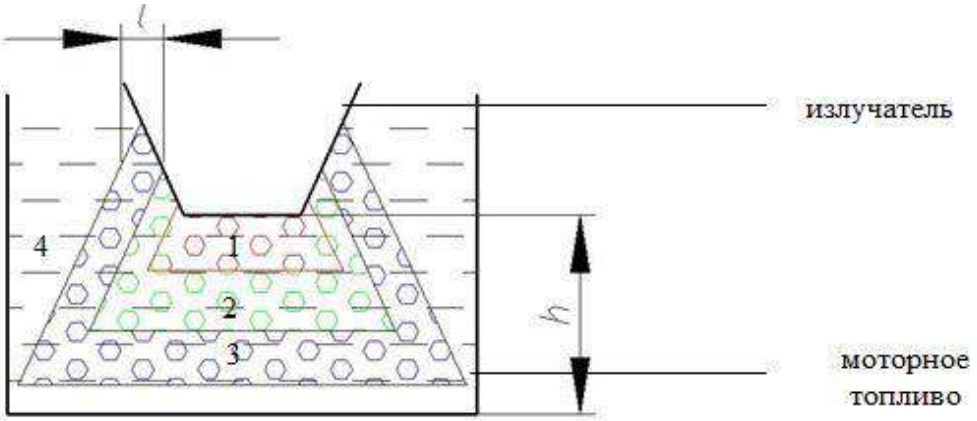


Рисунок 7 – Схематичное распределение кавитационных областей

На рисунке 8 представлено изменение кавитационного шума при обработке биодизельного топлива на различных режимах.

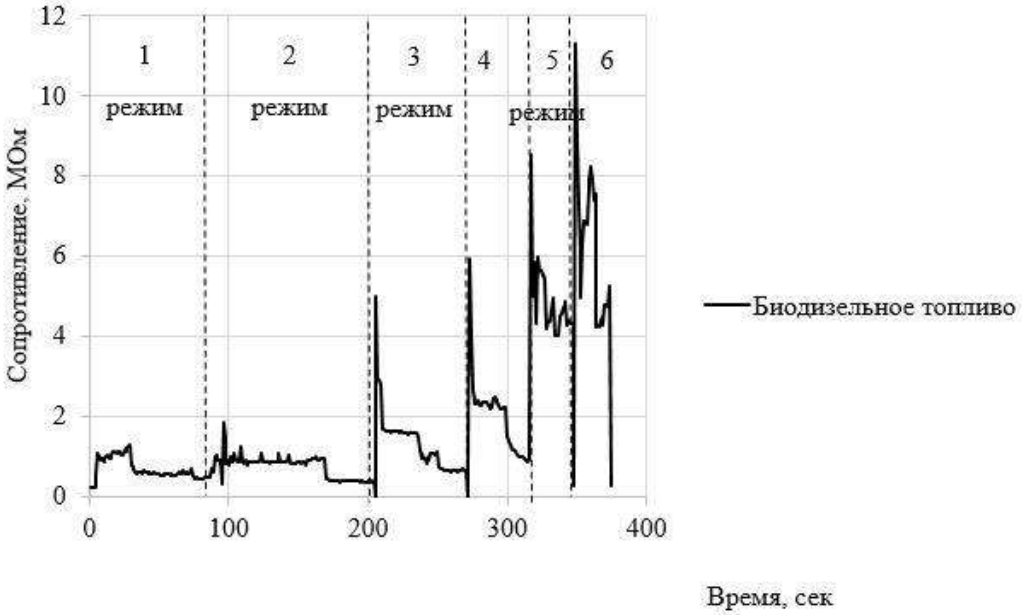


Рисунок 8 – Изменение сопротивления кавитационного шума биодизельного топлива

С увеличением амплитуды и интенсивности обработки наблюдается увеличение кавитационного шума. Для каждого режима характерно появление максимального пика. Также режимы не одинаковы по времени, так как скорость нагрева топлива разная.

По мере приближения излучателя к гидрофону кавитационный шум увеличивается и, наоборот, при его удалении шум снижается. Так на графике 9 показаны эти изменения для биодизельного топлива, а на графике 10 для разных видов топлив.

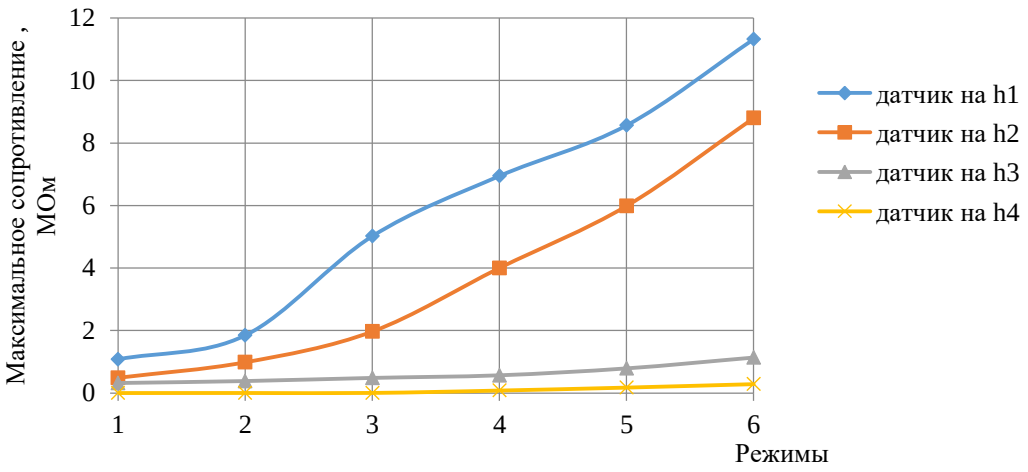


Рисунок 9 – Изменение сопротивления кавитационного шума биодизельного топлива

С увеличением расстояния *h* уменьшается кавитационный шум, следовательно, осуществлять кавитационную обработку топлива в больших технологических объемах затруднительно. Для вязких жидкостей необходимо проектировать аппараты с оптимальным расстоянием от излучателя до дна. Так же для решения этой проблемы предложено дополнительно использовать отражающие поверхности (рисунок 11).

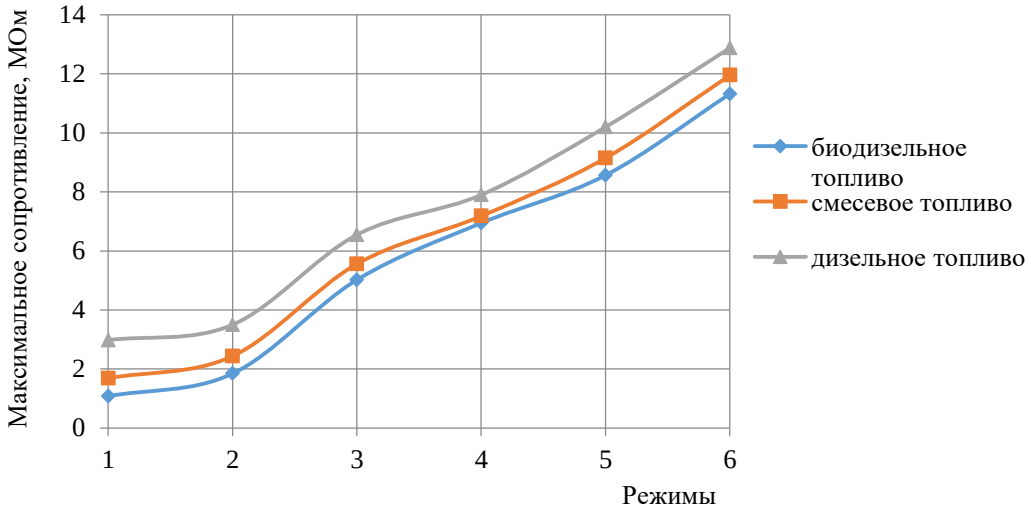


Рисунок 10 – Изменение сопротивления кавитационного шума в активной кавитационной области

Для разных видов топлива максимальные значения кавитационного шума отличаются. Для биодизельного топлива максимальное сопротивление ниже, чем для дизельного, что объясняется вязкостными свойствами топлива.

Использование отражателей позволяет увеличить кавитационный шум и, как следствие, увеличить размер активной (оптимальной) кавитационной области.

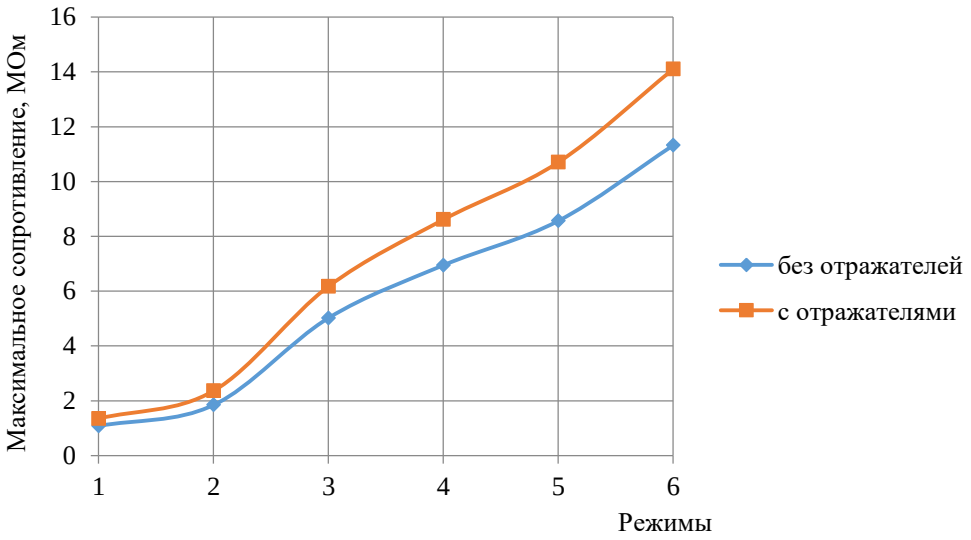


Рисунок 11 – Изменение сопротивления кавитационного шума в активной кавитационной области для биодизельного топлива

На рисунке 12 показана динамика изменения вязкости дизельного топлива при различных режимах работы с отражающими поверхностями. Обработку используемого моторного топлива следует проводить на 3 режиме работы лабораторной установки в используемом технологическом объеме или в более крупных объемах с отражающими поверхностями.

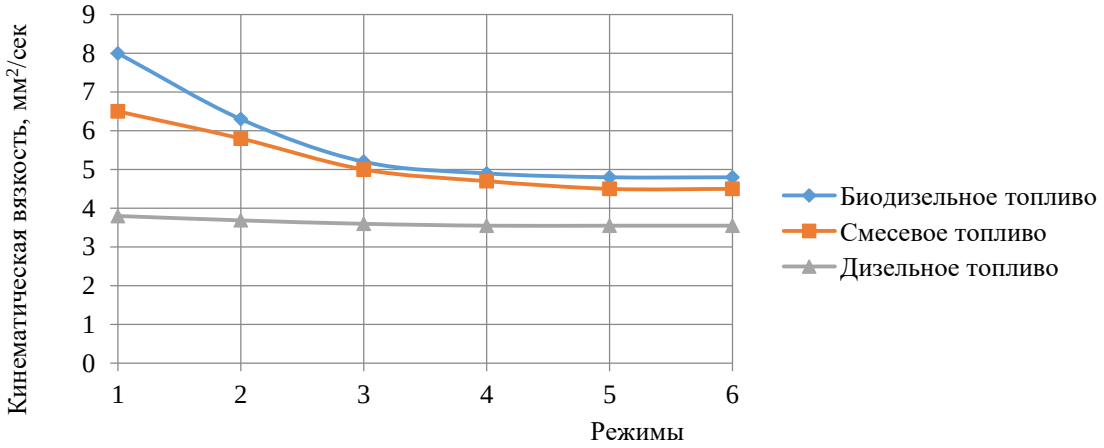


Рисунок 12 – Динамика изменения кинематической вязкости

Заключение. Таким образом, установлено, что на создание кавитации влияют следующие параметры – расстояние от излучающей поверхности, интенсивность, амплитуда и время ультразвуковой обработки *S*раз.ф= f (*l, h, I, A, t*). Определены четыре области кавитации: область активной или оптимальной кавитации, область начала кавитации, область зарождающейся кавитации, область отсутствия кавитации. В зависимости от амплитуды и интенсивности выделены 6 режимов работы. Установлено, что обработку используемого моторного топлива следует проводить на 3 кавитационном режиме работы (A=21-40%, I=12,5-24,8 Вт/см^2)

лабораторной установки в используемом технологическом объеме или в более крупных объемах с отражающими поверхностями. Установлено, что кавитационный шум в биодизельном топливе ниже, чем в дизельном топливе, так как оно более вязкое. В вязких жидкостях кавитация менее развита и, следовательно, для них коэффициент поглощения ультразвука ниже. В связи с этим под среды с более высокой вязкостью необходимо проектировать аппараты исходя из оптимального расстояния от излучателя до дна.

Список источников

1. Зазуля А.Н., Нагорнов С.А., Корнев А.Ю. Мобильная установка для получения биодизельного топлива // Сельский механизатор. – 2022. – № 12. – С. 12-14.

2. Руденко, М.Г. Кавитация и фазовые превращения в условиях термодинамической неравновесности жидкости: Автореф. дис. на …док. тех. наук: 01.04.14 / М.Г. Руденко – Улан-Удэ, 2011. – 36 с.

3. Модульный статический смеситель-активатор: пат. 2775588 Рос. Федерация 2021127801 / А. Г. Мещеряков, Ю. В. Мещерякова, А. Ю. Корнев, С. А. Нагорнов: заявл. 21.09.2021: опубл. 05.07.2022. – 5 с.

4. Batchelor, G.K. An introduction to fluid dynamics / G.K. Batchelor. – Cambridge at the University Press, 1970. – 760 p.

5. Гаврилова, Т.О. Анализ особенностей возникновения кавитации в системах водоснабжения и отопления / Т.О. Гаврилова // Инновации в науке. – 2012. – № 13-1. – С. 55-59.

6. Промтов, М.А. Перспективы применения кавитационных технологий для интенсификации химико-технологических процессов / М.А. Промтов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2008. – Т. 14, № 4. – С. 861-869.

7. Свойства и эффекты кавитации / Ю.М. Аверина, Н.А. Моисеева, Н.П. Нырков [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. – 2018. – Т. 32, № 14(210). – С. 37-39.

8. Фридман, В.М. Ультразвуковая химическая аппаратура / В.М. Фридман - М.: Машиностроение, 1967. - 234 с.

9. Иванов, Е. Г. Механизм нагрева воды при периодической кавитации/ Е. Г. Иванов, А. В. Пасин, Е. В. Трегубова // Сельский механизатор. - 2023. -№1-2. - С. 24 – 26.

10. Современное состояние использования кавитационных технологий (краткий обзор) / А. Ю. Радзюк, Е. Б. Истягина, Л. В. Кулагина, А. В. Жуйков // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333, № 9. – С. 209-218.

11. Щегольков А.В., Щегольков А.В., Земцова Н.В. Исследование тепловыделений в наномодифицированных эластомерах при растяжении и кручении под действием электрического напряжения. Frontier Materials & Technologies. 2022;(2):121-132. https://doi.org/10.18323/2782-4039-2022-2-121-132.

References

1. Zazulya A.N., Nagornov S.A., Kornev A.Yu. Mobile installation for biodiesel production // Rural mechanizer. – 2022. – No. 12. – pp. 12-14.

2. Rudenko, M.G. Cavitation and phase transformations under conditions of thermodynamic disequilibrium of a liquid: Abstract. dis. on ...Doctor of Technical Sciences: 01.04.14 / M.G. Rudenko – Ulan-Ude, 2011. – 36 p.

3. Modular static mixer-activator: pat. 2775588 Ros. Federation 2021127801 / A. G. Meshcheryakov, Yu. V. Meshcheryakova, A. Yu. Kornev, S. A. Nagornov: application 21.09.2021: publ. 05.07.2022. – 5 p.

4. Batchelor, G.K. An introduction to fluid dynamics / G.K. Batchelor. – Cambridge at the University Press, 1970. – 760 p.

5. Gavrilova, T.O. Analysis of the features of the occurrence of cavitation in water supply and heating systems / T.O. Gavrilova // Innovations in science. - 2012. – No. 13-1. – pp. 55-59.

6. Promtov, M.A. Prospects of application of cavitation technologies for intensification of chemical and technological processes / M.A. Promtov // Bulletin of the Tambov State Technical University. - 2008. – Vol. 14, No. 4. – pp. 861-869.

7. Properties and effects of cavitation / Yu.M. Averina, N.A. Moiseeva, N.P. Nyrkov [et al.] // Advances in chemistry and chemical technology. - 2018. – Vol. 32, No. 14(210). – pp. 37-39.

8. Friedman, V.M. Ultrasonic chemical equipment / V.M. Friedman - M.: Mashinostroenie, 1967. - 234 p

9. Ivanov, E. G. The mechanism of water heating during periodic cavitation/ E. G. Ivanov, A.V. Pasin, E. V. Tregubova // Rural mechanic. - 2023. -№1-2. - p. 24-26.

10. The current state of the use of cavitation technologies (a brief overview) / A. Y. Radzyuk, E. B. Istyagina, L. V. Kulagina, A.V. Zhuikov // Izvestiya Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering. – 2022. – T. 333, No. 9. – pp. 209-218.

11. Shchegolkov A.V., Shchegolkov A.V., Zemtsova N.V. Investigation of heat release in nanomodified elastomers under tension and torsion under the action of electric voltage. Frontier Materials & Technologies. 2022;(2):121-132. https://doi.org/10.18323/2782-4039-2022-2-121-132.

Информация об авторах

Ю.В. Мещерякова - кандидат технических наук, старший научный сотрудник; Бусин И.В. – кандидат технических наук, старший научный сотрудник; С.А. Нагорнов - доктор технических наук, профессор; А.В. Щегольков – кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors

Yu. Meshcheryakova - Candidate of Technical Sciences, Senior researcher; I. Busin – Candidate of Technical Sciences, Senior researcher.; S. Nagornov - Doctor of Technical Sciences, Professor; A. Shchegolkov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Contribution of authors All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 03.08.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.08.2023

Тип статьи: научная
УДК 620.193
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-4-107-117

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНГИБИРОВАННОГО РАПСОВОГО МАСЛА ДЛЯ ЗАЩИТЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ В ПРИСУТСТВИИ ДИОКСИДА СЕРЫ В АТМОСФЕРЕ

Лариса Геннадьевна Князева [1]
[1] *Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия*
[1] Knyazeva27@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3232-2210

Автор, ответственный за переписку: Лариса Геннадьевна Князева, Knyazeva27@mail.ru
Corresponding author: Larisa Knyazeva, Knyazeva27@mail.ru

Реферат. *Диоксид серы, присутствующий в атмосферах сельскохозяйственных производств, является активным стимулятором коррозионных процессов. Изучали защитную эффективность композиций на основе рапсового масла (РМ) и Эмульгина в качестве ингибитора коррозии (ИК) при коррозии углеродистой стали Ст3 в 0,5М растворе NaCl, находящимся в равновесии с диоксидом серы в зависимости от продолжительности выдержки электродов в рабочей среде. Модельные атмосферы создавали в герметичных пластиковых емкостях. Были выбраны: исходная концентрации диоксида серы в диапазоне от 0,1 до10 об. %, соотношение объемов газовой и жидкой фаз, равное1 ,4. По вязкостно-температурным кривым установлено, что Эмульгин обладает загущающим эффектом по отношению к РМ, благодаря образованию мицеллярных структур. Установлено, что массоперенос влаги через масляные пленки РМ с Эмульгином возрастает с ростом концентрации SO_2 и продолжительности эксперимента и падает с ростом концентрации Эмульгина. Скорость коррозии углеродистой стали в газовой и жидкой фазах увеличивается с ростом исходной концентрации диоксида серы в воздухе. Установлено, что плёнки неингибированного РМ обеспечивают защитную эффективность углеродистой стали в 0,5 М растворе NaC1, находящемся в равновесии с газовой фазой, содержащем до 0,001 об.% диоксида серы, в 92-93%. При равновесной концентрации диоксида серы в газовой фазе более 0,001 об. % в защитную пленку целесообразно вводить 7 – 10 масс.% Эмульгина.*

Ключевые слова: *коррозионные разрушения, диоксид серы, защитная эффективность, рапсовое масло, Эмульгин, продолжительность выдержки.*

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF INHIBITIONED RAPSE OIL FOR PROTECTION OF AGRICULTURAL MACHINERY IN THE PRESENCE OF SULFUR DIOXIDE IN THE ATMOSPHERE

Larisa Knyazeva [1]
[1] *All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture, Tambov, Russia*
[1] Knyazeva27@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3232-2210

Abstract. *Sulfur dioxide, present in the atmospheres of agricultural production, is an active stimulator of corrosion processes. We studied the protective effectiveness of compositions based on rapeseed oil (RM) and Emulgin as a corrosion inhibitor (CI) in the corrosion of carbon steel St3 in a 0.5 M NaCl solution in equilibrium with sulfur dioxide depending on the exposure time of the electrodes in the working environment. Model atmospheres were created in sealed plastic containers. The initial concentration of sulfur dioxide in the range from 0.1 to 10 vol.%, the ratio of the volumes of the gas and liquid phases, equal to 1.4 were chosen. It has been established from viscosity-temperature curves that*

Emulgin has a thickening effect in relation to PM, due to the formation of micellar structures. It has been established that the mass transfer of moisture through the oil films of RM with Emulgin increases with an increase in the SO2 concentration and the duration of the experiment and decreases with an increase in the Emulgin concentration. The corrosion rate of carbon steel in the gas and liquid phases increases with an increase in the initial concentration of sulfur dioxide in the air. It has been established that films of non-inhibited PM provide the protective effectiveness of carbon steel in a 0.5 M NaCl solution in equilibrium with the gas phase, containing up to 0.001 vol.% sulfur dioxide, in 92-93%. 7 - 10 wt.% Emulgin, it is advisable to introduce into the protective film at an equilibrium concentration of sulfur dioxide in the gas phase of more than 0.001 vol. %.

Keywords: *corrosion damage, sulfur dioxide, protective effectiveness, rapeseed oil, emulgin, exposure time.*

Для цитирования: Князева Л.Г. Оценка эффективности ингибированного рапсового масла при защите сельскохозяйственной техники в присутствии диоксида серы в атмосфере // Наука в Центральной России. 2023. Т. 64, № 4. С. 107-117. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-107-117.

For citation: Knyazeva L. Evaluation of the efficiency of inhibitioned rapse oil for protection of agricultural machinery in the presence of sulfur dioxide in the atmosphere. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 64(4): 107-117. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-107-117.

Введение. В развитии сельскохозяйственных растений большую роль играет сера. Растения получают соединения серы из почвы, куда они попадают с минеральными и органическими удобрениями, с посевным материалом и атмосферными осадками (незначительное количество), адсорбируются из атмосферного воздуха в виде диоксида серы (SO_2), который является его обязательным микрокомпонентом. Следовательно, возможен контакт рабочих органов сельскохозяйственной техники для растениеводства с диоксидом серы. Сам диоксид серы используется в сельскохозяйственном производстве как консервант для сухофруктов, как антибактериальное средство для обработки теплиц, как антибиотик и антиоксидант в виноделии, для очистки хлорированных сточных вод в виноделии и животноводстве, для уничтожения крыс и других грызунов.

Диоксид серы является активным стимулятором коррозии углеродистой стали [1,2], которую при температурах ниже 60^0С вызывает преимущественно конденсация сернистой кислоты (H_2SO_3), появление которой увеличивает кислотность пленки влаги на поверхности металла и ее электропроводность, что ускоряет коррозионные разрушения. H_2SO_3 к тому же может адсорбироваться продуктами коррозии, что также значительно ускоряет коррозию стали.

Коррозионные разрушения зависят от относительной влажности воздуха (Н). С превышением некоторого критического значения Н, скорость коррозии углеродистой стали начинает быстро увеличиваться с ростом концентрации SO_2 в газовой фазе. Содержание диоксида серы в атмосфере (фоновая концентрация) существенно зависит, в том числе, от географического места проведения измерений [3].

Таким образом, проблема защиты углеродистой стали от атмосферной коррозии в присутствии диоксида серы существует, в том числе и в сельскохозяйственном производстве. Практически по всей территории России углеродистая сталь нуждается в защите от стимулирующего коррозию действия диоксида серы [3], который присутствует в атмосфере. В работах [2,4 - 8] для защиты от атмосферной коррозии в присутствии SO_2 предлагались покрытия на основе минеральных и синтетических моторных и индустриальных масел, в том числе отработанных), ингибированных ИФХАН-29А, ПВК, ТВК-1 и др. Концентрации SO_2 в атмосфере [1,2] определяет коррозионные потери на стали Ст3. Очевидно, что на металлической поверхности молекул SO_2 адсорбируется тем больше, чем больше концентрация диоксида серы в атмосфере.

Диоксид серы хорошо растворяется в воде и взаимодействует с ней по реакции:

$$SO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2SO_3 \quad (1)$$

поэтому равновесная концентрация SO_2 над жидкой водной фазой может существенно отличаться от исходной, как показано в таблице 1.

При концентрации диоксида серы, не превышающей 0,1 М в воде доминирует гидрат оксида $SO_2 \cdot H_2O$ [2]. При сопоставимых объёмах жидкой и газовой фаз концентрации возникающих в водной фазе продуктов растворения SO_2 и их взаимодействия с водой (HSO_3^-, SO_3^{2-}), зависят от соотношения объёмов газовой ($V_г$) и жидкой ($V_ж$) фаз, которые определяют систему, в целом. При $V_г >> V_ж$ такая зависимость исчезает.

При изменении исходной концентрации диоксида серы в газовой фазе от $5 \cdot 10^{-5}$ до 10,0 об.% ожидаемо будет снижаться pH жидкой фазы в диапазоне от 6,9 до 2,4, равновесная концентрация при этом будет изменяться в диапазоне $7{,}6 \cdot 10^{-12}$ – $6{,}7 \cdot 10^{-2}$. Как следует из таблицы 1, величины исходной и равновесной концентрации диоксида серы в газовой фазе существенно отличаются друг от друга.

Таблица 1- Зависимость концентрации H_2SO_3, HSO_3^-, SO_3^{2-}и pH растворов от концентрации диоксида серы в газовой фазе при $V_г/V_ж = 1{,}4$

$C_{SO_2,исх}$, об. %	$C_{SO_2,равн}$, об. %	pH	$C_{H_2SO_3}$, ммоль/л	$C_{HSO_3^-}$, ммоль/л	$C_{SO_3^{2-}}$, ммоль/л
$5 \cdot 10^{-5}$	$7{,}6 \cdot 10^{-12}$	6,9	$1{,}3 \cdot 10^{-10}$	$1{,}9 \cdot 10^{-5}$	$9{,}6 \cdot 10^{-6}$
$5 \cdot 10^{-4}$	$2{,}9 \cdot 10^{-10}$	6,5	$5{,}0 \cdot 10^{-9}$	$2{,}4 \cdot 10^{-5}$	$4{,}2 \cdot 10^{-5}$
$5 \cdot 10^{-3}$	$2{,}7 \cdot 10^{-8}$	5,5	$5{,}0 \cdot 10^{-7}$	$2{,}8 \cdot 10^{-3}$	$5{,}9 \cdot 10^{-5}$
$5 \cdot 10^{-2}$	$1{,}1 \cdot 10^{-7}$	5,2	$1{,}9 \cdot 10^{-6}$	$5{,}6 \cdot 10^{-3}$	$6{,}1 \cdot 10^{-5}$
$2 \cdot 10^{-2}$	$2{,}7 \cdot 10^{-6}$	4,5	$4{,}7 \cdot 10^{-5}$	$2{,}8 \cdot 10^{-2}$	$6{,}2 \cdot 10^{-5}$
$1 \cdot 10^{-1}$	$1{,}1 \cdot 10^{-5}$	4,2	$1{,}9 \cdot 10^{-4}$	$5{,}7 \cdot 10^{-2}$	$6{,}2 \cdot 10^{-5}$
0,5	$2{,}6 \cdot 10^{-4}$	3,6	$4{,}6 \cdot 10^{-3}$	$2{,}8 \cdot 10^{-1}$	$6{,}2 \cdot 10^{-5}$
1,0	$1{,}0 \cdot 10^{-3}$	3,3	$1{,}8 \cdot 10^{-2}$	$5{,}5 \cdot 10^{-1}$	$6{,}2 \cdot 10^{-5}$
3,0	$8{,}1 \cdot 10^{-3}$	2,8	$1{,}4 \cdot 10^{-1}$	1,6	$6{,}2 \cdot 10^{-5}$
5,0	$2{,}0 \cdot 10^{-2}$	2,6	$3{,}6 \cdot 10^{-1}$	2,5	$6{,}2 \cdot 10^{-5}$
10,0	$6{,}7 \cdot 10^{-2}$	2,4	1,2	4,5	$6{,}2 \cdot 10^{-5}$

Для исходной концентрации SO_2 в 0,1 об. %, равновесная концентрация в 10000 раз меньше, поэтому предельно-допустимая концентрация рабочей зоны ($ПДК_{р.з}$) не будет превышена ($3{,}8 \cdot 10^{-4}$ об. %), в отличии от предельно допустимой средне-суточной концентрации (ПДКс.с), которая превышена в 2,6 раза. Для заведомо очень высокой концентрации диоксида серы в 10 об. %, что может быть только при залповом выбросе равновесная концентрация SO_2 составит $6{,}7 \cdot 10^{-2}$ об. % (таблица 1), следовательно, при достижении равновесия $ПДК_{р.з}$ будет превышена в 178 раз, а ПДКсс– в 3527 раза. Доминировать при этом будет форма HSO_3^-.

Целью данной работы является исследование защитной эффективности композиций на основе рапсового масла (РМ) и Эмульгина в качестве ИК в атмосферах с диоксидом серы.

Методика эксперимента.

Коррозионные испытания проводили при комнатной температуре на углеродистой стали Ст3 Образцы, размером 25х10х3 мм, подвешивали на капроновых нитях в герметичных пластиковых емкостях, объёмом 1,0 л. С помощью дистиллированной воды создавали относительную влажность воздуха Н ~ 100%. Исходная концентрация диоксида серы составляла от 0,1 до 10 об.%. В ячейки одновременно помещали по три образца в газовую и жидкую фазы, соотношение $V_г/V_ж$ составляло 1,4. Жидкая фаза содержала продукты взаимодействия SO_2 с H_2O. Длительность экспериментов составляла 240 часов. Для очистки стальных образцов от продуктов коррозии использовали 10 %-ный раствор HCl с 1 г/л KI и 5 г/л уротропина в качестве смесевого ингибитора кислотной коррозии.

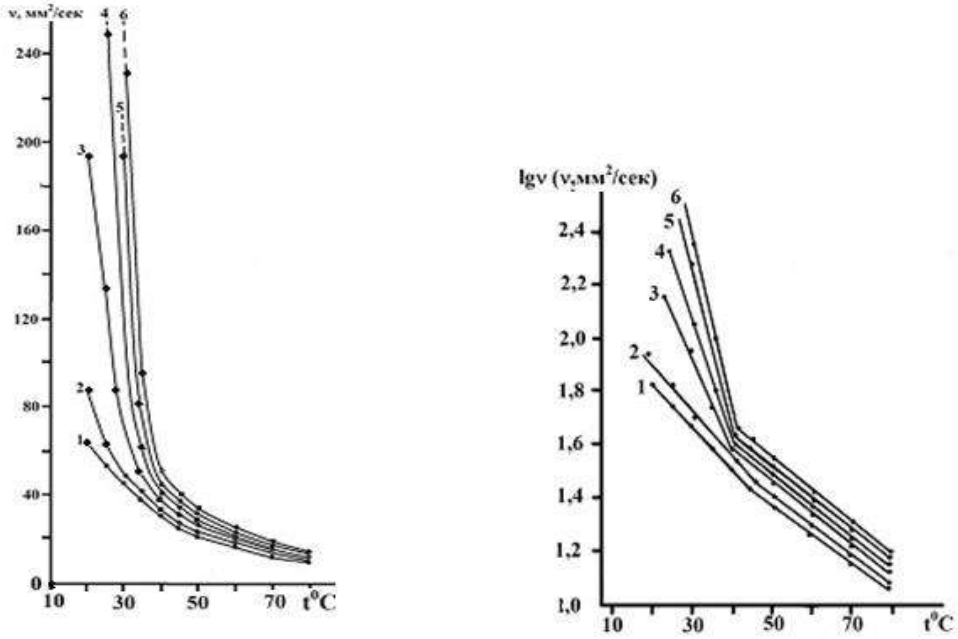
Влагопроницаемость пленок ингибированного рапсового масла в атмосферах с диоксидом серы определяли по методике, описанной в [9].

Противокоррозионную защиту осуществляли с помощью покрытия из РМ с Эмульгином в качестве ингибитора коррозии (ИК). Эмульгин представляет собой кубовые остатки производства высших алифатических аминов ОАО «Азот», г. Березняки, включает фракции высших алифатических аминов однонаправленного действия C_{10}-C_{15} (57,6%) и C_{16}-C_{20} (42,4%) с учетом аддитивного взаимодействия. Высшие алифатические амины - вещества 2-го класса опасности. Предельно допустимая концентрация Эмульгина в воздухе рабочей зоны ПДКр.з.=1 мг/м^3 [10].

Методики исследования изложены в [9,11].

Результаты и обсуждение.

Первоначально исследовали загущающий эффект Эмульгина по отношению к рапсовому маслу (РМ), что отражают вязкостно-температурные кривые (рисунок 1). В диапазоне температур 20-50 ^{0}С кинематическая вязкость достаточно резко падает с температурой, причем скачек повышается с ростом концентрации Эмульгина. При температурах 50-80 ^{0}С изменения вязкости не столь значительны и влияние концентрации ИК не столь заметно. На более информативных кривых в полулогарифмических координатах (рисунок 1б) наблюдается два линейных участка с изломом, величина температуры излома $t_{изл}$ лежит в диапазоне температур 40–45^{0}С, при этой температуре происходят структурные изменения. Можно предположить, что эта $t_{изл}$ является критической, ниже которой происходит мицеллообразование между Эмульгином и РМ.



а) б)

Рисунок 1 - Вязкостно-температурные зависимости рапсового масла, ингибированного Эмульгином в обычных (а) и полулогарифмических (б) координатах.
$C_{ик}$, масс. %: 1 – 0, 2 – 1, 3 – 3, 4 – 5, 5 – 7, 6 – 10

Значение $t_{изл}$ важно для определения температуры разогрева композиции, так как именно до нее целесообразно разогревать композицию перед нанесением на защищаемую металлическую поверхность, что оптимально с технологической точки зрения и с позиций энергосбережения.

Масляные пленки РМ с Эмульгином проницаемы для воды, как показано на рисунке 2, как в отсутствии диоксида серы, так и в его присутствии, причем с ростом концентрации SO_2, возрастает массоперенос влаги. Массопернос влаги также возрастает с увеличением продолжительности эксперимента и снижается с ростом концентрации Эмульгина.

Очевидно, что с ростом исходной концентрации диоксида серы в воздухе из-за роста переноса влаги через масляную пленку возрастает скорость коррозии углеродистой стали в газовой и

жидкой фазах. Следует отметить, что диоксид серы также стимулирует коррозионные процессы на стальной поверхности из-за разрушающего влияния на воздушно-оксидную пленку на металле, причем он может влиять и на защитную эффективность ИК из-за химического взаимодействия SO_2 (кислотный оксид) с аминами, его составляющими и на фактор времени.

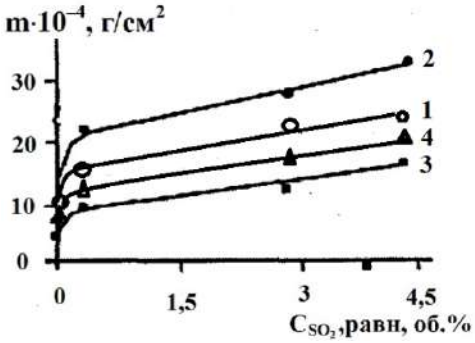
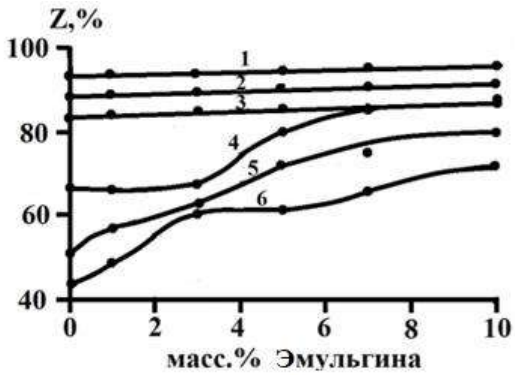


Рисунок 2- Зависимость массы воды, поглощенной цеолитом от равновесной концентрации диоксида серы в атмосфере при Н ~ 100 % после прохождения через пленку РМ, ингибированного Эмульгином, масс. %: 1,2 – 1; 3,4 – 10, при продолжительности, час: 1,3 -1; 2,4 -6

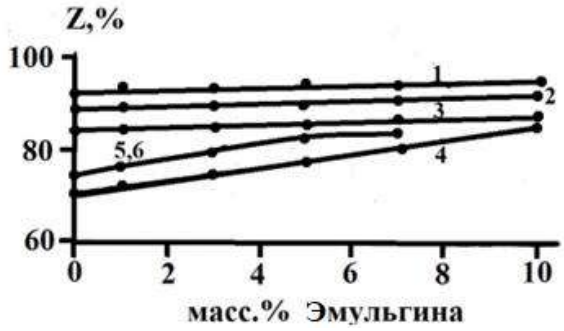
Коррозионные испытания показали, что в отсутствии диоксида серы в модельной атмосфере рапсовое масло само по себе обеспечивает достаточно высокую защитную эффективность на стали: 94 % в объеме раствора и 92 % в газовой фазе (таблица 1, рисунок 3). Вероятно, это происходит за счет присутствия фосфолипидов в его составе. Введение Эмульгина в РМ незначительно повышает его защитную эффективность в жидкой и воздушной среде.

Таблица 1 – Защитная эффективность масляных композиций при коррозии углеродистой стали Ст3 в атмосфере без SO_2 и Н=100%

№ п/п	Масляная композиция		Z, % в среде	
		Эмульгин, масс. %	жидкая среда	воздушная среда
1	РМ	0	94	92
2		1	94	93
3		3	94	93
4		5	95	94
5		7	95	94
6		10	96	95



а)



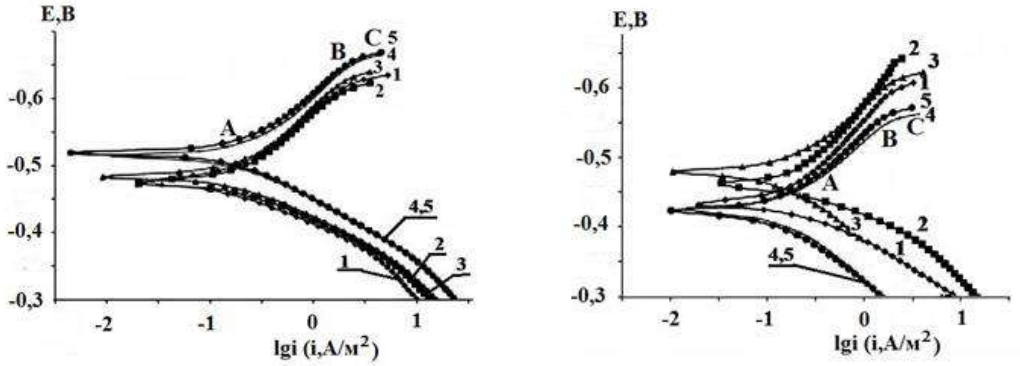
б)

Рисунок 3 – Зависимость защитной эффективности композиций при коррозии углеродистой стали в жидкой (а) и газовой (б) фазах от концентрации Эмульгина в РМ при различной исходной концентрации диоксида серы, об. %: 1 – отсутствует; 2 – 0,1; 3 – 1; 4 – 3; 5 – 5; 6 – 10.

Если в жидкой или воздушной среде присутствует диоксид серы, защитное действие неингибированного РМ снижается с ростом его концентрации. Введение Эмульгина в РМ и рост его концентрации увеличивает значение Z.

До определенной равновесной концентрации диоксида серы (0 - $1{,}0\cdot10^{-3}$ об. %) содержание Эмульгина в композиции мало влияет на её защитную эффективность, затем оно становится существенным (рисунки 3а и 3б, кривая 4), что особенно заметно при коррозии стали в жидкой фазе. Можно предположить, что подобное поведение связано с конкурирующим действием природных фосфолипидов и Эмульгина. В области малых равновесных концентраций SO_2 адсорбционная способность фосфолипидов существенно выше, чем алифатических аминов из Эмульгина, а потом с повышением равновесной концентрации диоксида серы картина меняется.

Результаты поляризационных измерений в отсутствие SO_2 в газовой и жидкой фазах при различной продолжительности предварительной выдержки электродов в растворе показаны на рисунке 4. При выдержке стального образца в течение 0,25 – 1,0 ч в 0,5 М NaCl состояние поверхности стали не изменяется (кривые совпадают), очевидно в силу стабильности воздушно-оксидной плёнки на стали в этой среде. Но через 6 часов выдержки ток коррозии возрастает (рисунок 4а, кривая 4), видимо, к этому времени появляются нарушения в воздушно-оксидной пленке в коррозионной среде. В последующие 18 часов картина практически не изменяется (рисунок 4а, кривые 4 и 5). На катодных поляризационных кривых отсутствуют участки предельных токов, а отрезок АВ имеет тафелевский наклон dE/dlgiк ~ 0,125, что может быть связано с разрядом, наряду с растворенным кислородом, гидрокарбонат-ионов - доноров протонов. Далее, при потенциалах –0,6 В и ниже начинается разряд воды, на что указывает участок ВС (рисунок 4а). Тафелевский участок на анодных поляризационных кривых имеет наклон dE/dlgia ~0,075 В, что характерно для углеродистых сталей в хлоридных средах.



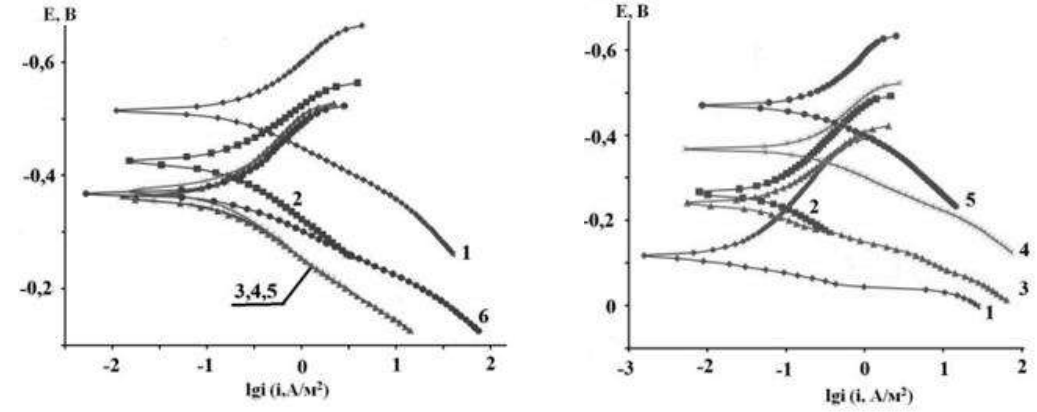
а) б)

Рисунок 4 – Поляризационные кривые в 0,5 М рабочем растворе NaC1 на незащищённой стали (а) и стали, покрытой плёнкой неингибированного дополнительно РМ (б). Продолжительность предварительной выдержки электрода в растворе, ч: 1 – 0,25; 2 – 0,50; 3 – 1,0; 4 – 6,0; 5 – 24,0

При наличии на стальном электроде пленки РМ характер катодных поляризационных кривых практически не изменяется (рисунок. 4б), но зависимость от продолжительности эксперимента проявляется более четко. На анодных поляризационных кривых явно проявляются протяжённые тафелевские участки (рисунок 4б). Увеличение продолжительности эксперимента до 24 часов заметно замедляет скорость анодной ионизации стали. Пленка рапсового масла снижает скорость анодной реакции и ускоряет скорость катодной реакции (рисунок 4а, кривые 1 и 2).

Введение в РМ Эмульгина (рисунок 5а) вызывает небольшое дополнительное торможение анодной ионизации железа и ускоряет катодную реакцию (рисунок 5а, кривые 3 – 6), что

усиливается с ростом концентрации ИК



а) б)

Рисунок 5 – Поляризационные кривые в 0,5 М рабочем растворе NaC1 на стали в зависимости от концентрации Эмульгина (а), масс.%: 1 – плёнка отсутствует, 2 – 0, 3 – 1, 4 – 3, 5 – 5, 6 – 10 и при концентрации 10 масс.% Эмульгина, в зависимости от продолжительности предварительной выдержки стали в растворе (б), ч: 1 – 0,25; 2 – 0,50; 3 – 1,0) 4 – 6,0; 5 – 24,0

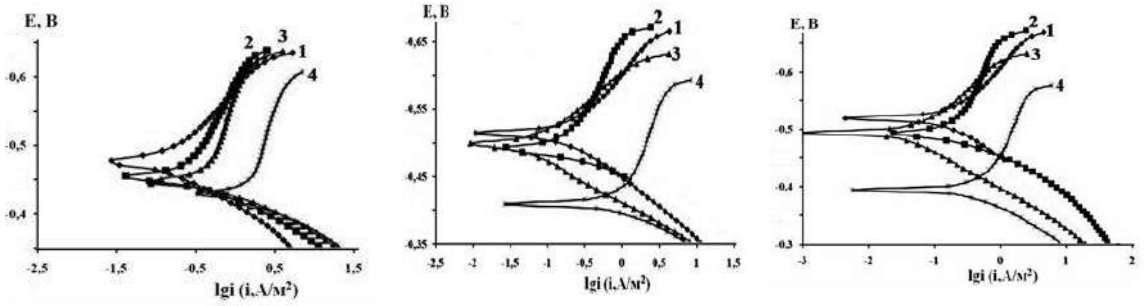
На рисунке 5б можно наблюдать влияние продолжительности выдержки стального электрода с пленкой РМ с 10 масс.% Эмульгина в растворе до начала поляризации. Следует отметить, что при 24 - часовой выдержке - максимальной из исследуемых, скорость анодного процесса максимальна, а катодного - минимальна.

Результаты коррозионных испытаний в течение 10-суток таний при различных концентрациях SO_2 в водной среде и Н ~100 % в воздушной среде показаны в таблице 2. Само рапсовое масло предохраняет стальную поверхность от коррозии с тем большей эффективностью, чем меньше концентрация диоксида серы, причем в воздушной фазе лучше, чем в водной (таблица 2). С ростом концентрации Эмульгина защитная эффективность масляных композиций в присутствии SO_2 возрастает. Оптимальная концентрация 7-10 масс.%.

Таблица 2 - Защитная эффективность масляных композиций при коррозии углеродистой стали Ст3 в атмосфере в присутствии SO_2 и Н=100%

Концентрация ИК в РМ, масс. %	Содержание SO_2, об. %									
	0,1		1		3		5		10	
	среда									
	водн.	возд.	водн.	возд.	водн.	возд.	водн.	возд.	водн.	возд.
0	89	88	84	90	66	71	52	75	44	72
1	89	89	84	91	67	72	57	77	50	78
3	90	90	85	92	80	75	63	80	61	80
5	90	91	86	93	86	78	72	83	61	84
7	91	91	87	93	86	81	75	85	67	84
10	91	92	87	93	88	87	80	88	72	87

Полученные гравиметрические данные в присутствии SO_2 в какой-то мере подтверждаются данными поляризационных измерений (рисунок 6).

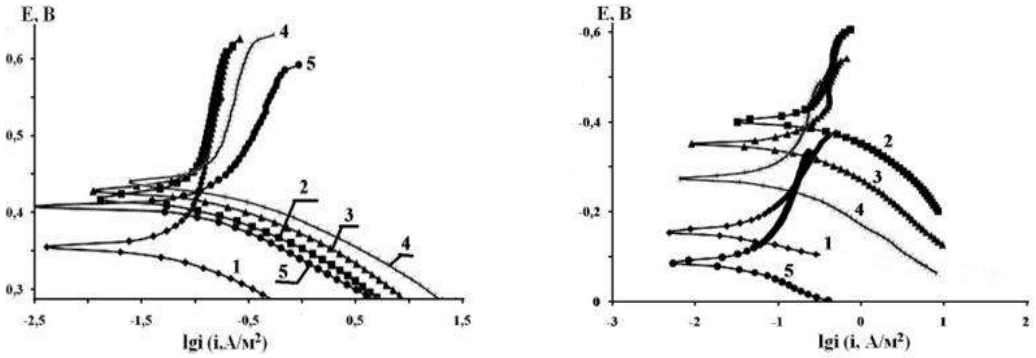


а) б) в)

Рисунок 6 - Поляризационные кривые на незащищённой стали в 0,5 М NaC1, находящейся в равновесии с диоксидом серы, от исходной концентрации оксида в газовой фазе через 0,25 ч (а), 6ч (б) и 24 ч (в) после погружения электрода в рабочий раствор. Исходная концентрация диоксида серы, об. %: 1 – отсутствует; 2 – 0,1; 3 – 1,0; 4 – 3,0.

В отсутствие масляной плёнки рост концентрации диоксида серы в газовой фазе после 15-минутного воздействия среды практически не оказывает влияния на протекание анодной реакции, а скорость катодной реакции, наоборот, растет. Увеличение исходной концентрации диоксида серы в диапазоне 0,1 – 1,0 об. % практически не сказывается на величине предельного катодного тока (~0,75 А/м^2), но введение 3 об. % SO_2 его существенно повышает (до 4,75А/м^2), скорее всего, из-за разряда гидросульфит-ионов. Ток коррозии в последнем случае поднимается более, чем в три раза, по сравнению с током коррозии в отсутствии SO_2. Увеличение выдержки стальных образцов в рабочем растворе до 6 часов (рисунок 6б) при увеличения исходной концентрации диоксида серы практически не влияет на скорость катодной реакции, но происходит торможение реакции анодной ионизации стали, в результате чего на 0,07 – 0,08 В повышается её потенциал коррозии при 3 об.% SO_2, например, ток коррозии в этом случае снижается более, чем в 3раза. Поляризационные кривые, полученные при выдержке стального электрода в течение 24 часов, принципиально не отличаются от предыдущих (рисунки 6б и 6в).

Поляризационные кривые на углеродистой стали с покрытиями РМ, ингибированного10 масс.% Эмульгина (рисунок 7) при исходной концентрации SO_2, равной 0,1 об.% в зависимости от продолжительность выдержки в растворе более сложные.



а) б)

Рисунок 7 - Поляризационные кривые на стали Ст3 с пленками неингибированного РМ (а) , ингибированного 10 масс.% Эмульгина (б) при. Время выдержки после погружения в рабочий раствор, ч: 1 – 0,25; 2 – 0,50; 3 – 1,0; 4 – 6; 5 – 24.

В течение первого часа скорость суммарной катодной реакции в отсутствие Эмульгина в пленке (рисунок 7а) возрастает одновременно с ростом величины предельного катодного тока ($i_{пред.кат}$). Но затем к 24 часам из-за резкого уменьшения эффективной толщины диффузионного слоя или конвективных явлений $i_{пред.кат.}$ возрастает до 140 мкА/см^2. Скорость анодной реакции увеличивается с ростом продолжительности выдержки в рабочем растворе до 6 ч, затем к 24 ч резко снижается (рисунок 7а). Величина тафелевского наклона dE/dlgia = 0,065±0,005 В и характерна для железа и углеродистой стали в хлоридных средах. При добавлении 10 масс.% Эмульгина в РМ (рисунок 7б) в течение 0,5 ч скорость анодной ионизации стали увеличивается, но затем снижается, потенциал коррозии ($E_{кор}$) приэтом растет. Значение $i_{пред.кат.}$ при выдержке ≤ 6ч близко к 45 мкА/см^2, а затем снижается до 16 мкА/см^2 через сутки.

Нанесение плёнки РМ с 10 масс. % Эмульгина, существенно тормозит анодную реакцию ионизации металла. Особенно сильно этот эффект выражен в присутствии 0,1 об.% SO_2 (рисунок 8). С дальнейшим с ростом исходной концентрации SO_2 торможение анодной ионизации стали снижается при потенциалах, близких к $E_{кор}$. Потом резко возрастают наклоны парциальных электродных кривых dE/dlgiк и dE/dlgia, что можно объяснить появлением и увеличением омической составляющей потенциала.

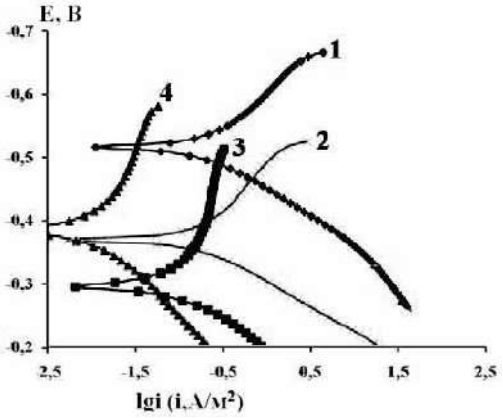


Рисунок 8 – Поляризационные кривые на стали Ст3, покрытой РМ с 10 масс. % Эмульгина через 6 часов после погружения в рабочий раствор. Исходное содержание SO_2, об. %: 1 – плёнка композиции отсутствует; 2 – в отсутствии диоксида серы, 3 – 0,1; 4 – 1,0.

Выводы.

Таким образом показано, что скорость коррозии углеродистой стали в газовой и жидкой фазах ожидаемо возрастает с ростом исходной концентрации стимулирующего коррозию диоксида серы. По вязкостно-температурным кривым установлено, что Эмульгин обладает загущающим эффектом по отношению к РМ. Масляные пленки РМ с Эмульгином проницаемы для воды, с ростом концентрации SO_2, возрастает массоперенос влаги, как и с увеличением продолжительности эксперимента. Массоперенос влаги падает с ростом концентрации ИК в РМ. Плёнки неингибированного РМ, нанесенные на углеродистую сталь, корродирующую в 0,5 М растворе NaC1, находящимся в равновесии с газовой фазой, содержащей до 0.001 об. % диоксида серы, позволяет достичь защитного эффекта 92-93%. При равновесной концентрации SO_2 в газовой фазе более 0,001 об. % следует использовать рапсовое масло, ингибированное 7 – 10 масс.% Эмульгина.

Список источников

1. Вигдорович В.И., Князева Л.Г., Зазуля А.Н., Цыганкова Л.Е., Шель Н.В., Прохоренков В.Д., Остриков В.В. Научные основы и практика создания антикоррозионных консервационных материалов на базе отработанных нефтяных масел и растительного сырья: монография, Тамбов: Изд. Першина Р.В. 2012.- 325 с.

2. Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Бернацкий П.Н., Шель Н.В. Коррозия и защита металлов в условиях повышенной концентрации оксида серы IV) и продуктовего гидратации: монография.- Тамбов: Изд-во ПершинаР.В. 2015-364 с.

3. Панченко Ю.М., Стрекалов П.В., Никулина Т.В. Влияние удержанных продуктов коррозии на торможение коррозионного процесса. ч.1. Первые два года. // Коррозия: материалы, защита. 2013. №2. С. 9 – 17.

4. Осетров А.Ю., Четырина О.Г., Шель Н.В. Применение ингибированных масляных композиций в целях защиты от коррозии металлических изделий в атмосфере, содержащей SO_2// Вестник ТГТУ.2009.-Т.15.-С.843-854.

5. Шель Н.В., Осетров А.Ю., Особенности кинетики электродных процессов на углеродистой стали, покрытой пленками масляных композиций ТВК-1, в растворе NaCl, насыщенном диоксидом серы // Современные электрохимические технологии в машиностроении: V международный научно-практический семинар.: Тез. докл. Иваново. 2005. С. 304-307.

6. L.E. Tsygankova, V.I. Vigdorovich, N.V. Shell, A.Yu. Osetrov. Influence of Oil Composition Coatings on Kinetics of Electrode Processes on Carbon Steel in NaCl solutions in the SO2 Presence. Book of abstracts of EUROCORR 2007. Freiburg. 2007. P. 393.

7. Шель Н.В., Осетров А.Ю., Абубакер Сакаф Омер Подавление коррозии углеродистой стали в присутствии высокой концентрации SO2 // Практика противокоррозионной защиты. 2008. № 2(48). С. 59-63.

8. Vigdorovich V.I., Shel N.V., Tsygankova L.E., Bernatsky P.N. Oil-based Preservative MaterIals for Protection of Copper against Corrosion in Atmospheres Containing SO_2//International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2015. Т. 4. № 3. С. 210-220.

9. Князева Л.Г. Научные основы создания антикоррозионных консервационных материалов на базе отработавших нефтяных масел и растительного сырья: дис. на соискание ученой степени доктора хим. наук / ГОУВПО "Тамбовский государственный технический университет". Тамбов, 2012

10. Авторское свидетельство №1385607. C10M 133/06//(C10M 133/06, 127:02) C10N 30:12. «Противокоррозионная присадка «Эмульгин» к маслам, зарегистрировано 01.12.1987

11. Шель Н.В., Бернацкий П.Н., Осетров А.Ю. Защитная эффективность композиций отработанного моторного масла с добавками эмульгина при коррозии углеродистой стали в воздушной атмосфере с высоким содержанием SO_2 // Коррозия: материалы, защита. 2013. №11. С.16 -20.

References

1. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Zazulya A.N., Tsygankova L.E., Shel N.V., Prokhorenkov V.D., Ostrikov V.V. Scientific basis and practice of creating anti-corrosion conservation materials based on waste petroleum oils and vegetable raw materials: monograph, Tambov: Ed. Pershina R.V. 2012.- 325 p.

2. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Bernatsky P.N., Shel N.V. Corrosion and protection of metals under conditions of increased concentration of sulfur oxide IV) and product hydration: monograph. - Tambov: Publishing House of Pershina R.V. 2015-364 p.

3. Panchenko Yu.M., Strekalov P.V., Nikulina T.V. Influence of retained corrosion products on inhibition of the corrosion process. part 1. First two years. // Corrosion: materials, protection. 2013. No. 2. pp. 9 – 17.

4. Osetrov A.Yu., Chetyrina O.G., Shel N.V. The use of inhibited oil compositions in order to protect metal products from corrosion in an atmosphere containing SO_2// Vestnik TSTU.2009.-T.15.-S.843-854.

5. Shel N.V., Osetrov A.Yu., Features of the kinetics of electrode processes on carbon steel coated with films of TVK-1 oil compositions, in a NaCl solution saturated with sulfur dioxide. - V international scientific-practical seminar.: Tez. report Ivanovo. 2005. S. 304-307.

6. Tsygankova L.E., Vigdorovich V.I., Shell N.V., Osetrov A. Yu. Influence of Oil Composition Coatings on Kinetics of Electrode Processes on Carbon Steel in NaCl solutions in the SO_2 Presence. Book of abstracts of EUROCORR 2007. Freiburg. 2007. P. 393.

7. Shel N.V., Osetrov A.Yu., Abubaker Sakaf Omer. Suppression of corrosion of carbon steel in the presence of a high concentration of SO2 // Practice of anticorrosion protection. 2008. No. 2(48). pp. 59-

63.8. Vigdorovich V.I., Shel N.V., Tsygankova L.E., Bernatsky P.N. Oil-based Preservative MaterIals for Protection of Copper against Corrosion in Atmospheres Containing SO_2//International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2015. V. 4. No. 3. S. 210 - 220.

9. Knyazeva L.G. Scientific basis for the creation of anti-corrosion conservation materials based on spent petroleum oils and vegetable raw materials: dis. for the degree of Doctor of Chemistry. Sciences / GOUVPO "Tambov State Technical University". Tambov, 2012

10. Copyright certificate No. 1385607. C10M 133/06//(C10M 133/06, 127:02) C10N 30:12. "Anti-corrosion additive" Emulgin "to oils, registered 01.12.1987

11. Shel N.V., Bernatsky P.N., Osetrov A.Yu. Protective effectiveness of used motor oil compositions with emulgin additives in the corrosion of carbon steel in an air atmosphere with a high SO2 content // Corrosion: materials, protection. 2013. No. 11. P.16 -20.

Информация об авторах

Л.Г. Князева – доктор химических наук, доцент.

Information about the authors

L. Knyazeva - Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor.

Поступила в редакцию (Received): 03.07.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.08.2023

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.
Отпечатано в типографии «Студия печати Галины Золотовой».
Адрес типографии: 392032, Тамбовская область, г. Тамбов, ул. Кленовая, д. 24.
E-mail: studiapechati@bk.ru.
Дата выхода в свет 31.08.2023. Заказ № 23.
Формат 84x108/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Гарнитура Times. Объем – 12,39 усл. печ. л. Тираж 100 экз.