



ТРАКТОРЫ И СЕЛЬХОЗМАШИНЫ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Каминский В.Н.

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР

Лепёшкин А.В.

Издается с февраля 1930 г.

4•2020

Выходит 6 раз в год

ISSN 0321-4443

DOI: 10.31992/0321-4443-2020-4

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Годжаев З.А.

Городецкий К.И.

Ерохин М.Н.

Жалнин Э.В.

Измайлов А.Ю.

Ковалёв М.М.

Котиев Г.О.

Ксенович Т.И.

Кутьков Г.М.

Лачуга Ю.Ф.

Ляшенко М.В.

Предигер В.

Фомин В.М.

Учредитель

- Редакция

Зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций 18.03.2016
ПИ № ФС77-65085

Журнал входит в перечень ВАК РФ
изданий для публикации трудов соискателей
ученых степеней, а также в Российский индекс
научного цитирования (РИНЦ)

Издатель

Московский Политех

Адрес издательства:

115280, Москва, Автозаводская, 16

Тел. (495) 276-33-67

E-mail: izdat.mospolytech@yandex.ru

Сайт: www.mospolytech.ru

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И ОБОРУДОВАНИЕENVIRONMENTALLY CLEAN TECHNOLOGIES
AND EQUIPMENT

**Гончаренко С.В., Годжаев З.А., Прядкин В.И.,
Артемьев А.В., Годжаев Т.З.**
Особенности сертификации сельскохозяйственных шин
с максимальным учетом условий их эксплуатации

**Goncharenko S.V., Godzhaev Z.A., Pryadkin V.I.,
Artyomov A.V., Godzhaev T.Z.**
Specifics of certification of agricultural tires with
maximum consideration of their operating conditions

3

**Драгомиров С.Г., Драгомиров М.С., Эйдель П.И.,
Гамаюнов А.Ю.**
Анализ современного уровня развития технологии
и техники фильтрации охлаждающей жидкости
в автомобильных и тракторных двигателях

**Dragomirov S.G., Dragomirov M.S., Eydel P.Ig.,
Gamayunov A.Y.**
Analysis of the current level of technology
and engineering development of coolant filtration
in automotive and tractor engines

12

НОВЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

NEW MACHINES AND EQUIPMENT

Семенов А.Г.
Конструктивные особенности бронированного трактора
для жарких климатических условий

Semenov A.G.
Design characteristics of an armored tractor
for hot climate

21

**Головин А.Ю., Сабиев У.К., Чупин П.В.,
Союнов А.С., Прокопов С.П.**
Анализ работы плоского решета, совершающего колебания
в горизонтальной плоскости

**Golovin A.Yu., Sabiyev U.K., Chupin P.V.,
Soyunov A.S., Prokopov S.P.**
Analysis of the operation of a flat sieve that vibrates
in a horizontal plane

27

ТЕОРИЯ, КОНСТРУИРОВАНИЕ, ИСПЫТАНИЯ

THEORY, DESIGN, TESTING

Романюк Н.Н., Еднач В.Н., Войнаш С.А.
Влияние формы клубней картофеля на качество
разделения на фракции рабочими органами
картофелесортировальных машин

Romanyuk N.N., Yednach V.N., Voynash S.A.
Influence of the shape of potato tubers on the quality
of separation into fractions by the working bodies
of potato sorting machines

35

Куваев А.Н.
Определение удельного сопротивления почвы при глубокой
безотвальной обработке в условиях Северного Казахстана

Kuvayev A.N.
Determination of the specific soil resistance using deep
subsurface tillage in conditions of Northern Kazakhstan

45

Абилжанулы Т., Абилжанов Д.Т.
Определение скорости перемещения предварительно
измельченного сена по поверхности решета сепаратора
листовой части трав

Abilzhanuly T., Abilzhanov D.T.
Determination of the rotation speed of chopped hay
on the surface of the separator sieve of the leaf part
of herbs

53

КАЧЕСТВО, НАДЕЖНОСТЬ

QUALITY, RELIABILITY

Гольяпин В.Я.
Современные селекционные и семеноводческие
зерноуборочные комбайны зарубежных компаний

Gol'tyapin V.Ya.
Modern selection and seed grain harvesters
of foreign companies

58

**Шмидт А.Н., Кем А.А., Чекусов М.С.,
Кузьмин Д.Е., Союнов А.С.**
Обоснование режимов работы игольчатого диска
новой конструкции

**Shmidt A.N., Kem A.A., Chekusov M.S.,
Kuz'min D.E., Soyunov A.S.**
Justification of the operating modes of the needle disk
of a new design

70

ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ
И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВАECONOMICS, ORGANIZATION
AND TECHNOLOGY OF MANUFACTURING

Мельников Д.Г., Царев Ю.А., Адамчукова Е.Ю.
«Точка морального старения» сложной
сельскохозяйственной техники

Mel'nikov D.G., Tsarev Yu.A., Adamchukova Ye.Yu.
The point of obsolescence of complex agricultural
machinery

76

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении по каталогу
«Пресса России» – индекс 27863, а также в агентствах: «Информнаука», тел. (495) 787-38-73, gladkih@viniti.ru;
«Урал-Пресс», тел. (495) 789-86-36, e_timoshenkova@ural-press.ru;
«МК-Периодика», тел. (495) 672-70-89, chernous@periodicals.ru

Перепечатка материалов из журнала возможна при обязательном письменном согласии редакции.
При перепечатке ссылка на журнал «Тракторы и сельхозмашины» обязательна.

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

За приводимые в статьях факты, точность расчетов и экспериментальных данных,
а также за точность цитирования и ссылок на источники ответственность несут авторы.

ОСОБЕННОСТИ СЕРТИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ШИН С МАКСИМАЛЬНЫМ УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

SPECIFICS OF CERTIFICATION OF AGRICULTURAL TIRES WITH MAXIMUM CONSIDERATION OF THEIR OPERATING CONDITIONS

С.В. ГОНЧАРЕНКО¹

З.А. ГОДЖАЕВ², д.т.н.

В.И. ПРЯДКИН¹, д.т.н.

А.В. АРТЕМОВ¹

Т.З. ГОДЖАЕВ²

¹ Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия, vip16.vgtu@mail.ru

² Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Москва, Россия

S.V. GONCHARENKO¹

Z.A. GODZHAEV², DSc in Engineering

V.I. PRYADKIN¹, DSc in Engineering

A.V. ARTYOMOV¹,

T.Z. GODZHAEV²

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia, vip16.vgtu@mail.ru

² Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

Проблемы качества и конкурентоспособности продукции носят в современном мире универсальный характер. Международный рынок постоянно требует повышения эксплуатационных свойств автомобилей, тракторов, сельхозтехники и других видов мобильных транспортных средств. А их невозможно повысить без существенного улучшения выходных эксплуатационных характеристик шин. Пневматические шины относятся к числу ответственных узлов мобильных средств, оказывающих существенное влияние на их основные эксплуатационные свойства и поэтому, как комплексное изделие, вошли в перечень подлежащих утверждению в соответствии с правилами № 106 для сельскохозяйственных транспортных средств и их прицепов. Целью исследований являлась разработка рекомендаций по совершенствованию методики проведения сертификационных испытаний сельскохозяйственных шин, направленных на повышение качества продукции. В статье рассматриваются методы сертификации и официального утверждения шин для сельскохозяйственных транспортных средств и их прицепов. Анализируются недостатки метода сертификации сельскохозяйственных шин по методу автомобилей. Предлагается дополнить сертификацию разработанными в РФ методами испытаний, в максимальной степени приближенными к условиям эксплуатации сельскохозяйственных транспортных средств и шин тяговых машин. Приводится опыт работы фирм Bridgestone и Michelin в условиях РФ. Отсутствием в России национальной системы сертификации шин обусловлены во многих случаях поломки транспортных средств, приводящие к простоям, а также к возникновению аварийных ситуаций. При серьезных авариях на транспорте, когда нет достаточной ясности причин аварии или ясно, что авария связана с выходом из строя шин, пострадавшие возбуждают судебные преследования производителей, сопровождающиеся также выплатой денежных компенсаций. При этом за потерями потребителей, как правило, скрываются массовые производственные дефекты. Для повышения качества сельскохозяйственных шин предлагается пересмотреть Правила ЕЭК ООН № 106 в максимальном приближении к условиям эксплуатации, а также создать независимый аккредитованный шинный центр.

Ключевые слова: оценка качества, сертификация, скорости движения, нагрузка, ходимость, тяговая характеристика, тяговый класс шины, воздействие на почву, экологическая безопасность, износостойкость, загрязнение окружающей среды, повышение качества испытаниями, максимально приближенными к условиям эксплуатации.

The problems of product quality and competitiveness are typical in the modern world. The international market constantly demands the improvement of the performance properties of automobiles, tractors, agricultural machinery and other types of mobile vehicles. At the same time, they can not be increased without significant improving of the tire performance characteristics. Pneumatic tires are among the critical units of mobile vehicles that have a significant impact on the following performance properties; therefore, as a complex product, they were included in the list of approval in accordance with Regulation No 106 for agricultural vehicles and their trailers. The purpose of the research was to develop recommendations for improving the methodology of conducting certification tests of agricultural tires aimed at improving product quality. The article discusses the methods of certification and approval of tires for agricultural vehicles and their trailers. The drawbacks of the method of certification of agricultural tires using the method of automobile ones are analyzed. It is proposed to supplement the certification with test methods developed in the Russian Federation that are as close as possible to the operating conditions of agricultural vehicles and tires of traction machines. The experience of work of "Bridgestone" and "Michelin" companies in the Russian Federation is presented. The absence of a national tire certification system in Russia influence in many cases vehicle breakdowns, which lead to downtime, as well as to the occurrence of accidents. In case of serious accidents in transport, when there is insufficient clarity of the causes of the accident or it is clear that the accident is related to tire failure, the

victims initiate legal proceedings against the manufacturers, involving the payment of monetary compensation. At the same time, mass production defects are usually hidden behind the losses of consumers. To improve the quality of agricultural tires, it is proposed to revise UN/ECE Regulation No 106 as close as possible to operating conditions, as well as to create an independent accredited tire center.

Keywords: quality assessment, certification, travel speeds, load, mileage, traction performance, traction class of the tire, impact on the soil, environmental safety, wear resistance, environmental pollution, quality improvement by tests as close as possible to operating conditions.

Введение

Проблемы качества и конкурентоспособности продукции носят в современном мире универсальный характер [1]. Экономическая и социальная жизнь любой страны зависит от успешного повышения технического уровня и конкурентоспособности ее продукции. Проблема повышения качества продукции актуальна для любого предприятия. Международный рынок постоянно требует повышения эксплуатационных свойств автомобилей, тракторов, сельхозтехники и других видов мобильных транспортных средств. А их невозможно повысить без существенного улучшения выходных эксплуатационных характеристик шин.

Пневматические шины относятся к числу ответственных узлов мобильных средств, оказывающих существенное влияние на их основные эксплуатационные свойства: экономичность, безопасность, устойчивость, управляемость, надежность, комфортабельность и проходимость, и поэтому, как комплексное изделие, подпали в перечень подлежащих утверждению в соответствии с Правилами № 106 для сельскохозяйственных транспортных средств и их прицепов [2, 3, 4].

Для шин тракторов, комбайнов и других мобильных средств сельскохозяйственного назначения характерны специфические режимы работы: это высокие нагрузки в сочетании с длительным движением на повышенных транспортных скоростях, со значительной температурой саморазогрева шины. Эти шины часто эксплуатируются в полевых условиях, на бездорожье, поэтому должны иметь высокую прочность, выдерживать большие нагрузки и перегрузки, противостоять механическим повреждениям, обладать высокими тяговыми и тормозными свойствами на мягких грунтах. Следовательно, к качеству шин предъявляются высокие требования, поэтому для защиты потребителей Европейская экономическая комиссия ООН в 1958 г. подписала соглашение о принятии единообразных условий по проверке на однородность и взаимного призна-

ния однородности предметов оборудования и частей транспортных средств, которые действуют на сегодняшний день. В связи с вышеуказанными обстоятельствами в конце 80-х г. прошлого столетия в Европе были созданы независимые научные испытательные центры, аккредитованные лаборатории и испытательные полигоны для проведения сертификационных испытаний шин, оснащенные самой современной испытательной техникой, оборудованием и программным обеспечением. С независимыми центрами и аккредитованными лабораториями производители шин заключали финансовые соглашения по всестороннему испытанию шин. Это объясняется желанием избежать судебных преследований после возможных аварий, связанных с шинами. Однако независимая организация, производившая сертификацию шин, не являлась органом, которая несла ответственность за качество шин, прошедших сертификационные испытания. Ответственность за качество продукции полностью возлагалось на производителя шин [5, 6, 7].

В связи с этим постоянно развивается стандартизация уровня норм на важнейшие показатели шин. Примером может служить обязательное выполнение принятых Европейской экономической комиссией Организации Объединенных Наций (ЕЭК ООН) Правил № 30, 54, 75, 106, 108, 109, а также последнее принятие Правил №117.

Цель исследований

Разработка рекомендаций по совершенствованию методики проведения сертификационных испытаний сельскохозяйственных шин (Правила № 106), направленных на повышение качества продукции.

Методы и средства проведения исследований, результаты и обсуждение

Для оценки качества и сертификации пневматических шин в 1950-х г. по инициативе представителей экономически развитых стран под эгидой

ООН были разработаны и в 1958 г. приняты «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения шин для автомобилей и их прицепов» (Правила № 30), а также «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения шин транспортных средств неиндивидуального пользования и их прицепов» (Правила № 54), которые действительны во всем мире до настоящего времени.

Однако в то время вся сельскохозяйственная техника и машины тягового класса выпускали только на гусеничном ходу или на металлических колесах с шипами, а колеса прицепов иногда покрывали по окружности обода гусматиком. В настоящее время парк колесных тракторов, оснащенных пневматическими шинами, составляет $\approx 70 \div 80$ %. Поэтому разработаны и 7 мая 1998 г. вступили в силу «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения шин транспортных средств неиндивидуального пользования и их прицепов» (Правила № 106). Отметим, что все сельскохозяйственных шины относятся к категории скорости менее 80 км/ч. В Правилах № 106 максимальная контрольная скорость принимается равной 65 км/ч.

В Правилах № 30 и 54 введен «индекс несущей способности», определяющий максимальную нагрузку, выдерживаемую шиной при скоростях, соответствующих надлежащей «категории скорости». Последняя трактуется как скорость, при которой шина может выдерживать нагрузку, указанную «соответствующим индексом несущей способности». В Правилах приведены таблицы обозначений категорий и соответствующие им величины скоростей: в Правилах № 30— $120 \leq v \leq 210$ км/ч, а в Правилах № 54— $80 \leq v \leq 210$ км/ч. В разделе «Область применения» Правил № 54 подчеркивается, что они не распространяются на «шины, относящиеся к категории скорости менее 80 км/ч», поскольку в этом случае «индекс несущей способности» практически не зависит от категории скорости».

К основным эксплуатационным характеристикам шин, предназначенных для сельскохозяйственных транспортных средств (СХТС), в первую очередь относятся тягово-сцепные качества, экологическая безопасность, грузоподъемность, надежность в эксплуатации. Характерная особенность работы СХТС – низкая скорость и большие тяговые усилия, развиваемые их двигателями. Так, в соответствии с ГОСТ 7463-2003, гарантийная наработка шин

для тракторов, самоходных шасси и тракторных прицепов при объеме транспортных работ до 30 % задается в интервале скоростей движения $6,4 \leq v \leq 10,9$ км/ч [8]. Грузоподъемность сельскохозяйственных шин определяется заданной постоянной величиной расчетного прогиба шины. В ГОСТ 7463-2003 это условие задается величинами наружного диаметра и статического радиуса, а также в приложении 1 «Нормы для выбора режима работы шин при различных условиях эксплуатации» на скорости, не превышающей 30 км/ч [8]. Соблюдение норм по нагрузкам и давлению в шинах обеспечивает постоянный прогиб. Экспериментальной проверкой этого условия [9] и оценивается соответствие грузоподъемности испытуемой шины требованиям, предъявляемым ГОСТ 7463-2003 [8]. Из изложенного следует, что формальный перенос из Правил № 30 и 54 в Правила № 106 показателя «категория скорости» для оценки несущей способности шин для СХТС и их прицепов не обоснован и противоречит установившейся международной практике.

Классификация СХТС по типу ходовых систем и другим конструктивным признакам основывается на накопленном опыте их эксплуатации и отражена в соответствующих ГОСТах, международных стандартах, ИСО и включает в себя тракторы, самоходные шасси, комбайны, прицепы, тягово-приводные агрегаты и другие сельхозмашины и орудия. Предназначаемые для комплектации колесных движителей СХТС шины, в соответствии с ГОСТ 7463-2003, классифицируются как шины для ведущих, направляющих и несущих колес. Выпуск шин для ведущих колес в 3–4 раза выше, чем всех других вместе взятых [8].

Классификация СХТС по тяговому усилию основывается на параметре, характеризующем в первую очередь их тяговые возможности как преимущественно тяговых машин, который должен быть стабильным во времени. В соответствии со стандартами СТ СЭВ 628-85 и ГОСТ 27021-86 тяговый класс сельскохозяйственных тракторов определяется номинальным тяговым усилием на крюке [10]. Соотношения между тяговыми классами и категориями тракторов установлены международным стандартом ИСО 730 и приводятся в приложении 4 ГОСТ 27021-86 [10]. В соответствии с ним номинальное тяговое усилие трактора определяется как развиваемое в зоне максимального тягового КПД при соответствующем допуска-

емом предельным буксованием, значения которого даны в приложении к этому ГОСТу. Экспериментальная оценка номинального тягового усилия трактора проводится по ГОСТ 7057-2001 на стерне колосовых средней плотности и нормальной влажности [11]. Тягово-сцепные качества шин СХТС должны соответствовать их тяговому классу, который оценивается по отраслевой методике [12]. В работе Э.Б. Станкевича [13] изложены теоретические и методические основы исследования тягово-сцепных свойств тракторных шин. Для расчета тяговой характеристики шины сначала экспериментальным путем строят ее базовую характеристику: $M_k = f_1(P_k)$ и $r_k = f_2(P_k)$, где M_k – крутящий момент, подводимый к оси колеса, P_k – сила тяги, развиваемая колесом, r_k – радиус его качения, а затем тяговую характеристику: $\delta = f_3(P_k)$ и $\eta = f_4(P_k)$, где δ – буксование колеса, η – коэффициент полезного действия колеса (шины) (рис. 1). На их основании составляется сводная таблица тягово-сцепных свойств шины, определяются оптимальные значения силы тяги и буксования колеса, соответствующие максимальному КПД шины.

Сопоставляя полученные результаты с требованиями ГОСТ 27021-86, устанавливают тяго-

вый класс шины и категорию трактора, для комплектации которого ее можно рекомендовать [10]. Как видно из изложенного, в Правилах № 106 вместо показателя «категория скорости», не соответствующего общепринятому методу оценки несущей способности шин СХТС, необходимо ввести показатель «категория тягового класса» в соответствии с ГОСТ 27021-86 [10].

Необходимо рассмотреть ситуацию с охраной окружающей среды и экологической безопасностью. В 1986 г. введены в действие: ГОСТ 26955-86 «Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву»; ГОСТ 26953-86 «Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителя на почву»; ГОСТ 26954-86 «Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения максимального нормального напряжения в почве» [14, 15, 16]. В соответствии с ними у всех шин СХТС, подлежащих межведомственным приемочным испытаниям, в обязательном порядке снимают отпечатки площади контакта с опорной поверхностью (рис. 2) в зависимости от радиального прогиба шины и оценивают максимальное давление на почву и коэффициент неравномерности его распределения по длине контакта (рис. 3). В Правилах № 106 требования

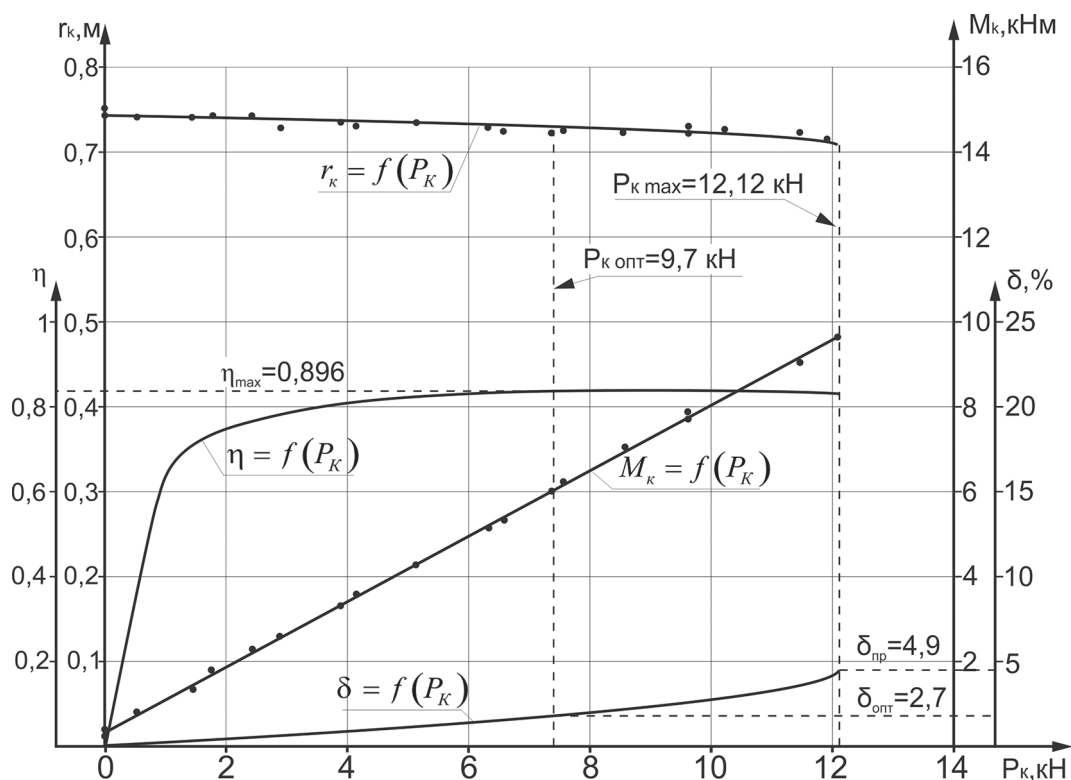


Рис. 1. Базовая характеристика шины 15,5R38 мод. Ф-2А при давлении воздуха $P_w = 80$ кПа и радиальной нагрузке $C_z = 1420$ кг на сухой стерне озимых колосовых. Класс шины $P_{кл} = 9,7$ кН соответствуют классу трактора 1,4 с двумя ведущими колесами



Рис. 2. Отпечатки площадей контакта тракторной шины 7,5L-16 с рисунком протектора «косая елка».

Слева – контурная площадь контакта; справа – фактическая площадь контакта по грунтозацепам

этих ГОСТов полностью проигнорированы, что также ставит под сомнение их практическую значимость и целесообразность применения. Необходимо ввести в Правила № 106 определение «максимальное воздействие на почву».

Как известно, в настоящее время транспорт – это один из основных источников загрязнения окружающей среды [17]. По некоторым оценкам до 30 % этих загрязнений (особенно канцерогенные вещества, выделяющиеся в процессе износа резины) приходится на эксплуатацию шин. Интенсивность загрязнения окружающей среды шиной пылью уже

достигает несколько тонн в час. Учитывая, что СХТС не менее чем наполовину заняты на транспортных работах, их доля в загрязнении окружающей среды существенна.

В экономически развитых странах организуется контроль за эффективной эксплуатацией шин, который включает в себя систематическое наблюдение за их техническим состоянием. В нашей стране интенсивность износа протектора с.х. шин контролируется в соответствии с методиками ускоренных износных испытаний тракторных шин на полигонах [18] (рис. 4) и № 1-84 Государственных испытаний сельскохозяйствен-

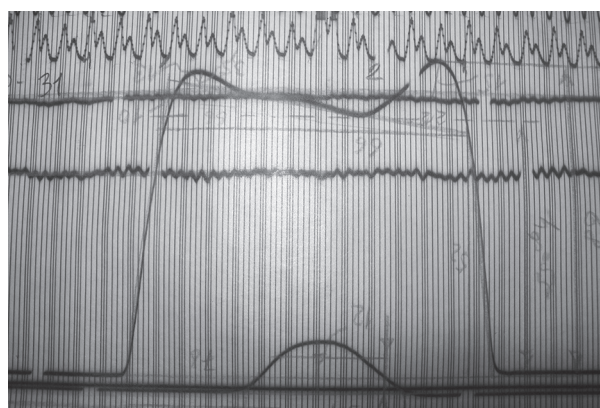


Рис. 3. Неравномерность распределения максимального давления шины 7,5L-16 с рисунком протектора «косая елка» по длине контакта

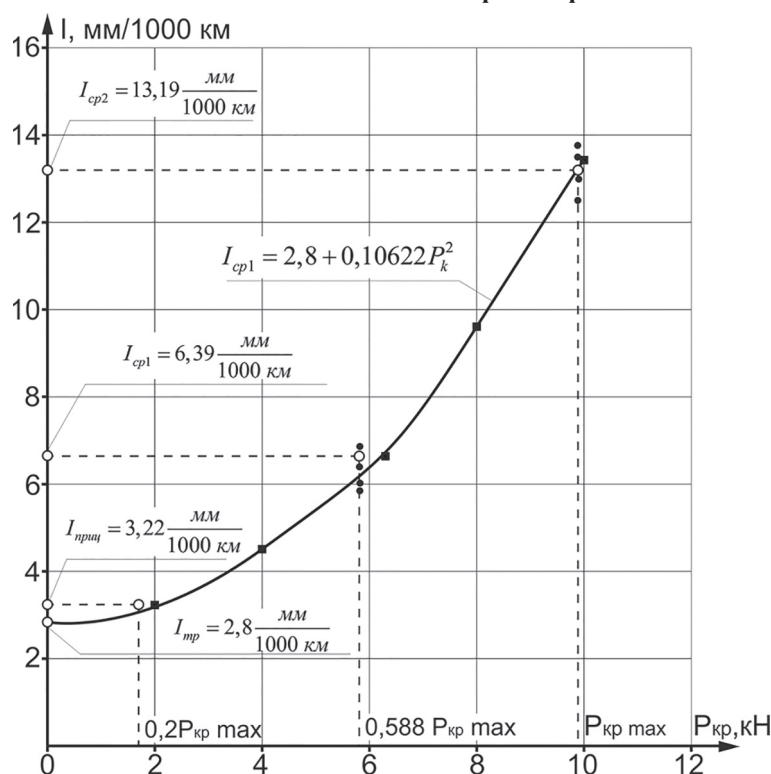


Рис. 4. Зависимость интенсивности износа протектора I шины 15,5R38 мод. Ф-2А на бетонной дорожке полигона от тяговой нагрузки $P_{кр}$ на крюке

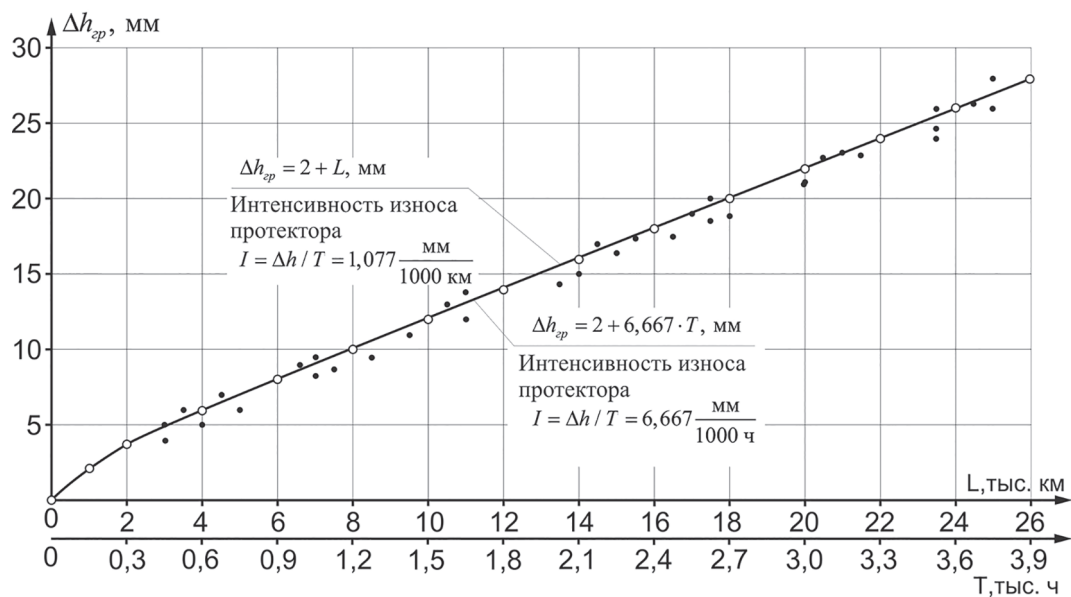


Рис. 5. Зависимость износа протектора Δh шин 15,5R38 мод. Ф-2А от наработки L, T по результатам эксплуатации в Московской области по Методике № 1-84

ных шин на надежность (рис. 5). ГОСТ 7463-2003 регламентирует гарантийные наработки с.х. шин отечественного производства.

Из практики известно, что интенсивность износа зависит не только от условий и режима эксплуатации СХТС, но в первую очередь от износостойкости протекторной резины, которая определяется физико-механическими свойствами, гарантируемыми рецептурным составом, уровнем технологии и качеством изготовления. Методика [18] позволяет оценивать эти свойства постоянным во времени коэффициентом, не зависящим от нагружения колеса, давления воздуха в шине и ее геометрических параметров, а определяемым только физико-механическими свойствами резины. Поэтому для нормирования и контроля уровня загрязнения окружающей среды шинной пылью в Правила № 106 следует ввести определения: «предельно допустимая интенсивность износа» и «показатель износостойкости протектора». Это позволит в процессе сертификации шин СХТС не только оценивать уровень экологической безопасности, но и контролировать качество их изготовления. В качестве примера успешного повышения качества шин можно привести опыт адаптации фирм Bridgestone и Michelin в условиях РФ. Повышение качества шин вышеприведенных фирм базируется на построении системы испытаний, в максимальной степени приближенных к условиям эксплуатации.

Интенсивность износа на транспортных работах:

– при движении без прицепа

$$I_{тр} = 2,8 \frac{\text{мм}}{1000 \text{ км}} \leq [I_{доп}] = 5 \frac{\text{мм}}{1000 \text{ км}};$$

– при движении с прицепом

$$I_{тр} = 3,22 \frac{\text{мм}}{1000 \text{ км}} \leq [I_{доп}] = 5 \frac{\text{мм}}{1000 \text{ км}}.$$

Фирма Bridgestone, руководствуется концепцией Всеобщего управления качеством, элементами которого являются акцент на потребителя и постоянное улучшение качества продукции, учитывая возможные перегрузы и изменение средних скоростей движения, и совершенствует шины под каждый конкретный ГОК Кемеровской области.

Анализ ходимости шин размера 33.00R51 фирмы Bridgestone мод VRLS в ГОКе «Черниговец» Кемеровской обл. свидетельствует о снижении их ходимости с 91917 км в 2007 г. до 83439 км в 2012 г., что заставило разработать и внедрить новую модель VRDP этого размера. В настоящее время шины находятся в эксплуатации. Анализ ходимости шин размера 33.00R51 фирмы Bridgestone на других ГОКах свидетельствует о постоянном росте их ходимости. Так, в Краснобродском угольном разрезе Кемеровской области с 2007 г. ходимость шин увеличилась по сравнению с 2012 г. с 109,9 до 114 тыс.км пробега, в Осинниковском угольном разрезе Кемеровской области она соответственно составила от 119 до 129,8 тыс.км пробега. И, хотя конкурирую-

шей фирмой в этом регионе является Michelin (у шин этого же размера моделей XDR B, XDR B4 пробег в 2014 г. составил 117778 км), это свидетельствует о высоком качестве продукции фирмы Bridgestone.

Проведенный анализ ходимости шин вышеуказанных фирм показывает, что комплексные испытания они проводят в приближенных к реальным условиям эксплуатации. А реальные условия эксплуатации ежегодно меняются, поэтому и методика испытаний по Правилу № 106 должна быть пересмотрена в сторону максимального приближения к условиям эксплуатации [19, 20].

Вызывает удивление пассивная позиция к содержанию Правил № 106, которую заняли основные потребители шин СХТС – заводы-изготовители сельскохозяйственных мобильной техники, а также специалисты сельского хозяйства. Правила № 106, как минимум, требуют существенной доработки по аналогии с Правилами № 30 и 54: необходимо дополнить их определениями «категория тягового класса», «максимальное давление шины на почву» и «максимальная интенсивность износа протектора». Можно с большой степенью вероятности предположить, что наиболее категоричные возражения против этого будут исходить от производителей шин. Поэтому было бы весьма желательно, чтобы конструкторы заводов-изготовителей СХТС и специалисты сельского хозяйства высказали свое отношение к этому предложению.

Хотелось бы надеяться, что с целью стимулирования повышения качества изготовления современных СХТС и прицепов к ним Госстандарт РФ возьмет на себя инициативу и выступит с предложениями по вопросу приведения «Единообразных предписаний, касающихся официального утверждения пневматических шин для сельскохозяйственных транспортных средств и их прицепов» (Правила № 106) в соответствие с перечисленными требованиями.

Проведенный анализ показал, что в начале XXI века шинная отрасль России столкнулась с парадоксальной ситуацией – отсутствием национальной системы сертификационных испытаний шин. Поэтому каждый шинный завод обрабатывает конструкции шин собственными, имеющимися силами и способами, не представляя шины на испытания в национальную техническую службу по проведению сертификационных испытаний шин мобильных средств.

Отсутствием в нашей стране национальной системы сертификации шин обусловлены во многих случаях поломки транспортных средств, приводящие к простоям, а также к возникновению аварийных ситуаций. При серьезных авариях на транспорте, когда нет достаточной ясности причин аварии или ясно, что авария связана с выходом из строя шин, пострадавшие возбуждают судебные преследования производителей, сопровождаемые также выплатой денежных компенсаций. В силу специфических особенностей судебной защиты потребителей в нашей стране шинные заводы не несут больших материальных затрат и уголовных преследований. При этом за потерями потребителей, как правило, скрываются массовые производственные дефекты.

Создание в России сертификационных научных испытательных центров позволит обеспечить укрепление и защиту ее позиций на внутреннем рынке шин путем сокращения времени на разработку и испытание новых образцов, а также создать цивилизованное правовое поле, расширив и улучшив тем самым судебную практику по защите потребителей. Вопрос качества шин станет в этом аспекте одной из серьезных проблем для производителей шинной продукции, что потребует принятия ими кардинальных мер по усилению контроля качества.

Выводы

1. Для повышения качества шин СХТС и шин тяговых машин рекомендовать Росстандарту РФ пересмотр сертификации Правил ЕЭК ООН № 106 в максимальном приближении к условиям эксплуатации.

2. Рекомендовать Европейской экономической комиссии Объединенных Наций (ЕЭК ООН) пересмотреть Правила № 106 в приближении к условиям эксплуатации или разработать и ввести новые Правила для СХТС и шин тяговых машин с акцентом на потребителей.

3. Рекомендовать Минсельхозу России создание независимого аккредитованного шинного центра.

Литература

1. Медведицков С.И. Совершенствование системы испытаний шин как главное направление улучшения их эксплуатационных свойств; Бобруйский филиал Белорусского государственного

- экономического университета. Бобруйск. Беларусь. № 1. 2014. С. 164–168.
2. Бойков В.П., Белковский В.Н. Шины для тракторов и сельскохозяйственных машин. Москва: Агропромиздат, 1988. 240 с.
 3. Прядкин В.И., Гончаренко С.В. Шины сверхнизкого давления для сельскохозяйственных мобильных средств; М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». Воронеж, 2016. 240 с.
 4. Прядкин В.И., Шапиро В.Я., Годжаев З.А., Гончаренко С.В. Транспортно-технологические средства на шинах сверхнизкого давления / М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». Воронеж, 2019. 492 с.
 5. Евзович В.Е., Райбман П.Г. Автомобильные шины, диски и ободья. М.: Автополис-плюс, 2010. 144 с.
 6. Гуслицер Р.Л. Шины и автомобиль. М.: НТЦ «НИИШП», 2007. 284 с.
 7. Захаров С.П. Система испытаний шин. М.: НТЦ «НИИШП», 2007. 264 с.
 8. ГОСТ 7463-2003 Шины пневматические для тракторов и сельскохозяйственных машин. Технические условия. Введ. 2005-01-01. М.: Изд-во стандартов, 2003. 28 с.
 9. Разработка единой методики комплексных испытаний тракторных шин. Отчет о НИР/НПО НАТИ, арх. № 23517. М., 1981. 49 с.
 10. ГОСТ 27021-86. Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Введ. 1987-01-07. М.: Изд-во стандартов, 1987. 8 с.
 11. ГОСТ 7057-2001 Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний. Введ. 2003-01-01. М.: Изд-во стандартов, 2003. 11 с.
 12. Разработка внедрение отраслевой методики испытаний и оценки тягово-сцепных свойств тракторных шин в лабораторных и полевых условиях: Отчет о НИР/НПО НАТИ. ВНИИЦ 02850036255. М., 1984.
 13. Станкевич Э.Б. Теоретические основы исследования тягово-сцепных свойств тракторных шин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1985. № 9. С. 7–10.
 14. ГОСТ 26953-86 Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву. Введ. 1987-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1986. 11 с.
 15. ГОСТ 26954-86 Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения максимального нормального напряжения в почве. Введ. 1987-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1986. 9 с.
 16. ГОСТ 26955-86 Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву. Введ. 1987-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1986. 7 с.
 17. Годжаев З.А., Аврамов Д.В., Мартынов Н.В., Белоусов Б.Н., Добромиров В.Н. Экологическая безопасность транспортно-технологических средств // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2019. № 2. С. 40–47.
 18. Межотраслевая методика ускоренных износных испытаний тракторных шин на полигонах: Отчет о НИР/НПО НАТИ. ВНИИЦ 02850036256. М., 1984.
 19. Гончаренко С.В., Годжаев З.А., Станкевич Э.Б., Мир-Касимов В.В., Быкадоров З.Б., Корень В.В. Идентификация шин по эксплуатационным показателям // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2007. № 7. С. 16–19.
 20. Ребров Ю.А., Мигущенко Р.П. Использование идентификационных технологий при идентификации показателей инновационных тракторных сельскохозяйственных шин категории IF и VF // Механика та машинобудування. 2015. № 1. С. 98–105.

References

1. Medveditskov S.I. Improvement of the tire testing system as the main direction of improving their performance. Bobruyskiy filial Belorusskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta [Babruysk branch of Belarus State Economic University]. Bobruysk. Belarus'. 2014. No 1, pp. 164–168 (in Russ.).
2. Boykov V.P., Belkovskiy V.N. Shiny dlya traktorov i sel'skokhozyaystvennykh mashin [Tires for tractors and agricultural machinery]. Moscow: Agropromizdat Publ., 1988. 240 p.
3. Pryadkin V.I., Goncharenko S.V. Shiny sverkh-nizkogo davleniya dlya sel'skokhozyaystvennykh mobil'nykh sredstv [Ultra low pressure tires for agricultural mobile vehicles]. M-vo obrazovaniya i nauki RF, FGBOU VO «VGLTU» Publ. Voronezh, 2016. 240 p.
4. Pryadkin V.I., Shapiro V.Ya., Godzhayev Z.A., Goncharenko S.V. Transportno-tekhnologicheskoye sredstva na shi-nakh sverkh-nizkogo davleniya [Vehicles on ultra-low pressure tires]. M-vo obrazovaniya i nauki RF, FGBOU VO «VGLTU» Publ. Voronezh, 2019. 492 p.
5. Yevzovich V.E., Raybman P.G. Avtomobil'n-yye shiny, diski i obod'ya [Automobile tires, wheels and rims]. Moscow: Avtopolis-plyus Publ., 2010. 144 p.
6. Guslitsker R.L. Shiny i avtomobil' [Tires and automobile]. Moscow: NTTs «NIISHP» Publ., 2007. 284 p.

7. Zakharov S.P. Sistema ispytaniy shin [Tire testing system]. Moscow: NTTs «NIISHP» Publ., 2007. 264 p.
8. GOST 7463-2003 Pneumatic tires for tractors and agricultural machines. Specifications. Vved. 2005-01-01. Moscow: IPK Izd-vo standartov Publ., 2003. 28 p.
9. Razrabotka yedinoi metodiki kompleksnykh ispytaniy traktornykh shin. Otchet o NIR/NPO NATI [Development of a unified methodology for comprehensive testing of tractor tires. Research report of Research and Production Union NATI], arkh. No 23517. Moscow, 1981, 49 p.
10. GOST 27021-86. Agricultural and forestry tractors. Vved. 1987-01-07. Moscow: Izd-vo standartov Publ., 1987. 8 p.
11. GOST 7057-2001 Agricultural tractors. Test methods. Vved. 2003-01-01. Minsk: IPK Izd-vo standartov Publ., 2003. 11 p.
12. Razrabotka vnedreniye otraslevoy metodiki ispytaniy i otsenki tyagovo-stsepnnykh svoystv traktornykh shin v laboratornykh i polevykh usloviyakh: Otchet o NIR/NPO NATI [Development and implementation of industry-specific test methods and assessment of traction properties of tractor tires in laboratory and field conditions: research report of Research and Production Union NATI]. VNTITs 02850036255. Moscow, 1984.
13. Stankevich E.B. Theoretical foundations of the study of traction and coupling properties of tractor tires. Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva. 1985. No 9, pp. 7–10 (in Russ.).
14. GOST 26953-86 Agricultural mobile equipment. Methods for determining the impact of propellers on the soil. Vved. 1987-01-01. M.: Izd-vo standartov Publ., 1986. 11 p.
15. GOST 26954-86 Agricultural mobile equipment. Methods for determining the maximum normal stress in soil. Vved. 1987-01-01. Moscow: Izd-vo standartov Publ., 1986. 9 p.
16. GOST 26955-86 Agricultural mobile equipment. Standards for the impact of propellers on the soil. Vved. 1987-01-01. Moscow: Izd-vo standartov Publ., 1986. 7 p.
17. Godzhayev Z.A., Avramov D.V., Martynov N.V., Belousov B.N., Dobromirov V.N. Environmental safety of transport and technological means. Sel'skokhozyaystvenn-yye mashiny i tekhnologii. 2019. No 2, pp. 40–47 (in Russ.).
18. Mezhotraslevaya metodika uskorennykh iznosnykh ispytaniy traktornykh shin na poligonakh: Otchet o NIR/NPO NATI [Interindustry methodology for accelerated wear tests of tractor tires at testing centers: research report of Research and Production Union NATI]. VNTITs 02850036256. Moscow, 1984.
19. Goncharenko S.V., Godzhayev Z.A., Stankevich E.B., Mir-Kasimov V.V., Bykadorov Z.B., Koren' V.V. Identification of tires by performance characteristics. Traktory i sel'skokhozyaystvenn-yye mashiny. 2007. No 7, pp. 16–19 (in Russ.).
20. Rebrov Yu.A., Migushchenko R.P. The use of identification technologies in the identification of characteristics of innovative tractor agricultural tires of IF and VF categories. Mekhanika ta mashinobudovaniya. 2015. No 1, pp. 98–105 (in Russ.).

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО УРОВНЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИКИ ФИЛЬТРАЦИИ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В АВТОМОБИЛЬНЫХ И ТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

ANALYSIS OF THE CURRENT LEVEL OF TECHNOLOGY AND ENGINEERING DEVELOPMENT OF COOLANT FILTRATION IN AUTOMOTIVE AND TRACTOR ENGINES

С.Г. ДРАГОМИРОВ¹, д.т.н.
М.С. ДРАГОМИРОВ², к.т.н.
П.И. ЭЙДЕЛЬ²
А.Ю. ГАМАЮНОВ²

¹ Владимирский государственный университет
им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир, Россия
² ООО «НТЦ «АвтоСфера» при Владимирском
государственном университете
им. А.Г. и Н.Г. Столетовых», Владимир, Россия,
ds33@bk.ru

S.G. DRAGOMIROV¹, DSc in Engineering,
M.S. DRAGOMIROV², PhD in Engineering,
P.I.G. EYDEL²
A.Y. GAMAYUNOV²

¹ Vladimir State University, Vladimir, Russia
² LLC "STC "AutoSphere" at Vladimir State University", Vladimir,
Russia, ds33@bk.ru

В статье анализируются современные технологии и средства фильтрации (очистки) охлаждающей жидкости автомобильных и тракторных двигателей. Рассмотрена критически острая и до настоящего времени не решенная проблема загрязнения охлаждающей жидкости и систем охлаждения двигателей в целом. Дана общая оценка существующих технологий и устройств фильтрации. Все устройства фильтрации разделены на три группы, по каждой из которых приведен анализ их принципиальных недостатков и достоинств. Показано, что зарубежные конструкции фильтров не столько выполняют функцию фильтрации, сколько служат в качестве носителей специальных химических присадок для улучшения физико-химических свойств антифризов. Эти фильтры принципиально не могут быть полнопоточными, т.к. при их полном засорении прекратится циркуляция антифриза. В целом технологии фильтрации охлаждающей жидкости через пористые материалы (микропористый картон, химические волокна) или металлические сетки нельзя считать перспективными. Это обосновано тем, что в процессе очистки охлаждающей жидкости фильтрующие элементы подобного типа быстро засоряются, что существенно уменьшает количество пропускаемой жидкости. В предельном случае они вообще перестают пропускать жидкость. Также из-за быстрого загрязнения подобные фильтры жидкости требуют замены или очистки. Рассмотрены новая концепция модифицированной гидроциклонной очистки охлаждающей жидкости и разработанный на ее основе гидроциклонный фильтр-сепаратор (защищен патентом РФ на изобретение № 2625891). Приведено сравнение конкурентных показателей разработанного гидроциклонного фильтра-сепаратора с зарубежными аналогами. Гидроциклонные фильтры-сепараторы обладают целым рядом принципиальных достоинств: высокой производительностью и непрерывностью работы; предельно простой конструкцией; отсутствием фильтрующего элемента как такового и др. Сделан вывод о перспективности данного подхода к решению проблемы очистки охлаждающей жидкости двигателей автомобилей, автобусов, тракторов, строительно-дорожных и лесотехнических машин, сельскохозяйственной и армейской техники и др.

Ключевые слова: автомобильные и тракторные двигатели, охлаждающая жидкость, загрязнения, очистка, фильтры, гидроциклонные устройства.

The article analyzes modern technologies and means of filtering (cleaning) the coolant of automobile and tractor engines. A critical and still unresolved problem of contamination of the coolant and engine cooling systems in general is considered. A general assessment of existing filtration technologies and devices is given. All filtration devices are divided into three groups and an analysis of their principal disadvantages and advantages is given for each of the groups. It is shown that foreign filter designs do not perform the filtration function so much as they serve as carriers of special chemical additives to improve the physical and chemical properties of coolant. In principle, these filters cannot be full-flow, because if they are completely clogged, the circulation of coolant will stop. In general, technologies for filtering of coolant through porous materials (microporous cardboard, chemical fibers) or metal grids cannot be considered promising. This is justified by the fact that in the process of cleaning the coolant, filter elements of this type quickly become clogged and significantly reduce the amount of coolant passed. In the extreme case, they stop passing coolant at all. Also, due to rapid contamination, such filters need to be replaced or cleaned. A new concept of a modified hydrocyclone coolant cleaning and a hydrocyclone filter-separator developed on its basis (protected by the RF patent for invention No. 2625891) are considered. The comparison of competitive indicators of the developed hydrocyclone filter-separator with foreign analogues is given. Hydrocyclone filter-separators have a lot of fundamental advantages: high productivity and continuous operation; extremely simple design; the absence of the filter element itself, etc. The conclusion is made about the prospects of this approach to solving the problem of cleaning the coolant of engines of cars, buses, tractors, road construction and forestry machines, agricultural and army equipment, etc.

Keywords: automobile and tractor engines, coolant filtration, contamination, cleaning, hydrocyclone devices.

Введение

В области систем жидкостного охлаждения автомобильных и тракторных поршневых двигателей критически острой проблемой является загрязнение охлаждающей жидкости (ОЖ) и системы в целом. Эта проблема существует с момента появления систем жидкостного охлаждения. Но, к сожалению, она до сих пор эффективно не была решена в современной индустрии, т.к. применяемые до последнего времени технологии и устройства очистки ОЖ в процессе эксплуатации двигателей не соответствуют современным, постоянно возрастающим требованиям.

Актуальность решения проблемы загрязнения ОЖ автомобильных и тракторных поршневых двигателей обусловлена структурными и конструктивными усложнениями их систем жидкостного охлаждения (СЖО) при одновременном повышении требований к их надежности и теплоотводящей функции в процессе непрерывного форсирования двигателей [1, 2]. Неизбежность загрязнения системы охлаждения автотранспортных двигателей (особенно тяжелонагруженных) и отсутствие на сегодняшний день эффективных научно-технических решений в этой области делают решение данной проблемы загрязнения крайне актуальным в мировом двигателестроении.

Данные по эксплуатации автотранспортной техники показывают, что от 25 до 40 % неисправностей и отказов двигателей приходится на СЖО [3, 4]. Чаще всего неполадки в системе охлаждения появляются уже после 150...200 тыс. км пробега автомобиля. У двигателей тяжелых грузовиков (а также автобусов, сельскохозяйственных и промышленных тракторов, строительно-дорожных машин и т.п.), работающих обычно с 70...85%-й нагрузкой, из-за более тяжелых условий работы неполадки могут возникнуть уже после 500...700 часов эксплуатации.

Загрязнение ОЖ и системы охлаждения в целом неизбежно [5, 6] в силу наличия производственно-технологических причин (попадание в полости двигателя формовочного песка, стружки, частиц абразива, окалина в процессе производства) в результате действия эксплуатационных факторов (проявление кавитационной эрозии и химической коррозии металлических элементов системы охлаждения, наличие продуктов разложения антифризов и образование различных отложений в системе), а также

вследствие недостаточно высокой культуры эксплуатации (загрязнения песком, частицами герметиков, фрагментами прокладок, продуктами для предотвращения течей и др.).

Обобщенная причина появления (генерации) загрязнений в СЖО в процессе эксплуатации двигателя – физико-химическое взаимодействие ОЖ с различными разнородными элементами и материалами системы охлаждения [5]. Результатом этого физико-химического взаимодействия является кавитационная эрозия металлов, их химическая коррозия, образование накипи и различных отложений, разложение присадок, разрушение элементов системы и т.п.

К основным неисправностям СЖО относятся: различные течи, разрушение прокладок и сальников, ошибки в срабатывании термостатов и датчиков, закупоривание проточных каналов радиаторов, блоков и головок цилиндров. В условиях эксплуатации в системе охлаждения и ее элементах протекают процессы кавитационной эрозии и химической коррозии, появляются отложения на теплопередающих поверхностях (накипь), образуются продукты разложения и выработки антифризов. Все это приводит к ухудшению передачи тепла от нагретых деталей двигателя в систему охлаждения, что может вызвать его перегрев и снижение энергетических показателей, а также значительно повышает риск выхода двигателя из строя.

Все указанные проблемы СЖО при эксплуатации автотранспортных двигателей в значительной степени обусловлены наличием в ОЖ загрязнений различной природы [6].

Цель исследований

Критический анализ существующих технологий и устройств фильтрации (очистки) охлаждающей жидкости современных автомобильных и тракторных двигателей и определение на основе этого анализа перспективного направления развития высокоэффективной фильтрации ОЖ.

Материалы и методы

В настоящее время очистке ОЖ и поддержанию чистоты системы жидкостного охлаждения в целом уделяется незаслуженно мало внимания как за рубежом, так и в России.

Среди немногочисленных публикаций по этой тематике известны только три зару-

бежные работы [7–9], действительно обладающие научной ценностью. Все остальные зарубежные публикации носят неглубокий информационно-описательный, либо рекламно-ознакомительный характер.

В России научные публикации по этой тематике до последнего времени практически отсутствовали и научно-исследовательские работы не проводились, за исключением нескольких инициативных исследований.

К сожалению, это не свидетельствует об отсутствии проблемы фильтрации охлаждающей жидкости, а говорит лишь о ее сложности и нерешенности в современной науке и практике двигателестроения.

Современные устройства фильтрации (очистки) охлаждающей жидкости транспортных двигателей обладают низкой эффективностью вследствие явной шаблонности конструкций и отсутствия инновационных подходов к решению задачи фильтрации ОЖ.

Высокоэффективная фильтрация ОЖ действительно является сложной технической задачей в связи с тремя обстоятельствами:

- расходы ОЖ в контуре системы охлаждения могут достигать у двигателей легковых автомобилей величины 100...150 л/мин., у двигателей грузовых автомобилей – 250...350 л/мин., у тракторных дизелей – 200...300 л/мин.;
- рабочие температуры ОЖ составляют + 80...105 °С (кратковременно до +125 °С);
- современные антифризы представляют собой агрессивные жидкости (смесь воды с этиленгликолем или пропиленгликолем), что предъявляет особые требования к материалам фильтра.

Эти обстоятельства делают весьма сложной задачу высокоэффективной фильтрации (очистки) ОЖ на борту автомобиля или трактора. Значительные расходы агрессивной жидкости при высокой температуре довольно сложно очищать с высокой эффективностью, не снижая при этом пропускную способность фильтра.

Кроме этого, следует учитывать и достаточно жесткие требования к бортовым устройствам фильтрации (очистки) ОЖ: ограниченное гидравлическое сопротивление (не более 10 кПа), высокая надежность, длительный срок службы (до замены или очистки от загрязнений), устойчивость к вибрациям и ударам, низкая стоимость, гарантированная циркуляция ОЖ в каналах и магистралях СЖО и др.).

Именно этим, видимо, и объясняется нерешенность проблемы высокоэффективной фильтрации ОЖ автомобильных и тракторных двигателей до настоящего времени.

На сегодняшний день существующие устройства для очистки ОЖ можно разделить на несколько групп в зависимости от применяемой технологии:

- неразборные фильтры охлаждающей жидкости традиционной конструкции (типа *spin-on*) с фильтрующим элементом из микропористого картона, химического волокна или объемной сетки из нержавеющей стали;
- разборные фильтры с фильтрующим элементом в виде тонкой металлической сетки;
- гидроциклонные фильтры-сепараторы, основанные на гидроциклонном принципе работы, не имеющие фильтрующего элемента как такового.

Неразборные фильтры охлаждающей жидкости (ФОЖ) [3, 10] зарубежных компаний (Fleetguard, Donaldson, Baldwin, Hengst, WIX и др.) представляют собой по конструкции аналоги традиционных масляных фильтров. За рубежом такие фильтры устанавливаются уже более 70 лет на некоторые модели двигателей, работающих в тяжелых эксплуатационных условиях (тяжелые грузовики, карьерные самосвалы, сельскохозяйственные и промышленные тракторы, строительно-дорожные машины и т.п.).

Фильтры этого типа занимают доминирующее положение на рынке ФОЖ [11] и имеют подавляющее применение (относительно других фильтров для антифризов) на тяжелой автотранспортной технике и тракторной технике. В последние годы их использование расширяется и для малотоннажных грузовых и легковых автомобилей.

Все выпускаемые на сегодняшний день подобные ФОЖ по конструкции являются несколько модифицированными аналогами традиционных масляных фильтров (рис. 1) [3, 10, 12]. В России подобные фильтры производятся по зарубежным лицензиям, собственных конструкций до последнего времени не было.

Такие ФОЖ устанавливаются на специальное посадочное место (аналогично масляному фильтру) в блоке двигателя. В зоне этого посадочного места в блоке двигателя выполнены каналы для подвода и отвода ОЖ. Следует отметить, что магистраль для установки такого ФОЖ является байпасной, т.е. через нее прохо-

дит только около 10 % (по данным производителей) всего теплоносителя, подаваемого жидкостным насосом СЖО.

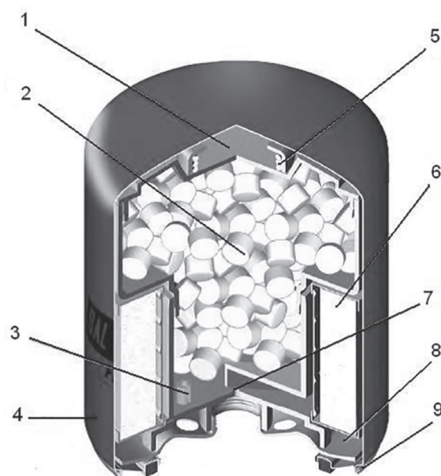


Рис. 1. Конструкция типичного фильтра охлаждающей жидкости фирмы Baldwin:

- 1 – пластиковая камера для хранения капсул;
2 – капсулы (гранулы) из специальной присадки к ОЖ; 3 – дросселирующий канал для регулирования подачи присадки;
4 – металлический корпус с эпоксидным покрытием; 5 – пружина; 6 – синтетический фильтрующий элемент; 7 – жиклер (у разных производителей – диаметр 3...4 мм), ограничивающий поток ОЖ через фильтр;
8 – стальное основание с резьбовым отверстием по центру; 9 – двойной закаточный шов, герметично соединяющий основание 8 с корпусом 4

Эти фильтры обеспечивают улавливание частиц загрязнений более 30...50 мкм (в зависимости от фирмы-производителя) с вероятностью 98 %. Межсменный срок службы подобных фильтров составляет 1 год (или 150...200 тыс. км пробега автомобиля, или 4000 часов его работы). Они рассчитаны на одноразовое применение, после чего должны утилизироваться.

В качестве вещества специальных присадок, находящихся в виде гранул в корпусе фильтра, различные фирмы используют разные составы. Как правило, это соли азотистой и борной кислот или соли фосфорной, азотистой и молибденовой кислот. Каждая из фирм-производителей использует свой состав присадок и по-своему их обозначает [3, 10, 12] – ВТЕ, ВТЕ-Plus, DCA-2, DCA-4, SCA и др.

Использование того или иного типа химических присадок обусловлено требованиями производителей автомобильной техники. На-

пример, фирма Cummins рекомендует использовать DCA-4, а Caterpillar и Detroit Diesel рекомендуют SCA. Очевидно, это определяется материалами системы охлаждения, взаимодействующими с антифризами. В процессе работы фильтра эти гранулы медленно растворяются в антифризе, восстанавливая и улучшая его физико-химические свойства.

Следует отметить, что иногда подобные ФОЖ выпускаются без химических присадок в виде гранул внутри фильтра. В этом случае химические реагенты добавляются в жидком виде по мере старения антифриза.

По нашим данным (эксперименты и компьютерное моделирование), через подобные ФОЖ пропускается менее 1 % от всего основного потока ОЖ. Это объясняется наличием у фильтров специального жиклера 7 (см. рис. 1), имеющего диаметр 3...4 мм (в зависимости от производителя). Этот жиклер устанавливается для того, чтобы замедлить и растянуть во времени поступление химических реагентов присадок в объем антифриза в системе охлаждения.

Таким образом, можно обоснованно считать, что подобные фильтры не столько выполняют функцию фильтрации ОЖ, сколько служат в качестве носителей описанных химических присадок для улучшения физико-химических свойств антифризов. Также эти фильтры принципиально не могут быть полнопоточными, т.к. при их полном засорении прекратится циркуляция ОЖ. Такие фильтры не могут устанавливаться на любые двигатели, т.к. в конструкции двигателя должно быть предусмотрено соответствующее посадочное место под фильтр и подводящий/отводящий каналы для ОЖ.

Следует отметить, что такие ФОЖ по мере загрязнения в процессе эксплуатации увеличивают свое сопротивление при одновременном ухудшении улавливающей способности. В предельном случае загрязнения они вообще перестают пропускать ОЖ через фильтрующий элемент.

Разборные фильтры с фильтрующим элементом в виде сетки [13] встречаются относительно редко. В качестве примеров можно привести (рис. 2) фильтры фирмы Valeo (Франция) для двигателей автобусов Setra, фильтры фирмы Gano (США) [14] для автотранспортных двигателей и фильтры фирмы Guidi (Италия) [15] для двигателей речной техники.



Рис. 2. Разборные фильтры с фильтрующим элементом в виде сетки:

а) фильтр ОЖ фирмы Valco для двигателя автобуса Setra; б) фильтр фирмы Gano (США) для автотранспортных двигателей; в) фильтр фирмы Guidi (Италия) для двигателей речных судов

Подобные фильтры имеют практически одну и ту же простейшую конструкцию: фильтрующий элемент в виде металлической сетки (латунь, нержавеющая сталь) выполняется в форме конуса или цилиндра. Размер ячеек такой сетки составляет примерно от 300 до 400 мкм. Загрязнения, не проходящие через эту сетку, удерживаются и остаются внутри конуса или цилиндра. При полном загрязнении фильтра требуется его разборка для очистки.

Следует отметить, что фильтрующие элементы в виде металлической сетки имеют ограниченное количество циклов регенерации (очистки), как правило, не превышающее 30 [16]. После предельного количества регенераций сетки существенно ухудшается фильтрация жидкости (снижается пропускная способность сетки).

Преимуществами фильтров второй группы (по сравнению с конструкциями первой группой) являются:

- возможность полнопоточной фильтрации;
- разборная конструкция и возможность многократного применения;
- удобство монтажа на любом участке гидравлического контура.

К недостаткам этих фильтров можно отнести:

- невозможность улавливания твердых частиц с размерами <300 мкм;
- необходимость частой очистки фильтрующего элемента от загрязнений;
- опасность полного загрязнения фильтра, что может привести к серьезным последствиям, вплоть до выхода двигателя из строя.

Общее свойство фильтров ОЖ первой и второй групп – это увеличение гидравлического сопротивления по мере загрязнения фильтрующих элементов.

В целом технологии фильтрации ОЖ через пористые материалы (микропористый картон, химические волокна) или металлические сетки

нельзя считать перспективными. Это объясняется тем, что в процессе очистки ОЖ фильтрующие элементы подобного типа быстро засоряются, что существенно уменьшает количество пропускаемой жидкости. В предельном случае они вообще перестают пропускать жидкость.

Кроме этого, из-за быстрого загрязнения подобные фильтры ОЖ требуют частой замены или очистки. В связи с этим их обычно устанавливают в байпасных магистралях СЖО, что позволяет снизить риск прекращения тока охлаждающей жидкости. При этом неполнопоточная фильтрация ОЖ (в байпасном канале) не отличается высокой эффективностью.

Гидроциклонные фильтры-сепараторы (ГФС) [17–20], отнесенные к третьей группе, в принципе свободны от недостатков фильтров первых двух групп.

Среди устройств этой группы выделяется эффективное, простое и надежное техническое решение [20], основанное на модифицированном гидроциклонном способе очистки жидкостей. Это устройство очистки, разработанное на кафедре двигателей Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, на наш взгляд, имеет хорошие перспективы, в связи с чем требует анализа конкурентных преимуществ.

Объективно необходимо отметить, что известны ранние предложения [17–19] применения принципа гидроциклона для очистки ОЖ транспортных двигателей. Однако практического применения они не получили, поскольку классический гидроциклон имеет значительное гидравлическое сопротивление и большие габариты (особенно в вертикальном направлении). Видимо, это и явилось препятствием для практического использования гидроциклонного очистителя охлаждающей жидкости транспортных двигателей.

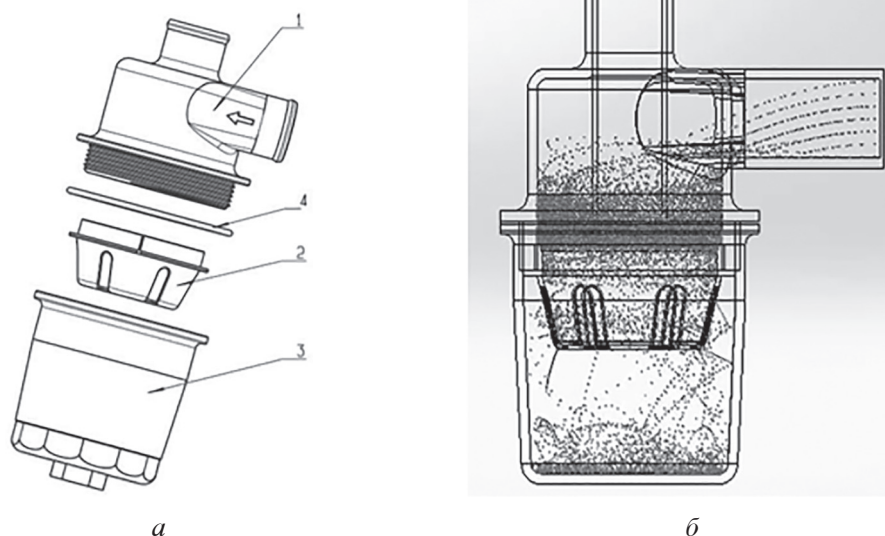


Рис. 3. Конструкция гидроциклонного фильтра-сепаратора (а) и его принцип действия (б):
1 – закручивающий аппарат; 2 – конусная сепарирующая чашка с улавливающими окнами;
3 – отстойник; 4 – уплотнительное кольцо

В разработанном гидроциклонном фильтре-сепараторе [20] (рис. 3) поток антифриза с твердыми частицами загрязнений поступает в закручивающий аппарат 1 через тангенциальный вход, в результате чего происходит закручивание потока. При прохождении закрученного потока через конусную сепарирующую чашку 2 под действием центробежных сил твердые частицы отбрасываются через улавливающие окна в отстойник 3 и там оседают. Принцип действия ГФС аналогичен принципу действия гидроциклонов: отделение твердых частиц загрязнений от потока ОЖ происходит под действием центробежных сил (рис. 3, б).

Однако следует отметить разницу в конструкциях этих двух устройств. Основное отличие фильтра-сепаратора от классического гидроциклона заключается в наличии улавливающих окон, расположенных на конусной части сепарирующей чашки, через которые твердые частицы загрязнений и попадают в отстойник (рис. 3).

Кроме этого, ГФС имеет разборную конструкцию, что делает его более компактным и удобным при установке и эксплуатации. Внешний вид гидроциклонного фильтра-сепаратора представлен на рис. 4.

Ранее подобный способ очистки охлаждающих жидкостей в СЖО автотранспортных двигателей не применялся, поэтому прямых (принципиальных) аналогов данная разработ-



Рис. 4. Внешний вид гидроциклонного фильтра-сепаратора

ка не имеет не только в России, но и за рубежом. Оригинальность технического решения, подтверждена патентом РФ на изобретение № 2625891 [20].

К конкурентным преимуществам созданного ГФС следует отнести следующие достоинства:

- высокоэффективную полнопоточную фильтрацию, обусловленную применением гидроциклонного принципа работы фильтра-сепаратора;
- отсутствие собственно фильтрующего элемента, что упрощает конструкцию, снижает стоимость и существенно повышает пропускную способность фильтра;
- срок службы ГФС примерно равен ресурсу работы двигателя;

– ГФС имеет разборную конструкцию, что позволяет его использовать многократно (с периодической очисткой);

– ГФС обладает конструктивной и технологической простотой, легкостью установки на транспортном средстве (не требует специально выполненного посадочного места на блоке двигателя).

К особенностям работы ГФС можно отнести следующее:

– зависимость эффективности сепарации от расхода жидкости;

– при малых расходах жидкости часть твердых частиц загрязнений может не улавливаться и циркулировать в контуре СЖО;

– не удаляются из потока частицы с плотностью меньше плотности теплоносителя (как правило, это органические частицы).

Фильтры (по сути, устройства очистки), принцип действия которых основан на применении центробежных сил, не позволяют осуществлять тонкую очистку жидкости, но для современных СЖО поршневых двигателей такая фильтрация и не требуется.

Результаты и обсуждение

Для оценки и сравнения рабочих показателей и характеристик описанных устройств фильтрации (очистки) ОЖ они обобщены в таблице и представлены 12 показателями (критериями оценки).

Анализ данных таблицы позволяет сделать обоснованный и объективный вывод о том, что созданный во Владимирском государственном университете им. А.Г. и Н.Г. Столетовых гидроциклонный фильтр-сепаратор имеет наилучшие показатели среди выпускаемых устройств для очистки охлаждающей жидкости в автотранспортных двигателях.

Созданный гидроциклонный фильтр-сепаратор может найти эффективное применение в системах жидкостного охлаждения поршневых двигателей различного назначения: автомобилей, автобусов, сельскохозяйственных и промышленных тракторов, строительного-дорожных и лесотехнических машин, армейской техники и др.

Разработки и научные исследования гидроциклонного фильтра-сепаратора являются началом большой работы по формированию нового перспективного направления в области совершенствования автомобильных и тракторных поршневых двигателей – высокоэффективной фильтрации охлаждающей жидкости. В результате этой работы на рынке автокомпонентов должны появиться простые, недорогие, надежные и высокоэффективные инновационные гидроциклонные фильтры-сепараторы ОЖ.

Заключение

Использование абсолютно чистой охлаждающей жидкости в СЖО автомобильных и тракторных двигателей

Таблица

Основные показатели выпускаемых фильтров охлаждающей жидкости

Показатели фильтров (критерии оценки)	Неразборные фильтры spin-on	Разборные сетчатые фильтры	Гидроциклонный фильтр-сепаратор
1. Конструктивная и технологическая сложность	высокая	средняя/невысокая	невысокая
2. Полнопоточная фильтрация	нет	да/нет	да
3. Тонкость фильтрации (номинальная), мкм	30...50	300	100...200
4. Стабильность характеристик	нет	нет	да, высокая
5. Грязеемкость	средняя	малая/средняя	высокая
6. Применение: одноразовое/многократное	одноразовое (неразборные)	многократное (разборные)	многократное (разборный)
7. Удобство технического обслуживания	не требуется	невысокое	высокое
8. Удобство замены	высокое	не требуется	не требуется
9. Ресурс работы	1 год или 200 тыс. км пробега	равен ресурсу двигателя	равен ресурсу двигателя
10. Способность поддерживать химсостав антифриза	имеется	невозможно	имеется
11. Ограничения по установке/компоновке	специальное место для установки	ограничения только по габаритам	ограничения только по габаритам
12. Стоимость 1 ед., \$	12...50	10...200	50...80

торных поршневых двигателях практически невозможно, поскольку причиной появления загрязнений различной природы в системе охлаждения двигателя при его эксплуатации является физико-химическое взаимодействие ОЖ (антифриза) с различными элементами и различными материалами системы. Всегда будут существовать эксплуатационные факторы, способствующие образованию загрязнений.

Условия эксплуатации, а также возрастающая функциональная и конструктивная сложность систем жидкостного охлаждения современных автомобильных и тракторных поршневых двигателей требуют очистки охлаждающей жидкости.

Технологии фильтрации охлаждающей жидкости через пористые материалы (микропористый картон, химические волокна) или металлические сетки нельзя считать перспективными. Фильтры на основе подобных технологий не обладают требуемыми рабочими показателями.

Наилучшие рабочие характеристики среди известных устройств для очистки охлаждающей жидкости в автомобильных и тракторных двигателях имеет созданный гидроциклонный фильтр-сепаратор. Можно ожидать его эффективного применения в системах жидкостного охлаждения поршневых двигателей различного назначения: автомобилей, автобусов, сельскохозяйственных и промышленных тракторов, строительно-дорожных и лесотехнических машин, армейской техники и др.

Литература

1. Иванов И.Е., Шатров М.Г., Кричевская Т.Ю. Системы охлаждения поршневых ДВС: монография. М.: МАДИ, 2015. 168 с.
2. Якубович А.И., Кухаренок Г.М., Тарасенко В.Н. Системы охлаждения тракторных и автомобильных двигателей. Конструкция, теория, проектирование. Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2014. 473 с.
3. Руководство по продуктам для системы охлаждения. Cummins Filtration. 2009. 8 с.
4. Engine cooling. Behr Hella Service GmbH. 2008 52 pp.
5. Драгомиров С.Г., Драгомиров М.С., Эйдель П.И., Гамаюнов А.Ю. Природа и характеристики загрязнений в системах охлаждения автотранспортных двигателей. East European Science Journal. 2019. #5(45). Part 1. Зр. 49–54.
6. Драгомиров С.Г., Драгомиров М.С., Эйдель П.И., Гамаюнов А.Ю. Высокоэффективная фильтрация охлаждающей жидкости – перспективное направление совершенствования автотранспортных двигателей // Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса: сб. трудов Международной н.-т. конф. 31 января 2019, 8-е Луканинские чтения. М.: МАДИ, 2019. С. 488–501.
7. Hudgens R.D., Hercamp R.D. Filtration of Coolants for Heavy Duty Engines. SAE Techn. Pap. Ser. № 881270. 17 p.
8. Eaton E.R., Duvnjak E. Examination of Extended Life Heavy Duty Engine Coolant Filters. SAE Techn. Pap. Ser. № 2004-1-0157. 10 p.
9. Hudgens R.D., Hercamp R.D. An Overview of On-board Coolant Filtration for Heavy Duty Diesel Engines. SAE Techn. Pap. Ser. № 2005-01-2014. 16 p.
10. Engine Liquid Filtration. Minneapolis: Donaldson Company Inc., 2014. 156 p.
11. Automobile Filters Market. Global Forecast to 2025. Markets&Markets, 2019. 242 p.
12. Техническая брошюра по фильтрам. MS Motorservice Int. GmbH, 2014. 48 с.
13. Антропов Б.С., Бодров В.А., Басалов И.С. Защита радиаторов системы охлаждения двигателей от продуктов накипи и коррозии // Вестник АПК Верхневолжья. 2014. № 4. С. 82–84.
14. URL: <https://ganofilters.com>
15. URL: <https://catalogue.guidisrl.it/en/54-water-strainers>
16. URL: <http://www.cemkzn.ru/articles/article8-podgotovka-vody-dlya-zavodneniya-neftnyanyh-plastov>
17. Шеремет П.З. Система жидкостного охлаждения двигателя внутреннего сгорания: патент РФ на изобретение № 2023889. 1991. 3 с.
18. Шеремет П.З. Система жидкостного охлаждения двигателя внутреннего сгорания: патент РФ на изобретение № 2022132. 1991. 4 с.
19. Фурман В.В., Чертов С.Н. Циклонное устройство для очистки жидкостей: патент РФ на изобретение № 2183508. 2001. 5 с.
20. Драгомиров С.Г., Драгомиров М.С., Эйдель П.И., Гамаюнов А.Ю., Селиванов Н.М. Гидроциклонное устройство для очистки от твердых частиц загрязнений охлаждающей жидкости поршневых двигателей: патент РФ на изобретение № 2625891. 2017. 10 с.

References

1. Ivanov I.E., Shatrov M.G., Krichevskaya T.Yu. Sistemy okhlazhdeniya porshnevykh DVS [Cooling systems of piston internal combustion engines], Moscow, MADI Publ., 2015, 168 p.
2. Yakubovich A.I., Kukharenek G.M., Tarasenko V.N. Sistemy okhlazhdeniya traktornykh i avto-

- mobil'nykh dvigateley. Konstruktsiya, teoriya, proyektirovaniye [The cooling system of tractor and automobile engines. Construction, theory, design], Moscow, INFRA-M Publ., 2014, 473 p.
3. Rukovodstvo po produktam dlya sistemy okhlazhdeniya [The product guide for the cooling system], Cummins Filtration, 2009, 8 p.
4. Engine cooling, Behr Hella Service GmbH., 2008, 52 p.
5. Dragomirov S.G., Dragomirov M.S., Eydel P.Ig., Gamayunov A.Y. Nature and characteristics of pollutants in cooling systems of motor vehicles, East European Science Journal, 2019, #5(45), part 1, pp. 49–54.
6. Dragomirov S.G., Dragomirov M.S., Eydel P.Ig., Gamayunov A.Y. Highly effective coolant filtration as a promising direction for improving motor vehicles engines, 8-c Lukaninskiye chteniya. Problemy i perspektivy razvitiya avtotransportnogo kompleksa: sb. trudov Mezhdunarodnoy n.-t. konf. 31 yanvarya 2019 [8th Lucanin's Readings. Problems and prospects of development of the motor transport complex: proceedings of the International Scientific Conference held on January 31, 2019], Moscow, MADI Publ., 2019, pp. 488–501 (in Russ.).
7. Hudgens R.D., Hercamp R.D. Filtration of Coolants for Heavy Duty Engines. SAE Techn. Pap. Ser. No 881270, 17 p.
8. Eaton E.R., Duvnjak E. Examinatoins of Extended Life Heavy Duty Engine Coolant Filters. SAE Techn. Pap. Ser. No 2004, 1-0157, 10 p.
9. Hudgens R.D., Hercamp R.D. An Overview of On-board Coolant Filtration for Heavy Duty Diesel Engines. SAE Techn. Pap. Ser. No 2005-01-2014, 16 p.
10. Engine Liquid Filtration. Minneapolis, Donaldson Company Inc., 2014, 156 p.
11. Automobile Filters Market – Global Forecast to 2025, Markets&Markets, 2019, 242 p.
12. Tekhnicheskaya broshyura po fil'tram [Technical brochure on filters]. MS Motorservice Int. GmbH, 2014, 48 p.
13. Antropov B. S., Bodrov V. A., Basalov I. S. Protection of radiators of the engine cooling system from products of scale and corrosion, Bulletin of the upper Volga agricultural complex, 2014. No 4, pp. 82–84 (in Russ.).
14. URL: <https://ganofilters.com>.
15. URL: <https://catalogue.guidisrl.it/en/54-water-strainers>.
16. URL: <http://www.cemkzn.ru/articles/article8-podgotovka-vody-dlya-zavodneniya-neftyanyh-plastov>.
17. Sheremet P.Z. Patent RU 2023889, 1991.
18. Sheremet P.Z. Patent RU 2022132, 1991.
19. Furman V.V., Chertov S.N. Patent RU 2183508, 2001.
20. Dragomirov S.G., Dragomirov M.S., Eydel P.Ig., Gamayunov A.Y., Selivanov N.M. Patent RU 2625891, 2017.

Данное исследование выполнено в рамках реализации инновационного проекта «Разработка, изготовление и испытания опытного образца фильтра охлаждающей жидкости на основе моделирования гидравлических и сепарационных процессов» (договор № 2914ГСИ/45450) Программы СТАРТ.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БРОНИРОВАННОГО ТРАКТОРА ДЛЯ ЖАРКИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

DESIGN CHARACTERISTICS OF AN ARMORED TRACTOR FOR HOT CLIMATE

А.Г. СЕМЕНОВ, к.т.н.

Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия,
agentnomer117@mail.ru

A.G. SEMENOV, PhD in Engineering

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russia, agentnomer117@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы, относящиеся к области тракторостроения, конкретно – к гусеничным и колесным тракторам, снабженным различным навесным оборудованием, которые выполняют землеройные, погрузочные, транспортные и другие работы в промышленном и дорожном строительстве в особых условиях, требующих дополнительного охлаждения силового отделения и защиты оператора и основных узлов машины от воздействия пуль и осколков. Далеко не все серийные тракторы и машины на их базе (в том числе инженерные) пригодны для эксплуатации в специфических условиях государств с жарким климатом, к тому же в условиях войны или ее последствий (невыявленные и ненейтрализованные мины, неразорвавшиеся снаряды и т.д.). Целью работы является увязка известных мероприятий по усилению штатной системы охлаждения подкапотной моторной установки бронированного трактора с его броневой защитой, исключив, как минимум, негативные последствия таких «теплотехнических рецептов» для эксплуатационной безопасности, прежде всего, тракториста, и тем самым улучшить технико-эксплуатационные характеристики бронированного трактора. Заявленные предложения позволяют повысить технико-эксплуатационные характеристики бронированного трактора за счет использования такого взаимного расположения рассматриваемых составных частей трактора (кабину с рабочим местом оператора, силовое отделение, ограниченное капотом, и теплообменный люк), при котором максимально соблюдены такие требования, как обзорность из кабины, защита кабины от средств поражения, попадающих в крышку. Полученные результаты представляются достаточным основанием для оптимистичного прогноза внедрения данной разработки в существующий технологический уклад отечественной экономики.

Ключевые слова: трактор, инженерная машина на базе трактора, бронирование, система охлаждения, противопульная и противоосколочная защита, рикошет.

The article discusses issues related to the field of tractor construction, specifically to tracked and wheeled tractors equipped with various attachments that perform earthmoving, loading, transport and other works in industrial and road construction in special conditions that require additional cooling of the power compartment and protection of the operator and the main components of the machinery from the bullets and shrapnel. Not every serial tractor and machinery based on it (including the engineering ones) is suitable for operation in the special conditions of countries with hot climates, especially in conditions of war or its consequences (undetected and not neutralized mines, unexploded bombs, etc.). The aim of the work is to link the known measures of strengthening the standard cooling system of the engine compartment of an armored tractor with its armor protection, excluding, at least, the negative consequences of such “heat engineering recipes” for the operational safety of the tractor driver mainly, and thereby improve the technical and operational characteristics of armored tractor. The proposed options make it possible to improve the technical and operational characteristics of the armored tractor through the use of such arrangement of the considered components of the tractor (the cabin with operator's workplace, the power compartment, limited by the hood, and the heat exchange hatch), that allow to meet the maximum requirements, which are a visibility from the cabin and protection of the cabine from weapons that fall into the cover. The results obtained seem to be a sufficient basis for an optimistic forecast of the implementation of this development in the existing technological structure of the domestic economy.

Keywords: tractor, tractor-based engineering vehicle, armoring, cooling system, anti-bullet and anti-fragmentation protection, ricochet.

Введение

Статья относится к области тракторостроения, конкретно – к гусеничным и колесным тракторам, и связана с комплексной проблемой обеспечения теплового режима и пассивной защиты от средств поражения (пуль и осколков).

Далеко не все трактора и машины на их базе (в том числе инженерные) пригодны для эксплуатации в специфических условиях государств с жарким климатом, к тому же в условиях войны и ее последствий (невывявленные и ненейтрализованные мины, неразорвавшиеся снаряды и т.д.). Это – серьезная проблема. И пример ее актуальности – ситуация в Сирии и ряде других «горячих точек». Поэтому приемлемые технико-эксплуатационные характеристики обеспечивают если не изначально заложенными в конструкцию нового трактора техническими решениями, то путем модернизации тех или иных серийных изделий.

Несколько слов о базовом изделии и его аналогах.

Пример промышленных гусеничных тракторов с бронезащитой – Caterpillar (США), а также D9L АОИ, D9N АОИ, D9R и D7R-II (Израиль) [1–3].

На перечисленных изделиях установлены бронированные кабины и капоты, ограждающие моторные установки. На боковых стенках капотов размещены створки с планками жалюзи или участками перфорации, которые откидываются или снимаются для доступа к узлам моторных установок для их обслуживания и монтажа-демонтажа при ремонте. Другое назначение створок – обеспечить поступление наружного воздуха в подкапотное пространство для охлаждения двигателя.

В числе аналогов в «параллельном автомобильном мире» интересно устройство для бронирования моторного отсека автомобиля, выполненное в виде коробчатой пространственной конструкции в форме, максимально приближенной к габаритам подкапотного пространства. Оно расположено внутри подкапотного пространства и крепится к раме автомобиля, при этом передняя его часть выполнена в виде жалюзи, с интегрированными элементами для крепления к оперению автомобиля, при этом передняя панель устройства, выполнена в виде жалюзи и является радиаторной решеткой [4].

В описанных выше устройствах удовлетворительная работа силовой установки в экс-

тремальных условиях с температурой воздуха выше 40 °С, что характерно при применении трактора или других машин в южных широтах, является задачей сложно выполнимой. Приходится или снимать полностью створки, складывая их на хранение, чтобы установить вновь при изменении условий работы, или откидывать их на петлях. Но в последнем варианте исключается возможность работы трактора в условиях его обстрела из стрелкового оружия и воздействия осколков гранат, снарядов, бомб и т.д. Кроме того, откинутые створки значительно выступают за габарит капота и перекрывают поле зрения оператора, необходимое для управления рабочим оборудованием.

Еще больший интерес под углом представляемой разработки представляет конструкция бронированного трактора – уже упомянутого бульдозера D9R [1, 2], капот которого выполнен с большими по площади планками жалюзи на боковых стенках, что снижает уровень его защиты.

За базовый объект при разработке принят бронированный трактор с рабочим оборудованием, который включает кабину с рабочим местом оператора, силовое отделение, ограниченное капотом с передней решеткой, боковыми стенками, крышей, воздухозаборными отверстиями для подачи воздуха в подкапотное пространство, теплообменным люком с откидываемой броневой крышкой на крыше капота перед кабиной с возможностью ее фиксируемого откидывания вверх-вперед на угол α , обеспечивающим положение верхней кромки крышки ниже зоны обзора, определяемой вертикальным углом β поля зрения оператора, который необходим для управления рабочим оборудованием [5].

Базовый проект защищает модернизацию системы обеспечения теплового режима моторной установки трактора. Однако авторы базовой разработки, как следует из содержания описания устройства и функционирования, не соотносят с другой обозначенной выше ключевой проблемой – броневой защиты. Замалчивание не может остаться незамеченным. Да, организация дополнительного «сравливающего тепло» люка в крыше капота позволяет несколько усилить броневую защиту стенок капота путем уменьшения площади планок жалюзи на боковых стенках. Но фраза «без снижения уровня защиты при обстреле трактора» в описании прототипа, к сожалению, остается частично

декларативной, недостаточно обоснованной, при всей несомненной полезности предложений. В результате, рекомендации в описании прототипа по геометрическим характеристикам конструкции могут усугубить ситуацию с необходимостью обеспечения защиты трактора (и оператора в кабине в особенности) от указанных средств поражения. Здесь имеется в виду вероятность рикошета средств поражения (пуль, осколков и т.д.) от ключевого конструктивного элемента, согласно сути модернизации, а именно от откидываемой броневой крышки теплообменного люка в ее поднятом рабочем положении, в кабину. Кабина же является наиболее уязвимым местом на бронированном тракторе, поскольку стеклянное бронирование проблематичнее металлического или композитного бронирования. Это обуславливает еще недостаточно высокие технико-эксплуатационные характеристики трактора.

Цель исследований

Увязать известные мероприятия по усилению штатной системы охлаждения подкапотной моторной установки бронированного трактора с его броневой защитой, исключив, как минимум, негативные последствия «теплотехнических рецептов» для эксплуатационной безопасности в первую очередь тракториста, и тем самым улучшить технико-эксплуатационные характеристики бронированного трактора.

Материалы и методы

Исходные материалы включают в себя конструктивные предложения (результаты интеллектуальной деятельности) коллег из ООО «Челябинский тракторный завод – УРАЛТРАК», которые изложены ими в описании к патенту [5].

Использованные в исследовании методы: теоретические (расчет, синтез, абстрагирование, обобщение, дедукция, аналогия) и эмпирические (описание, сравнение).

Результаты и обсуждение

Перейдем к самим авторским предложениям по устранению отмеченных недостатков объекта, выбранного за базовый.

Бронированный трактор с рабочим оборудованием содержит (рис. 1, 2) кабину 1 с рабочим местом оператора 2 (условно представлен «глазом», согласно правилам изображения оптических схем), силовое отделение 3, ограни-

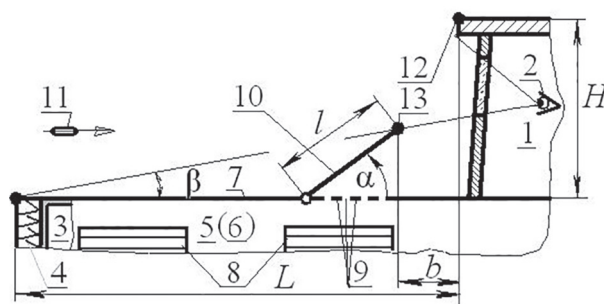


Рис. 1. Передняя часть трактора, вид сбоку:

H – возвышение верхней передней кромки кабины над крышей капота; L – условная длина крышки капота (до проекции точки K передней верхней кромки кабины на крышку капота); b – расстояние между проекциями на крышу капота верхней передней кромки кабины и верхней кромки поднятой броневой крышки теплообменного люка; l – длина упомянутой броневой крышки; α – угол наклона (откидывания) броневой крышки люка в рабочем ее положении; β – угол, характеризующий обзорность из кабины, конкретно – нижнюю границу зоны видимости перед трактором

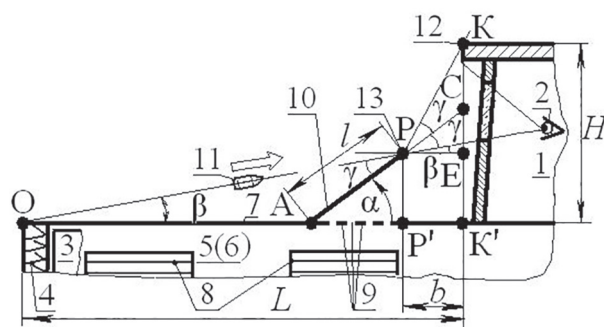


Рис. 2. Расчетная схема, совмещенная по условиям обеспечения заданной зоны видимости и обеспечения защиты кабины от рикошетируемых от крышки средств поражения, вид сбоку:

O, K, A, P, E, C, P', K' – характерные точки; γ – угол попадания средства поражения по траектории OP

ченное капотом с передней решеткой 4, боковыми стенками (левой 5 и правой 6), крышей 7, воздухозаборными отверстиями 8 для подачи воздуха в подкапотное пространство, теплообменным люком 9 с откидываемой броневой крышкой 10 на крыше 7 капота перед кабиной 1.

Предусмотрена возможность фиксируемого откидывания крышки 10 вверх-вперед на угол α , обеспечивающий положение верхней кромки крышки ниже зоны обзора, которая определяется вертикальным углом β поля зрения оператора 2, необходимым для управления рабочим оборудованием (перед решеткой 4; не показано).

В тракторе дополнительно предусмотрено ограничение (т.е. второе ограничение) угла α откидываемой броневой крышки 10, по условию безопасного рикошета средств поражения 11 от нее в пространство перед кабиной 1 (пространство левее от изображенной на рис. 2 «критической» траектории отрекошетированного средства 11) в соответствии с геометрическим соотношением (1):

$$(H - b \cdot \operatorname{tg}(2\alpha - \beta)) \cdot (l \cdot \sin \alpha^{-1}) \geq 1, \quad (1)$$

где H – возвышение верхней передней кромки 12 кабины 1 над крышей 7 капота; b – расстояние между проекциями на крышу 7 капота верхней передней кромки 12 кабины 1 и верхней кромки 13 поднятой крышки 10; l – длина крышки 10.

В частном, рекомендуемом как оптимальный, случае (примере), в уже охарактеризованном выше тракторе заложено комплексное ограничение угла α по обоим условиям, а именно по расположению крышки 10 вне упомянутой зоны обзора (β) и сформулированной гарантии безопасного рикошета средств поражения 11 от нее, подчиненное геометрическому условию (2):

$$\alpha \geq 0,5 \cdot (\beta + \operatorname{arctg}(b^{-1} \cdot (H - (L - b) \cdot \operatorname{tg} \beta))), \quad (2)$$

где L – длина крышки 7 капота.

Рассмотрим, как функционирует устройство.

При работе силовой установки, когда открыта откидываемая крышка 10 люка 9, в подкапотное пространство поступает дополнительный воздушный поток, улучшая там тепловой режим (в частности, снижая температуру воды и масла в двигателе трактора), повышается надежность нормальной работы системы охлаждения силовой установки в экстремальных условиях (при высоких температурах окружающего воздуха – выше 40 °С).

При рекомендуемой по формуле (1) компоновке и величине угла α откидывания крышки 10 в рабочее ее положение, которая (формула) включает в себя изначальное требование неэкранирования зоны видимости рабочего оборудования трактора из кабины 1 оператором 2, т.е. не сужается угол β , поскольку точка Р остается в положении не выше пограничной линии ОЕ.

Главное же содержание условия (1) заключается в том, что при нем исключается рикошет от любой точки на внешней стороне крышки 10

в кабину средств поражения 11, прилетающих с любого направления в секторе между линиями ОР и КР. Пули, осколки и прочие «нежелательные гости», попадая в крышку 10, рикошетируют вверх или вперед.

При рекомендуемом соотношении (2) «геометрия» (компоновка) рассматриваемых составных частей трактора совпадает для обоих условий: и (1), и (2), что благоприятно для теплотехнической стороны обозначенной комплексной проблемы вследствие обеспечения максимального сечения (а значит и объемного расхода) конвективного потока воздуха через люк 9.

Происхождение (обоснование) условий (1) и (2) – в следующих математических выкладках (с разумно-достаточными сокращениями).

На расчетной схеме (рис. 2) изображен предельно-допустимый случай движения средства поражения 11 (пули, осколка, и т.д.) под углом минус β по касательной к точке О с последующим отрекошетированием от крышки 10 в точке Р по касательной к точке К на передней верхней кромке кабины 1 в общем с крышкой 10 вертикальном продольном сечении, причем, при максимально-допустимой по высоте точке Р из условия неэкранирования обзорности. Явление рикошета подразумевает равенство углов падения и отражения в точке Р (угол γ). Все это определяет ключевой конструктивный показатель – угол α установки (откидывания) крышки 10 в рабочем ее положении.

Из треугольников АРР', РКЕ и прямоугольника РР'К'Е получаем:

$$H = l \cdot \sin \alpha + b \cdot \operatorname{tg}(\beta + 2 \cdot \gamma). \quad (3)$$

Все обозначения, используемые в формуле (3) и последующих формулах, пояснены на рис. 2.

С учетом равенства углов ОРА, КРС и СРЕ (это и есть угол γ) и уравнения (3) минимально-необходимое расстояние b между проекциями точек Р и К (точки Р' и К' соответственно) определяется равенством:

$$b = (H - l \cdot \sin \alpha) \cdot (\operatorname{tg}(2 \cdot \alpha - \beta))^{-1}, \quad (4)$$

полезным, если определяют допустимое расстояние b . Угол же α можно определить из этого уравнения (4) численным методом максимум за три итерации или графоаналитически. Крышку 10 можно выполнять (при заданных значениях b и α) длиной l не более (т.е. меньшей или равной) «критической» величины, рассчитанной по формуле (4). Или, при за-

данной по иным, например, компоновочным или теплотехническим, соображениям, можно закладывать в конструкцию рабочий угол α больше расчетного «критического» его значения, разумеется, с уменьшением длины ℓ в соответствии с зависимостью $PP' = l \cdot \sin \alpha$.

В более универсальном виде это и представляем зависимостью (1).

По заложенному и в базовый объект, и в данную конструкцию условию неэкранирования обзорности, длина ℓ не должна превышать величину ℓ_1 :

$$l_1 = ((L - b) \cdot \operatorname{tg} \beta) (\sin \alpha)^{-1}. \quad (5)$$

А по предлагаемому дополнительному условию защищенности кабины l , как вытекает из уравнения (4), длина ℓ не должна превышать величины ℓ_2 :

$$l_2 = (H - b \cdot \operatorname{tg} (2 \cdot \alpha - \beta)) (\sin \alpha)^{-1}. \quad (6)$$

Система уравнений (5) и (6), т.е. их совокупность, определяет количественно заявляемую конструктивную особенность трактора.

Отсюда можно вычленить оптимальное условие для угла α , конкретно α_{opt} (как дополнительный, частный признак), когда $l_1 = l_2 = l$, т.е. когда компоновка обеспечивает максимальное сечение воздушного потока при конвективном теплообмене через люк 9 (изначальное предназначение люка 9 с крышкой 10). Это будет иметь место, очевидно, при равенстве правых частей уравнений (5) и (6), откуда и вытекает условие (2).

В конкретных конструктивных авторских проработках этот угол находится в пределах 45° .

Использование предложения позволяет повысить технико-эксплуатационные характеристики бронированного трактора за счет такого взаимного расположения (компоновки) рассматриваемых составных частей трактора (включая кабину 1 с рабочим местом оператора 2, силовое отделение, ограниченное капотом 7, и теплообменный люк 10), при котором максимально соблюдены требования как обзорности из кабины 1, так и защиты кабины 1 от средств поражения 11, попадающих в крышку 10.

Возможность промышленной реализации предложения очевидна для специалистов в области транспортного машиностроения.

Техническое решение признано изобретением с выдачей патента Российской Федерации на имя Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого [6].

Заключение

Реализация предлагаемых конструктивных решений и конкретных рекомендаций позволяет решить поставленную задачу: увязать известные мероприятия по усилению штатной системы охлаждения подкапотной моторной установки трактора с его броневой защитой (упомянутые конструктивные особенности трактора), исключив, как минимум, негативные последствия таких «теплотехнических рецептов» для обеспечения безопасности работы. И тем самым улучшить характеристики объекта исследования и модернизации с целью адаптации к специфическим, экстремальным эксплуатационным условиям.

Патентная защита разработки свидетельствует о мировом уровне новизны и изобретательском уровне разработки.

Полученные результаты представляются достаточным основанием для оптимистического прогноза внедрения разработки в существующий технологический уклад отечественной экономики.

Литература

1. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Caterpillar_D9; <http://masterok.livejournal.com/2182234.html> (дата обращения 28.12.2019).
2. URL: <http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C10033667>, стр. 2, раздел D9R Heavy Bulldozer (дата обращения 28.12.2019).
3. URL: <http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C10033670>, стр. 5 (дата обращения 28.12.2019).
4. Якупов О.Р., Дмитриев В.В., Пирожков С.Д., Ходаков С.М., Хохлов М.В. Устройство для бронирования моторного отсека: патент на полезную модель № 173595 Российская Федерация; опубл. 31.08.2017, Бюл. № 25.
5. Гусев С.А., Кирип П.Ф., Расвский В.И. Бронированный трактор с рабочим оборудованием: патент на полезную модель № 182104 Российская Федерация; опубл. 03.08.2018, Бюл. № 22.
6. Семенов А.Г. Бронированный трактор с рабочим оборудованием: патент на изобретение № 2716304 Российская Федерация; опубл. 11.03.2020, Бюл. № 8.

References

1. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Caterpillar_D9, <http://masterok.livejournal.com/2182234.html> (accessed 28.12.2019).

2. URL: <http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C10033667> str. 2 razdel D9R Heavy Bulldozer (accessed 28.12.2019).
3. URL: <http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C10033670> str. 5 (accessed 28.12.2019).
4. Yakupov O.R., Dmitriyev V.V., Pirozhkov S.D., Khodakov S.M., Khokhlov M.V. Ustroystvo dlya bronirovaniya motornogo otseka [Device for armor-ing the engine compartment]: patent na poleznuyu model' No 173595 Rossiyskaya Federatsiya; opubl. 31.08.2017, Byul. No 25.
5. Gusev S.A., Kirin P.F., Rayevskiy V.I. Bronirovanny traktor s rabochim oborudovaniyem [Ar-mored tractor with working equipment]: patent na poleznuyu model' No 182104 Rossiyskaya Federat-siya; opubl. 03.08.2018, Byul. No 22.
6. Semenov A.G. Bronirovanny traktor s rabochim oborudovaniyem [Armored tractor with working equipment]: patent na izobreteniyе No 2716304 Ros-siyskaya Federatsiya; opubl. 11.03.2020, Byul. No 8.

АНАЛИЗ РАБОТЫ ПЛОСКОГО РЕШЕТА, СОВЕРШАЮЩЕГО КОЛЕБАНИЯ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

ANALYSIS OF THE OPERATION OF A FLAT SIEVE THAT VIBRATES IN A HORIZONTAL PLANE

А.Ю. ГОЛОВИН, К.Т.Н.
У.К. САБИЕВ, Д.Т.Н.
П.В. ЧУПИН, К.Т.Н.
А.С. СОЮНОВ
С.П. ПРОКОПОВ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Омский государственный аграрный университет имени
П.А. Столыпина», Омск, Россия, ayu.golovin@omgau.org

A.YU. GOLOVIN, PhD in Engineering
U.K. SABIYEV, DSc in Engineering
P.V. CHUPIN, PhD in Engineering
A.S. SOYUNOV,
S.P. PROKOPOV

Federal State Budgetary Educational Institution
of Higher Education "Omsk State Agrarian University named
after P.A. Stolypin", Omsk, Russia, ayu.golovin@omgau.org

В соответствии с положениями Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации необходимо увеличение удельного веса зерна отечественного производства на мировом рынке до уровня не менее 95 %. Этому способствует наличие в Российской Федерации 9 % посевных мировых площадей, из которых 40 % составляет чернозем. Однако послеуборочная обработка всего зернового вороха, привозимого с полей выполняется поточными линиями, где на полноту разделения оказывают влияние показатели засоренности и влажности свежесобранного зерна. Так, повышение влажности на 1 % от базисных показателей снижает производительность зерноочистительной техники на 2 %, а повышение влажности на 1 % снижает производительность на 3 %. Поэтому зернотоковым хозяйствам страны нужны прогрессивные технологии для послеуборочной обработки зерна, из которых можно выделить основные способы увеличения производительности машин: равномерное распределения семян по площади решета, более качественное попадание частицы в отверстие решета, увеличение скорости движения зерна на поверхности решета, усложнение закона колебаний решетных станов. Согласно выполненным исследованиям, полнота разделения на поверхности решета зависит от показателей относительного движения частицы, а также угла наклона отверстий к направлению схода, скорость и перемещение зерновки при взаимодействии с длинной кромкой отверстия решета, совершающего гармонические колебания. На основании этого можно заключить следующее: процесс сепарации улучшается при угле наклона отверстий решета $\beta = 45^\circ$, частоте колебаний решета $n = 110 \text{ мин}^{-1}$, амплитуде колебаний решета $A = 0,09 \text{ м}$, угле поперечного наклона решета $\alpha_n = 1,5^\circ \dots 2,5^\circ$. На этом режиме работы очистка зерновой смеси проводится качественно и в соответствии с агротехническими требованиями.

Ключевые слова: зерновой ворох, сепарация, полнота разделения, продольное колебание, решето, параметры вибрации.

In accordance with the provisions of the Food security Doctrine of the Russian Federation, it is required to increase the share of domestically produced grain in the world market at least to 95 %. This is facilitated by the presence of 9 % of the world's cultivated areas in the Russian Federation, where black soil is 40 percent. However, post-harvest processing of the entire grain heap brought from the fields is performed by production lines, where the completeness of separation is influenced by the contamination and moisture content of freshly harvested grain. An increase in humidity by 1 % of the baseline reduces the productivity of grain cleaning equipment by 2 %, and an increase in humidity by 1 % reduces productivity by 3 %. Therefore, the country's grain-flow farms need modern technologies for post-harvest grain processing. The main methods of increasing the productivity of machinery can be distinguished. They are: a uniform distribution of seeds over the sieve area, a better particle penetration into the sieve hole, an increase in the speed of grain movement on the surface of the sieves, a complication of the law of vibrations of sieve mills. According to the performed studies the completeness of separation on the sieve surface depends on the indicators of the relative motion of the particle, as well as the angle of inclination of the holes to the direction of descent, the speed and movement of the grain when interacting with the long edge of the sieve hole, performing harmonic oscillations. The following recommendations can be made: the separation process improves at an angle of inclination of the sieve openings $\beta = 45^\circ$, the frequency of sieve vibrations $n = 110 \text{ min}^{-1}$, the amplitude of sieve vibrations $A = 0,09 \text{ m}$, the angle of the sieve transverse inclination $\alpha_n = 1,5^\circ \dots 2,5^\circ$. The cleaning of the grain mixture is carried out qualitatively in accordance with the agrotechnical requirements in this operating mode.

Keywords: grain heap, separation, separation completeness, longitudinal vibration, sieve, vibration parameters.

Введение

Послеуборочная обработка всего зернового вороха, привозимого с полей, проводится поточными линиями. На полноту разделения весьма существенно влияют показатели засоренности и влажности свежееубранного зерна. Повышение влажности на 1 % от базисных показателей снижает производительность зерноочистительной техники на 2 %, а повышение влажности на 1 %, снижает производительность на 3 %. Поэтому зернотоковым хозяйствам страны нужны прогрессивные технологии для послеуборочной обработки зерна.

Проведенный обзор и анализ литературы показывает, что в настоящее время в создании новых способов очистки зерна и разработки прогрессивных рабочих органов зерноочистительных машин не наблюдается кардинальных изменений в лучшую сторону [1, 2, 3, 4, 5].

Эффективность работы зерноочистительных машин в значительной степени зависит от соответствия режимов движения решетных станов, приближенных к оптимальным (паспортным).

Из основных способов увеличения производительности машин можно выделить следующие: равномерностью распределения семян по площади решета, попадание частицы в отверстие решета, увеличение скорости движения зерна на поверхности, усложнение закона колебаний решетных станов.

Цель исследований

Оценка влияния параметров колебаний решетных станов на процесс сепарации зернового материала и выявление зависимостей между параметрами зернового материала и равномерностью распределения семян по площади решета. Это позволит наметить пути увеличения производительности зерноочистительных машин, сократить сроки и снизить себестоимость обработки зерна.

Материалы и методы

Увеличение производительности зерноочистительных машин и улучшение качества очистки возможно за счет усложнения законов колебания решета и ориентирования зернового материала относительно сквозных отверстий решета.

В качестве основных методов исследования использовались стандартные методы математического моделирования и статистическая

обработка полученных результатов. Рассмотрены режимы работы плоского решета в горизонтальной плоскости.

1. Вероятность попадания частицы в отверстие решета при гармонических колебаниях решетного стана

Полнота разделения на поверхности решета зависят от показателей относительного движения частицы. Для теоретических определений влияния угла наклона отверстий к направлению схода, скорости и перемещения зерновки при взаимодействии с длинной кромкой отверстия решета, совершающего гармонические колебания, необходимо иметь уравнения относительного движения частицы по решету.

Для получения математической модели относительного движения зерна при взаимодействии с кромкой прямоугольного отверстия проанализируем схему сил, влияющих на частицу. За частицу принимается зерновка, размеры которой малы, имеющая физико-механические свойства. При этом зерновка рассматривается в виде материальной точки.

Кинематическая схема привода решетного стана представлена на рис. 1.

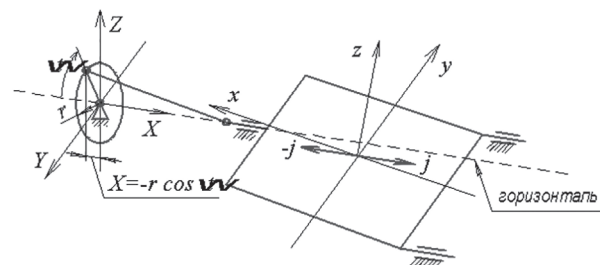


Рис. 1. Кинематическая схема привода решета

Решето совершает гармоническое колебание с амплитудой r и угловой частотой ω . Перемещение каждой, отдельно взятой точки решета за время t определяется зависимостью [6]:

$$X = -r \cdot \cos \omega t. \quad (1)$$

При этом скорость решета равна:

$$V = \frac{dX}{dt} = \omega r \sin \omega t, \quad (2)$$

а ускорение определяется зависимостью:

$$j = \frac{d^2 X}{dt^2} = \omega^2 r \cos \omega t, \quad (3)$$

причем, в первой половине перемещения решета значения положительны, а во второй – они от-

рицательны, соответственно решетный стан меняет свое направление колебания (рис. 1).

Время периода колебания решета равно:

$$T = \frac{2\pi}{\omega}. \quad (4)$$

Период времени, когда ускорение j положительно и направлено в сторону схода с поверхности решета, считается правым интервалом.

Период времени, когда ускорение j отрицательно и направлено против схода с поверхности решета, считается левым интервалом. Плоскость решета расположена под углом α по отношению к горизонтальной плоскости в продольном направлении и под углом α_{Π} – в поперечном направлении. Продолговатые отверстия решета расположены длинной стороной под углом α' к продольной оси решета [6].

Колебания решета совершаются в горизонтальной плоскости.

Если решето совершает гармонические продольные колебания, то под действием ускорения решета j на частицу массой m , совершающую колебания вместе с решето, будет действовать сила инерции $U = m j$ в правом интервале и сила инерции $U = -m j$ – в левом.

Рассматривая взаимодействие частицы с длинной кромкой наклонного продолговатого отверстия, как взаимодействие с условным препятствием на пути движения частицы по сплошной (гладкой) поверхности, силу инерции можно разложить на три составляющие:

- первая – направленная перпендикулярно плоскости решета; она не вызывает перемещения частицы в плоскости решета;
- вторая – направленная перпендикулярно продольной грани отверстия решета; она уравнивается реакцией R грани отверстия и движения частицы также не вызывает;
- третья – направленная вдоль грани отверстия; вызывает движение частицы вдоль грани отверстия [6].

При движении частицы возникает сила трения F , величина которой принимается равной:

$$F = N \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (5)$$

где N – нормальная к плоскости решета реакция действующих сил на частицу; $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент трения.

Направление этой силы противоположно направлению движения частицы.

Вертикальная сила тяжести G равна:

$$G = m \cdot g, \quad (6)$$

где g – ускорение свободного падения.

Ее составляющая, направленная параллельно плоскости решета, может способствовать или препятствовать движению частицы.

Большие величины перемещения частицы вправо, чем влево, за один период колебаний решета приводят к отрицательному явлению: при работе решета зерно может сбиваться в сторону большего поперечного перемещения частицы [7].

То обстоятельство, что поперечный наклон решета влево при наклоне отверстий вправо позволит увеличить перемещение влево и уменьшить – вправо, позволяет выбрать такие значения поперечного наклона, которые могут устранить сбивание зернового материала в одну сторону [8].

Исходя из условия, что эффективность процесса сортирования пропорциональна суммарному пути, пройденному частицей за один период колебаний решета, следует считать, что углы наклона отверстий α более 20° не рациональны.

Для каждого угла наклона кромки отверстия к продольной оси решета существует свой угол поперечного наклона решета, при котором перемещения влево и вправо будут равны.

2. Определение показателей движения зерновки по решету, совершающему круговые движения

Для определения траектории движения зерновки воспользуемся Вторым законом Ньютона в дифференциальной форме (7), принимая, что зерновка движется по решету без отрыва:

$$\begin{cases} \frac{d^2 x}{dt^2} m = \sum_{i=1}^n F_{xi} \\ \frac{d^2 y}{dt^2} m = \sum_{i=1}^n F_{yi} \\ \frac{d^2 z}{dt^2} m = \sum_{i=1}^n F_{zi} = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Силы, действующие на зерновку в системе координат $Oxyz$, проходящей осью Oz через ось электродвигателя (рис. 2):

- 1) движущая сила – $F_{дв}$;
- 2) сила тяжести зерновки – G ;
- 3) сила центробежной инерции – $F_{ин}$;
- 4) сила трения – $F_{тр}$.

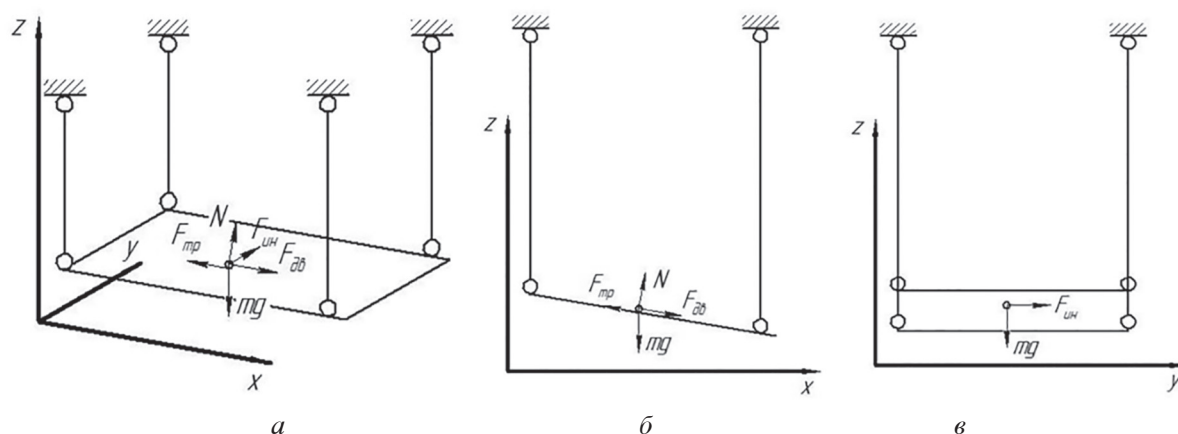


Рис. 2. Силы, действующие на зерновку:

а – в системе координат Oxyz; б – в плоскости XZ; в – в плоскости YZ

Рассмотрим каждую силу в отдельности.

Движущая сила. Так как вал электродвигателя имеет постоянную угловую скорость ω , то угол поворота кривошипа можно представить как $\varphi = \omega t$, следовательно, перемещение по осям координат можно записать:

$$\begin{aligned} x &= r \cdot \cos(\varphi) = r \cdot \cos(\omega t), \\ y &= r \cdot \sin(\varphi) = r \cdot \sin(\omega t). \end{aligned} \quad (8)$$

Продифференцировав перемещение (8) по времени, найдем проекции переносной скорости

$$\begin{aligned} V_x &= \frac{dx}{dt} = -\omega \cdot r \cdot \sin(\omega t), \\ V_y &= \frac{dy}{dt} = \omega \cdot r \cdot \cos(\omega t). \end{aligned} \quad (9)$$

Продифференцировав (9) еще раз получим переносные ускорения:

$$\begin{aligned} a_x &= \frac{dV_x}{dt} = -\omega^2 \cdot r \cdot \cos(\omega t), \\ a_y &= \frac{dV_y}{dt} = -\omega^2 \cdot r \cdot \sin(\omega t). \end{aligned} \quad (10)$$

На основании этого можно записать уравнение движущей силы в матричной форме:

$$F_{дв} = m \begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{pmatrix} = m \begin{pmatrix} -\omega^2 \cdot r \cdot \cos(\omega t) \\ -\omega^2 \cdot r \cdot \sin(\omega t) \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (11)$$

Сила тяжести. Действует в противоположную сторону направления оси Oz, что в матричной форме запишется:

$$G = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -mg \end{pmatrix}. \quad (12)$$

Сила центробежной инерции. Так как зерновка находится на вращающемся решетке, то на нее будет действовать сила центробежной инерции, которая определяется уравнением $F_{ин} = m \cdot a_{ц}$, где m – масса зерновки; $a_{ц}$ – центростремительное ускорение [9].

В нашем случае матричная форма записи силы центробежной инерции будет выглядеть:

$$F_{ин} = \begin{pmatrix} \omega^2 \cdot m \cdot r \cdot \cos(\alpha) \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (13)$$

где α – угол наклона решета.

Сила трения. Согласно справочной литературе по зерноочистке, расчет ведут по углу трения зерновки о решето $\psi = \text{tg } 26^\circ$, тогда сила трения в матричной форме запишется

$$F_{тр} = \begin{pmatrix} g \cdot m \cdot \psi \cdot \sin(\omega t) \\ -g \cdot m \cdot \psi \cdot \cos(\omega t) \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (14)$$

Единожды проинтегрировав выражение (7) по времени с подстановкой формул (8)–(14)

$$\begin{cases} V_x(t) = \int \frac{F_{двх} + F_{инх} + G_x + F_{трх}}{m} dt \\ V_y(t) = \int \frac{F_{дву} + F_{ину} + G_y + F_{тры}}{m} dt. \end{cases} \quad (15)$$

мы получим скорость движения зерновки по решетку в системе координат Oxyz установки:

$$\begin{cases} V_x(t) = \int \frac{F_{двх} + F_{инх} + G_x + F_{трх}}{m} dt \\ V_y(t) = \int \frac{F_{дву} + F_{ину} + G_y + F_{тры}}{m} dt, \end{cases} \quad (16)$$

Дважды проинтегрировав выражение (7) по времени с подстановкой формул (8)–(14)

$$\begin{cases} x(t) = \iint \frac{F_{\text{двх}} + F_{\text{инх}} + G_x + F_{\text{трх}}}{m} dt dt \\ y(t) = \iint \frac{F_{\text{дву}} + F_{\text{ину}} + G_y + F_{\text{тры}}}{m} dt dt, \end{cases} \quad (17)$$

мы получим координаты траектории зерновки в системе координат $Oxzy$ установки:

$$\begin{cases} S_x(t) = \frac{2\omega^2 \cdot r \cdot \cos(\omega t) - 2\psi \cdot g \cdot \sin(\omega t) + \omega^4 \cdot r \cdot t^2 \cdot \cos(\alpha)}{2\omega^2} \\ S_y(t) = \frac{\omega^2 \cdot r \cdot \sin(\omega t) + \psi \cdot g \cdot \cos(\omega t)}{\omega^2}. \end{cases} \quad (18)$$

Для определения траектории зерновки относительно решета необходимо перейти к системе координат $Ox'y'z'$. Новая система координат ориентирована следующим образом: Ox' – расположена поперек решета; Oy' – вдоль решета; Oz' – перпендикулярно решету [9].

Для перехода к новой системе координат $Ox'y'z'$ воспользуемся матрицей поворота:

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & \sin(\alpha) \\ 0 & -\sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{pmatrix}. \quad (19)$$

В новой системе координат силы запишутся следующим образом.

Движущая сила:

$$F'_{\text{дв}} = F_{\text{дв}} \cdot M. \quad (20)$$

Сила тяжести:

$$G' = G \cdot M. \quad (21)$$

Сила центробежной инерции:

$$F'_{\text{ин}} = F_{\text{ин}} \cdot M. \quad (22)$$

Сила трения:

$$F'_{\text{тр}} = \begin{pmatrix} G'_z \cdot \psi \cdot \sin(\omega t) \\ G'_z \cdot \psi \cdot \cos(\omega t) \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (23)$$

Проинтегрировав выражение (7) по времени с подстановкой формул (19)–(23)

$$\begin{cases} x'(t) = \int \frac{F'_{\text{двх}} + F'_{\text{инх}} + G'_x + F'_{\text{трх}}}{m} dt \\ y'(t) = \int \frac{F'_{\text{дву}} + F'_{\text{ину}} + G'_y + F'_{\text{тры}}}{m} dt, \end{cases} \quad (24)$$

мы получим скорость движения зерновки по решету в системе координат $Ox'y'z'$ установки:

$$\begin{cases} V_x(t) = \frac{\omega^3 \cdot r \cdot t \cdot \cos(\alpha) - \omega^2 \cdot r \cdot \sin(\omega t) + \psi \cdot g \cdot \cos(\omega t) \cdot \cos(\alpha)}{\omega} \\ V_y(t) = -\frac{\psi \cdot g \cdot \sin(\omega t) \cdot \cos(\alpha) + \omega \cdot g \cdot t \cdot \sin(\alpha) - \omega^2 \cdot r \cdot \cos(\omega t) \cdot \cos(\alpha)}{\omega}. \end{cases} \quad (25)$$

Дважды проинтегрировав выражение (7) по времени с подстановкой формул (19)–(23)

$$\begin{cases} x'(t) = \iint \frac{F'_{\text{двх}} + F'_{\text{инх}} + G'_x + F'_{\text{трх}}}{m} dt dt \\ y'(t) = \iint \frac{F'_{\text{дву}} + F'_{\text{ину}} + G'_y + F'_{\text{тры}}}{m} dt dt, \end{cases} \quad (26)$$

мы получим координаты траектории зерновки в системе координат $Ox'y'z'$ решета:

$$\begin{cases} S_x(t) = \frac{2 \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \cos(\omega t) + 2 \cdot \psi \cdot g \cdot \sin(\omega t) \times \cos(\alpha) + \omega^4 \cdot r \cdot t^2 \cdot \cos(\alpha)}{2 \cdot \omega^2} \\ S_y(t) = \frac{2 \cdot \psi \cdot g \cdot \cos(\omega t) \cdot \cos(\alpha) - \omega^2 \cdot g \cdot t^2 \times \sin(\alpha) + 2 \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \sin(\omega t) \cdot \cos(\alpha)}{2 \cdot \omega^2}. \end{cases} \quad (27)$$

Результаты и обсуждение

Выполнив расчеты в системе компьютерной алгебры из класса систем автоматизированного проектирования Mathcad по уравнениям (18) и (27), были получены соответственно графики, характеризующие траекторию движения зерновки [9]. Траектория движения, описываемая уравнением (18), представляет собой циклоиду. В зависимости от частоты вращения решета циклоида может быть укороченной или удлиненной. В нашем случае при заданных параметрах частоты вращения $n = 80 \dots 140 \text{ мин}^{-1}$ зерновка начинает движение по решету, совершая круговое перемещение, которое переходит в удлиненную циклоиду с последующим увеличением расстояния между витками.

Траектория движения зерновки по решету в системе координат, находящейся в его плоскости, определяется уравнением (27) и представляет собой синусоиду. В момент начала

движения зерновки по решетку она совершает перемещение по синусоиде с малым периодом, который в последующем увеличивается [9].

На основании выполненных расчетов перемещения зерновки по решетку можно сделать вывод, что при низкой частоте вращения время нахождения зернового вороха на решетке снижается, а при максимальной частоте увеличивается, о чем свидетельствует малое расстояние между витками циклоиды. Такое перемещение зерновки по решетку увеличивает вероятность ее попадания в отверстие решета (рис. 3).

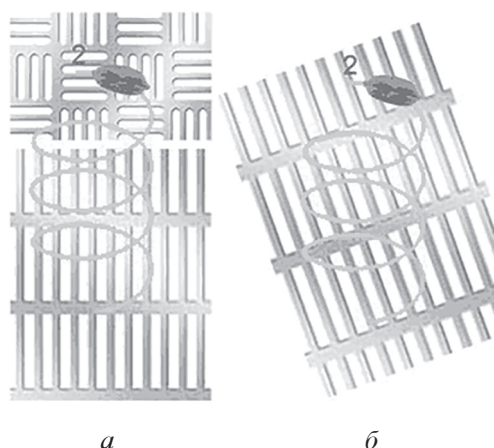


Рис. 3. Траектория движения зерновки по решетам, совершающим круговые движения:

a – с прямыми рядами; *б* – с наклонными рядами

При этом во время кругового движения ориентация зерновки по отношению к отверстиям решета меняется в несколько раз быстрее, чем при возвратно-поступательном движении, тем существеннее возрастает вероятность ее попадания в ячейки решета. А изменение угла наклона отверстий относительно продольной оси решета (рис. 3), позволяет увеличить пропускную способность и повысить качество разделения зернового материала.

Применение плоских решет с прямоугольными отверстиями, расположенными под углом к продольной оси, которые совершают круговые движения, позволит равномерно распределить зерновой материал на поверхности решета, что увеличит вероятность попадания частицы в отверстие и повысит качество разделения зернового материала, в результате чего процесс сепарации (очистки) существенно улучшится.

На основании выполненных расчетов можно заключить следующее: процесс сепарации улучшается при угле наклона отверстий

решета $\beta = 45^\circ$, частоте колебаний решета $n = 110 \text{ мин}^{-1}$, амплитуде колебаний решета $A = 0,09 \text{ м}$, угле поперечного наклона решета $\alpha_n = 1,5^\circ \dots 2,5^\circ$. На этом режиме работы очистка зерновой смеси проводится качественно в соответствии с агротехническими требованиями.

Применение плоских подсевных решет с прямоугольными отверстиями, расположенными под углом к продольной оси, которые совершают круговые движения, позволит равномерно распределить зерновой материал на поверхности решета, что увеличит вероятность попадания частицы в отверстие и повысит качество разделения зернового материала. В результате процесс сепарации (очистки) существенно улучшится.

Результаты экспериментальных исследований

В лабораторных исследованиях для определения рациональных параметров решета применялся классический, отсеивающий и планируемый эксперименты. Для описания закономерностей качественного разделения зернового материала принят симметричный композиционный ортогональный план Плаккетта-Бермана с тремя факторами: n , β , G [10].

По результатам экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы.

Минимальная полнота разделения зернового вороха наблюдается при максимальной частоте вращения решета и большем угле наклона кромок отверстий. Это объясняется тем, что зерновой материал не успевает задержаться на поверхности решета и, принимая критическую скорость, соскальзывает в сход.

С целью увеличения времени нахождения зерновки на поверхности решета необходимо использовать минимальную частоту вращения 80 мин^{-1} . При таких технологических параметрах повышается качество разделения зернового материала, однако при этом снижается его производительность, поэтому оптимальными выбраны следующие значения: частота вращения решета 110 мин^{-1} , угол наклона длинных кромок прямоугольных отверстий решета к его продольной оси 45° и удельная нагрузка на решето $1,49 \text{ кг/м}^2\text{с}$ [10].

Выбранные величины позволяют качественно проводить очистку зернового вороха на фракции в соответствии с агротехническими требованиями.

Заключение

Исходя из проведенных исследований, можно сделать следующие выводы.

1. Выявлено, что эффективность процесса сортирования пропорциональна суммарному пути, пройденному частицей за один период колебаний решета; следует считать, что углы наклона отверстий α' более 20° не рациональны.

2. Установлены зависимости движения зерна по решету при круговых движениях решетного стана. Определено, что при параметрах частоты вращения решета $n = 80...140$ мин⁻¹ зерновка начинает движение по решету, совершая круговое перемещение, которое переходит в удлиненную циклоиду с последующим увеличением расстояния между витками.

3. Выявлено, что при низкой частоте вращения время нахождения зернового вороха на решете снижается, а при максимальной частоте увеличивается, о чем свидетельствует малое расстояние между витками циклоиды. При этом во время кругового движения ориентация зерновки по отношению к отверстиям решета меняется в несколько раз быстрее, чем при возвратно-поступательном движении; тем существеннее возрастает вероятность ее попадания в ячейки решета. Изменение угла наклона отверстий относительно продольной оси решета позволяет увеличить пропускную способность и повысить качество разделения зернового материала.

Литература

1. Experimental registrations of plain sieve operation, making transverse fluctuations / U.K. Sabiev, E.V. Demchuk, A.Yu. Golovin, I.V. Skysanov. В сборнике Mechanical Science and Technology Update (MSTU-2018) IOP Publishing IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1050 (2018) 012074 doi: 10.1088/1742-6596/1050/1/012074.
2. Aguirre R. Continuous – flowing portable separator for cleaning and upgrading bean seeds and grains / R. Aguirre, A.E. Garay // Agr. Mech / Afr. And Lat. Amer. 1999. V. 30. № 1. P. 59–63.
3. Boumans, G. Grain Handling and Storage. Amsterdam; Oxford; New-York; Tokyo, 1985. 608 p.
4. Choszcz, D. The determination of optimum parameters of various kinds of the sieve basket motion of winnowing machine on the cleaning process of mustard seeds / D. Choszcz, S. Konopka, K. Wierzbicki // Roczn. AR Poznaniu. Rol. 1996. № 49. P. 13–22.
5. Wang Guo-Xin Luoyang gongxueyuan xuebao / Wang Guo-Xin, Shi Qing-Xiang, Ni Chang-An, Liu Shi-Duo, Ji Jiang-Tao // J. Luoyang Inst. Technol. 2000. V. 21. № 1. P. 7–10.
6. Зильбернагель А.В., Сабиев У.К. Теоретическое исследование влияния траектории движения частицы на вероятность взаимодействия ее с кромками продолговатого отверстия решета // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2011. № 9 (83). С. 78–81.
7. Зюзьков Б.И. Подготовка вороха для испытания зерноочистительных машин // Науч. тр. Ом. с.-х. ин-т. Омск, 1972. Т. 94. С. 20–24.
8. Евтягин В.Ф., Черняков А.В. Граничные режимы бигармонических колебаний плоского решета // Естественные науки и экология: межвуз. сб. науч. тр. Омск, 2000. Вып. 5. С. 17–20.
9. Зильбернагель А.В. Влияние положения частицы относительно грани продолговатого отверстия решета на ее предельную скорость // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2003. № 2. С. 122.
10. Головин А.Ю. Обоснование конструктивно-режимных параметров плоского подсевного решета, совершающего круговые движения: дис. ... канд. техн. наук. Барнаул, 2018. 164 с.

References

1. Experimental registrations of plain sieve operation, making transverse fluctuations / U.K. Sabiev, E.V. Demchuk, A.Yu. Golovin, I.V. Skysanov. V sbornike Mechanical Science and Technology Update (MSTU-2018) IOP Publishing IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1050 (2018) 012074 doi: 10.1088/1742-6596/1050/1/012074.
2. Aguirre R. Continuous – flowing portable separator for cleaning and upgrading bean seeds and grains / R. Aguirre, A.E. Garay // Agr. Mech / Afr. And Lat. Amer. 1999. Vol. 30, No 1. P. 59–63.
3. Boumans, G. Grain Handling and Storage. Amsterdam; Oxford; New-York; Tokyo, 1985. 608 p.
4. Choszcz, D. The determination of optimum parameters of various kinds of the sieve basket motion of winnowing machine on the cleaning process of mustard seeds / D. Choszcz, S. Konopka, K. Wierzbicki // Roczn. AR Poznaniu. Rol. 1996. No 49. P. 13–22.
5. Wang Guo-Xin Luoyang gongxueyuan xuebao / Wang Guo-Xin, Shi Qing-Xiang, Ni Chang-An, Liu Shi-Duo, Ji Jiang-Tao // J. Luoyang Inst. Technol. 2000. V. 21. No 1. P. 7–10.
6. Zil'bernagel' A.V., Sabiyev U.K. Theoretical study of the influence of the trajectory of a particle on

- the probability of its interaction with the edges of an oblong hole of the sieve. Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2011. No 9 (83), pp. 78–81 (in Russ.).
7. Zyuz'kov B.I. Preparing a heap for testing grain cleaning machinery. Nauch. tr. Om. s.-kh. in-t. Omsk, 1972. Vol. 94, pp. 20–24 (in Russ.).
 8. Yevtyagin V.F., Chernyakov A.V. Boundary modes of biharmonic vibrations of a flat sieve. Yestestvenn-yye nauki i ekologiya: Mezhvuz. sb. nauch. tr. Omsk, 2000. Vyp. 5, pp. 17–20 (in Russ.).
 9. Zil'bernagel' A.V. Influence of the position of a particle relative to the plane of an oblong hole of the sieve on its limiting velocity. Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2003. No 2, pp. 122 (in Russ.).
 10. Golovin A.Yu. Obosnovaniye konstruktivno-rezhimnykh parametrov ploskogo podsevnogo re-sheta, sovershayushchego krugov-yye dvizheniya: dis. ... kand. tekhn. nauk [Justification of the design and operating parameters of a flat undersowing sieve in circular motion: Dissertation for the Degree of Dr.Eng.]. Barnaul, 2018. 164 p.

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ НА КАЧЕСТВО РАЗДЕЛЕНИЯ НА ФРАКЦИИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ КАРТОФЕЛЕСОРТИРОВАЛЬНЫХ МАШИН

INFLUENCE OF THE SHAPE OF POTATO TUBERS ON THE QUALITY OF SEPARATION INTO FRACTIONS BY THE WORKING BODIES OF POTATO SORTING MACHINES

Н.Н. РОМАНИУК¹, к.т.н.
В.Н. ЕДНАЧ¹, к.т.н.
С.А. ВОЙНАШ²

¹ Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Республика Беларусь
² ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия, val-e@mail.ru, sergey_voi@mail.ru

N.N. ROMANYUK¹, PhD in Engineering
V.N. YEDNACH¹, PhD in Engineering
S.A. VOYNASH²

¹ Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus
² Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia, val-e@mail.ru, sergey_voi@mail.ru

Многие производители сельскохозяйственной продукции сталкиваются с проблемами сортирования клубней картофеля плоской и овальной форм на размерные фракции роликовыми сортировальными поверхностями. В статье рассматривается влияние формы клубней картофеля на скорость их ориентации относительно калибрующих отверстий и, как следствие, на показатели производительности машин и качества выполняемого процесса. Целью исследования является определение причин повреждения клубней при сортировке и способы их устранения. Обоснована взаимосвязь кинематических параметров роликовых поверхностей картофелесортировальных машин и формы клубней, позволяющая снизить повреждения и повысить качество сортировки картофеля на фракции. Для определения взаимосвязи формы клубней и кинематических параметров роликовой поверхности проведен ряд экспериментов. В первом эксперименте определялось количество клубней, которые пройдут сквозь калибрующую щель за определенное время при различных передаточных отношениях в приводе роликов калибрующей поверхности. Во втором эксперименте находилось время, за которое определенное количество клубней различной формы пройдут сквозь калибрующую поверхность. На основании проведенных исследований представлены графики экспериментальных зависимостей количества клубней толщиной 43 мм, прошедших в калибрующий зазор между роликами 42 мм за время 5 с, от соотношения окружных скоростей между роликами и графики зависимости изменения времени прохождения группы клубней толщиной 40 и 42 мм через щель между роликами шириной 42 мм от соотношения окружных скоростей между роликами. На основании проведенных исследований установлено, что соотношение окружных скоростей соседних роликов, образующих калибрующую щель, оказывает существенное влияние на качество разделения клубней на фракции и является причиной нанесения им повреждений, связанных с деформацией. Представленный анализ позволяет оценить влияние формы клубня на качество разделения клубней роликовыми калибрующими поверхностями картофелесортировальных машин, а также указывает пути совершенствования конструкций техники для доработки картофеля после уборки и перед продажей.

Ключевые слова: клубни, картофель, сортировка, картофелесортировальная машина, повреждения, качество разделения, фракции, роликовая поверхность.

Many agricultural producers are faced with problems of sorting flat and oval potato tubers into size fractions using roller sorting surfaces. The paper studies the influence of the shape of potato tubers on the speed of their orientation relative to the calibrating holes, and, as a consequence, the performance indicators of machines and the quality of the process performed. The aim of the study is to determine the causes of damage to tubers during sorting and ways to eliminate them. There was substantiated the relationship between the kinematic parameters of the roller surfaces of potato sorting machines and the shape of tubers, which makes it possible to reduce damage and improve the quality of sorting potatoes into fractions. A number of experiments were carried out to determine the relationship between the shape of tubers and the kinematic parameters of the roller surface. In the first experiment, the number of tubers that will pass through the calibrating slot in a certain time was determined at different gear ratios in the drive of the rollers of the calibrating surface. In the second experiment, the time was found for a certain number of tubers of various shapes to pass through the calibrating surface. The graphs of the experimental dependences of the number of tubers of 43 mm thick passed into the calibrating gap between the rollers of 42 mm in 5 seconds on the ratio of the peripheral speeds between the rollers are presented. And the graphs of the dependence of the change in the time of passage of a group of tubers with a thickness of 40 and 42 mm through the gap between the rollers with a width 42 mm from the ratio of the peripheral speeds between the rollers are given. Based on the carried out studies, it was found that the ratio of the peripheral speeds of adjacent rollers, forming the calibrating slot, have a significant effect on the quality of the separation of tubers into fractions and are the cause of damage influenced by deformation. The presented analysis makes it possible to assess the influence of the shape of the tuber on the quality of the separation of tubers by roller calibrating surfaces of potato sorting machines, and also indicates the ways of improving the design of equipment for the finalization of potatoes after harvest and before sale.

Keywords: tubers, potatoes, sorting, potato sorting machine, damage, separation quality, fractions, roller surface.

Введение

Картофель является одной из основных сельскохозяйственных культур, производимых на территории Республики Беларусь. Ежегодный объем его производства составляет от 13 до 15 % на территории стран СНГ и от 4 до 6 % – мирового производства. Беларусь поставляет на рынки соседних стран около 500 тыс. т продовольственного картофеля и 250 тыс. т семенного [1]. Несмотря на это, согласно официальной статистике, производство картофеля в сельскохозяйственных организациях республики неуклонно снижается. Так, за последнее десятилетие максимальный пик производства картофеля сельскохозяйственными предприятиями республики составлял 1240,2 тыс. т в 2012 г., а уже в 2018 г. он снизился до 598,6 тыс. т; при этом на приусадебных участках населения картофель неуклонно занимает лидирующие позиции (в 2018 г. он составил 5266,5 тыс.т).

Снижение производства картофеля сельскохозяйственными организациями республики вызвано отходом от применения этой овощной культуры в качестве кормовой, а также высокая трудоемкостью ее производства, которая прежде всего связана с послеуборочной обработкой и хранением.

Государственной программой развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 гг. [2] предусмотрено наращивание объемов производства картофеля путем совершенствования технологий производства, увеличения урожайности и существенно-го снижения потерь, большая часть которых имеет место быть при уборке, послеуборочной доработке и хранении.

Современные тенденции производства картофеля по европейским технологиям направлены на увеличение его урожайности. В Германии в 2017 г. урожайность картофеля составляла 468 ц/га, в Польше – 278,5 ц/га [3], в то время как в сельскохозяйственных организациях Беларуси – 291 ц/га [1]. Несмотря на это, в республике остро стоит вопрос сохранности выращенной продукции, ее качественными показателями и товарным видом.

Сортирование картофеля направлено на получение нескольких фракций, отличающихся по массе, размеру или другим признакам. Обычно выделяют примеси растительные, почвенные включения и три основные фракции картофеля: крупную (столовую), семенную и мелкую.

Современные технологии, применяемые в сельскохозяйственном производстве, используют целый ряд признаков, по которым производят сортирование продукции. Эффективность разделения картофеля на фракции зависит от физико-механических свойств клубней, к которым следует отнести: форму, геометрические размеры, массу, плотность, коэффициенты трения по поверхностям, упругость, цвет и отражающую способность, проницаемость рентгеновскими лучами.

При разделении картофеля на размерные фракции необходимо учитывать, что наиболее точно определенную фракцию характеризуют масса или объем клубня. На практике определение массы и объема каждого отдельного клубня произвести весьма трудоемко, нетехнологично и занимает много времени.

В высокопроизводительных машинах наибольшее распространение получили роликовые калибрующие поверхности, использующие при разделении клубней на фракции их линейные размеры.

При закладке на хранение клубней разного размера скважность массы уменьшается из-за заполнения промежутков между крупными клубнями, картофелем более мелкой фракцией. Кроме того, с течением времени клубни картофеля деформируются, плотнее прилегая друг к другу, тем самым снижая скважность. В целом эти факторы ухудшают возможность достаточной вентиляции картофельной массы в процессе хранения, что ведет к потерям. Как правило, потери при хранении характеризуются усыханием клубней, прорастанием в насыпах и гниением [5, 17].

Существенное влияние на реализационную стоимость картофеля оказывает внешний вид клубней, основными показателями качества товара являются выравненность фракционного состава, отсутствие загрязнений и повреждений картофеля. Данные показатели обеспечиваются посредством операции сортирования.

Целью исследований

Определение причин повреждения клубней при сортировке и способы их устранения.

Обзор литературы

В процессе разделения картофеля на фракции клубни получают механические повреждения, которые можно разделить на внешние

и внутренние. Внешние повреждения (содранная кожура, трещины, вырывы мякоти, раздавленные, разрезанные клубни) возникают в результате защемления при взаимодействии клубней с рабочими органами калибрующих поверхностей, связанные со скоростными режимами работы, а внутренние (потемнение мякоти) – из-за высоких напряжений и деформаций, возникающих в процессе прохождения клубня через калибровочное отверстие [8].

Степень механических повреждений и потерь при хранении зависит от типа применяемой технологии послеуборочной доработки. По усредненным данным [22], при поточной технологии послеуборочной доработки, повреждения клубней достигают 66,4 %, а потери за 8 месяцев хранения – 32,2 %; при перевалочной – повреждения 31,3 %, потери 18,7 %. Наименьшие повреждения наблюдались при прямоточной технологии – 20,2 % при потерях 8,3 %.

Исследованиями [9] установлено, что потери при хранении могут превышать 20 %, и в значительной степени их уровень зависит от поврежденности закладываемого на хранение картофеля.

Необходимо отметить, что неповрежденные клубни за весь период хранения теряют до 5 % от своей массы, клубни с содранной кожурой – до 11 %, а клубни с вырывами и разрезами – от 15 до 19 % [21].

Задержка всходов поврежденного семенного картофеля составляет от 8 до 18 дней в зависимости от их размеров, при этом количество невзошедших клубней достигает 35 % и более, травмирование семенного картофеля приводит также к снижению будущего урожая от 15 до 25 % [10, 14].

Уровень и тип повреждений клубней в значительной степени зависит от сорта картофеля и его физико-механических свойств, температуры окружающей среды, влажности, особенностей технологического процесса сортировки, и взаимодействия с рабочими органами [16].

Влияние низких температур на уровень повреждений клубней картофеля наблюдается при температурах ниже 10 °С. Снижение температуры на 1 °С приводит к увеличению уровня повреждений на 5 % [9]. Вместе с тем при 10 °С сопротивляемость клубней к возбудителям болезней значительно снижается в результате замедления процесса восста-

новления, а при 5 °С заживление травм практически прекращается [9].

Исследованиями Т.И. Валусовой установлено, что снижение прочности кожуры и мякоти наблюдается у клубней картофеля, убранных при влажности почвы более 27 %. Снижение стойкости клубней к нагрузкам вызвано увеличением тургора клеток картофеля [6].

Вместе с тем уровень повреждений картофеля при сортировке ограничивается требованиями ТКП 277-2010 (02150) и для семенного картофеля не должен превышать 2 %, для продовольственного – 5 % (ГОСТ 7176-85) [13].

С целью снижения уровня повреждения картофеля рабочими органами машин для уборки и послеуборочной доработки клубней в технологии предусмотрены такие операции, как уборка ботвы и лечебный период. Уборка ботвы картофеля до основной уборки способствует созреванию и увеличению прочности кожуры [25]; лечебный период – временное хранение от 10 до 14 дней – способствует просушиванию, увеличению прочности и выявлению больных клубней, после чего проводят сортировку картофеля с последующей закладкой на хранение [11, 12].

Применение той или иной технологии определяется условиями хозяйствования. Из анализа результатов исследований видно, что потери картофеля при хранении напрямую зависят от степени его повреждения. Снижение повреждения картофеля возможно при условии, что конструктивные и кинематические параметры рабочих органов калибрующих поверхностей сортировальных машин будут использоваться с учетом особенностей разных сортов клубней картофеля [23].

Следует отметить, что основным фактором, влияющим на качественные показатели процесса разделения клубней картофеля на фракции, а также его повреждение рабочими органами сортировальных машин, является взаимодействие поверхности клубня с гранями калибрующих ячеек. Поскольку необходимым условием точности разделения является прохождение клубня в калибрующий зазор, размер которого близок к размеру клубня, то повреждения от взаимодействия неизбежны. Вместе с тем, степень этих повреждений зависит от количества клубней, размеры которых близки к размерам калибрующих отверстий и формы самих клубней.

А.А. Герасимов [4] предложил выделять формы клубней по коэффициенту формы K_Φ :

$$K_\Phi = \frac{l_k}{\sqrt{b_k \cdot c_k}}, \quad (1)$$

где l_k – длина клубня, м; b_k – ширина клубня, м; c_k – толщина, м.

Согласно классификации А.А. Герасимова, выделяют следующие формы клубня: округлая K_Φ менее 1,20; округло-овальная – K_Φ от 1,20 до 1,30; овальная – K_Φ от 1,30 до 1,40; удлинено-овальная – K_Φ от 1,40 до 1,50; удлинённая K_Φ более 1,50.

Материалы и методы

Форма клубня влияет на процесс его взаимодействия с рабочими органами, ориентацию картофеля относительно калибрующих отверстий, траекторию движения по калибрующим поверхностям. К примеру, при качении клубня ось его вращения ориентируется параллельно оси рабочих органов и перпендикулярно направлению движения. Этот эффект широко используется на роликовых калибрующих поверхностях для ориентации клубней относительно щелей и калибрующих отверстий.

Проведенный анализ работы роликовых калибрующих поверхностей позволил определить связь кинематических параметров роликовой поверхности и формы клубня [7, 24, 27, 28].

На рис. 1 представлена схема прохождения клубня эллиптической формы между двумя роликами круглого сечения, центры которых обозначены O_1 и O_2 ; радиусы роликов – R_1 и R_2 , зазор между роликами – C , в поперечном сечении толщина клубня – $2r_c$, ширина – $2r_b$.

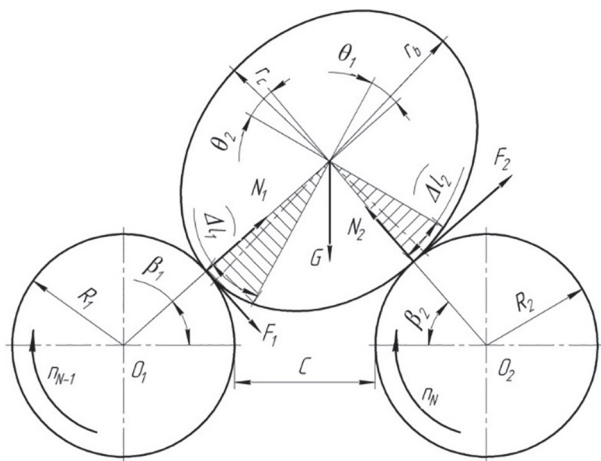


Рис. 1. Схема взаимодействия клубня овальной формы с роликами

Рассматривая движение клубня (рис. 1), было установлено, что при повороте его на угол θ относительно точек контакта с роликами путь, пройденный клубнем относительно каждого из роликов, отличается тем больше, чем больше разница между толщиной и шириной клубня. Поскольку ролики вращаются с одинаковой частотой и имеют одинаковый размер, то очевидно, что клубень, поворачиваясь относительно каждого из роликов на угол $\theta_1 = \theta_2$, будет проскальзывать относительно одного из них, а следовательно, защемления и проскальзывания клубней неизбежны. В свою очередь значительные повреждения при движении по роликам клубень получает при защемлении.

Анализ движения клубня эллиптической формы по роликовой поверхности показал, что защемление клубня можно избежать, если учесть соотношение размеров клубня в поперечном сечении. Так, пути Δl_1 и Δl_2 , которые проходит клубень относительно каждого из роликов, смещение центра масс, веса клубня G и изменение сил нормальных реакций N_1 , N_2 и сил трения F_1 и F_2 позволило получить соотношение скоростей двух соседних роликов, при котором клубни не защемляются роликами. Увеличение скорости каждого последующего ролика $V_{\text{вых}}$, при которой клубни будут выкатываться из впадины между роликами, определено по выражению:

$$V_{\text{вых}} = 2 \cdot \pi \cdot n_{N-1} \cdot R_{N-1} \frac{(r_b - r_c)}{r_c}, \quad (2)$$

где n_{N-1} – частота вращения предыдущего ролика, с^{-1} ; R_{N-1} – радиус предыдущего ролика, м; r_b – радиус клубня по ширине, м; r_c – радиус клубня по толщине, м.

Учитывая окружные скорости первого V_1 , второго V_2 роликов и разность скоростей $V_{\text{вых}}$, определено передаточное отношение между роликами [5]:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{c_k}{b_k}, \quad (2)$$

где n_1 – частота вращения первого ролика, мин^{-1} ; n_2 – частота вращения второго ролика, мин^{-1} ; V_1 – окружная скорость поверхности первого ролика, мин^{-1} ; V_2 – окружная скорость поверхности второго ролика, мин^{-1} .

Полученное выражение (2) позволяет учитывать форму клубней и производить настройку машины в зависимости от особенностей

сорта картофеля и его геометрических параметров. В процессе калибрования роликовые поверхности ориентируют клубни картофеля таким образом, что их длина – наибольшая ось вращения – располагается параллельно роликам, следовательно, на процесс калибрования оказывает минимальное влияние. На основании вышеизложенного коэффициент формы K_p , определяемый как отношение ширины клубня к его толщине, будет достаточным для калибрующих поверхностей роликового типа:

$$K_p = c_k / b_k. \quad (3)$$

Используя выражение (3) и учитывая классификацию А.А. Герасимова, при проведении исследований на сортах картофеля «скарб», «ласунак», «адрета» нами выделено пять основных форм поперечного сечения клубней (см. табл.).

Таблица

**Коэффициент формы клубня
в поперечном сечении [24, 26]**

Форма клубня	Коэффициент формы, K_p
Округлая	более 0,9
Округло-овальная	от 0,89 до 0,8
Овальная	от 0,79 до 0,7
Удлиненно-овальная	от 0,69 до 0,61
Удлиненная (плоская)	менее 0,6

Методика определения условия защемления клубней картофеля роликами калибрующей поверхности

Для подтверждения теоретических предположений и аналитических выражений необходимо установить связь между формой клубня, передаточным отношением окружных скоростей роликов и количеством клубней, проходящих через калибрующий зазор за определенный период времени.

Для определения оптимальных кинематических режимов работы калибрующей поверхности в зависимости от формы клубней и, соответственно, сорта калибруемого картофеля исследовалось защемление клубня, размеры которого близки к размерам калибрующей щели.

Для исследований использовались группы клубней картофеля округлой, овальной и удлиненной формы. Диаметр гладких калибрующих роликов составляет 32 мм, зазор между роликами – 42 мм, размер клубней, по которому производили калибрование – толщина

(40, 42 и 43 мм). Калибрующая поверхность располагалась горизонтально, передаточное отношение между роликами варьировалось от 0,9 до 0,6 с интервалом в 0,15. Регулировка передаточного отношения осуществлялась изменением передаточного числа механизма привода роликов. Минимальная частота вращения первого ролика составляла $1,33 \text{ с}^{-1}$. В качестве контролируемой переменной использовали время нахождения клубня на роликовой поверхности. Учитывая производительность роликовых поверхностей, максимальное время экспериментов принято 5 с [7].

Исследование разбили на две части. Первая часть исследований проводилась с группой клубней одинаковой формы и толщиной 43 мм, что на 1 мм больше калибрующего зазора. В данном случае фиксировали количество клубней, которые прошли сквозь калибрующую поверхность за время 5 с. Интервал времени был определен из условия, что скорость движения клубней по поверхности 0,2 м/с, при длине поверхности 1 м.

Во второй части проводили опыты с группой клубней 25 шт. одинаковой формы и контролируемым размером (ширина 40 мм), что меньше зазора между роликами на 2 мм и шириной 42 мм и равно калибрующему зазору между роликами, и фиксировали время полного прохода всей группы клубней. В данном случае время позволило определить оптимальную длину рабочей поверхности при определенной скорости движения, позволяющей клубням пройти сквозь калибрующий зазор.

Оценка адекватности полученных результатов проводилась статистическими методами оценки.

Результаты и обсуждение

Исследование определения условия защемления клубней картофеля толщиной 43 мм осуществлялось на роликовой поверхности, образованной параллельно расположенными цилиндрическими роликами с калибрующим зазором 42 мм (рис. 2).

На всех графиках (рис. 2) прослеживается параболическая зависимость количества клубней, прошедших сквозь поверхность, от соотношения окружных скоростей между роликами. При соотношении, близком к 0,9, количество клубней удлиненной и овальной формы, прошедших сквозь поверхность за время 5 с стремилось к максимуму. Данный факт объ-

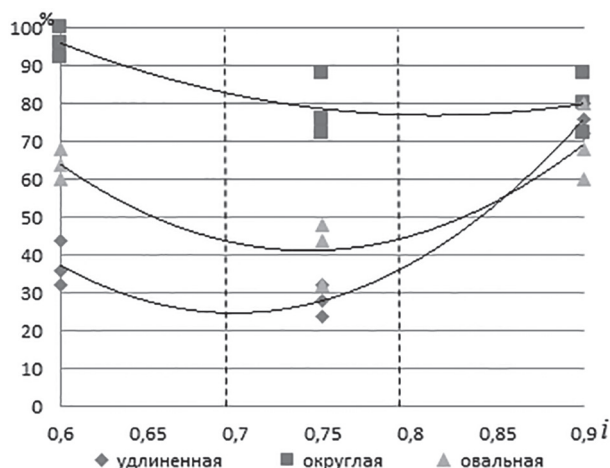


Рис. 2. Экспериментальные зависимости количества клубней толщиной 43 мм, прошедших в калибрующий зазор между роликами 42 мм за время, равное 5 с, от соотношения окружных скоростей между роликами

ясняется тем, что клубни удлинённой и овальной формы затаскивались роликами в калибрующий зазор. Соответственно, точность разделения клубней овальной и удлинённой фракций ухудшилась с приближением соотношения окружных скоростей между роликами к 1, а количество деформированных клубней увеличилось. Вместе с тем, изменение соотношения к 0,75 для клубней овальной формы является оптимальным и позволяет увеличить точность разделения, что полностью соответствует теоретическим предпосылкам. Однако для клубней удлинённой формы расчетные значения соответствуют не в полной мере, а точнее только правая часть графика с оптимумом в районе 0,7, в то время как теоретически оптимум должен находиться на уровне 0,6. Это объясняется тем, что высокая разность в скоростях роликов приводит к проскальзыванию клубня, и он начинает двигаться по менее быстрой поверхности ролика.

Результаты эксперимента для клубней округлой формы значительно не изменяются и не удовлетворяют теоретическим предпосылкам в полной мере. Прежде всего это связано с неидеальностью формы самих клубней, поскольку даже незначительные выступы компенсировали разницу в размере между щелью и клубнем в 1 мм.

На основании проведенных экспериментов нами установлено, что соотношение окружных скоростей соседних роликов, образующих калибрующую щель, оказывают существенное влияние на качество разделения клубней

на фракции и являются причиной нанесения им повреждений, связанных с деформацией.

Вторая часть исследований проводилась с клубнями округлой и овальной форм, размеры которых соответствовали размерам калибрующей щели или были меньше ее на 2 мм. На рис. 3 представлены графики зависимости изменения времени прохождения группы клубней толщиной 40 и 42 мм через щель между роликами шириной 42 мм от соотношения окружных скоростей между роликами.

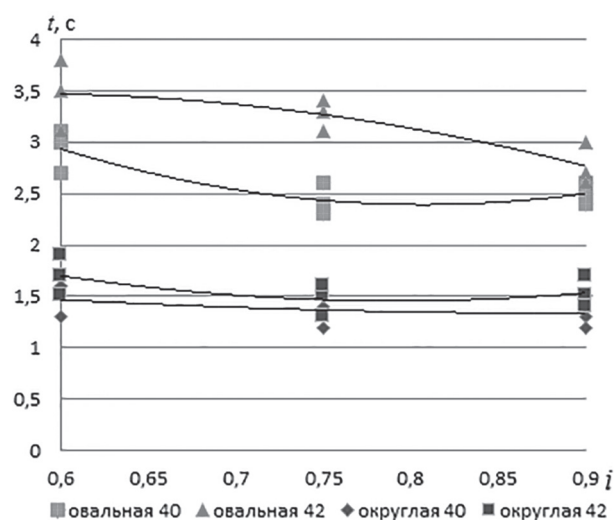


Рис. 3. Графики зависимости изменения времени прохождения группы клубней толщиной 40 и 42 мм через щель между роликами шириной 42 мм от соотношения окружных скоростей между роликами

Время прохождения группы клубней через калибрующую щель характеризует вероятность того, успеет ли клубень «просеяться» от начала до конца роликовой калибрующей поверхности.

Из рис. 3 очевидно, что клубни округлой формы лучше проходят через щели поверхности, кроме того, размер клубней практически не влияет на время сепарации.

В отличие от округлых, клубни удлинённой формы дольше ориентируются относительно калибрующего отверстия, и значительную роль здесь оказывает форма. Поскольку благодаря большей разнице между толщиной и шириной в поперечном сечении клубни проскакивают оптимальное положение и не успевают пройти в щель, это, прежде всего, связано с закономерностями движения клубня между роликами, поскольку чем ближе размеры клубня к размерам калибрующей щели, тем дольше он вращается между ними.

С увеличением разности между окружными скоростями роликов время ориентации увеличивается. Учитывая то, что, согласно теоретическим исследованиям, оптимальным режимом для клубней овальной формы является интервал соотношения окружных скоростей между роликами от 0,7 до 0,79, результаты экспериментов полностью подтверждают теоретические предпосылки.

Заключение

Проведенные теоретические исследования и полученные аналитические выражения позволили установить взаимосвязь между формой поперечного сечения клубней картофеля и кинематическими параметрами роликовой калибрующей поверхности, а также основные формы клубней (округлую, овальную и плоскую) и соответствующие им передаточные соотношения окружных скоростей между роликами калибрующей поверхности, составившие 0,9, 0,75 и 0,6.

На основании результатов теоретических исследований и анализа литературных источников установлено, что причины повреждений (трещины, вырывы мякоти и раздавленные клубни) картофеля при сортировании на роликовых поверхностях связаны с деформацией клубней, получаемой в результате протаскивания их через калибрующую щель либо отверстие, размеры которых меньше размеров клубней. Причиной, вызывающей содранную кожуру клубня, является продолжительное его нахождение на калибрующей поверхности, а также защемление клубней роликами. Результаты экспериментальных исследований показали, что при соотношении окружных скоростей роликов на уровне 0,9, более 60 % клубней, размеры которых больше размеров калибрующей щели за время 5 секунд проходят сквозь калибрующую поверхность. При соотношении скоростей 0,75 количество клубней овальной формы сократилось до 40 %, а удлиненной – менее 30 %. На основании этого можно сделать вывод о влиянии соотношения окружных скоростей и формы клубней на их деформацию. Кроме того, установлено, что клубни округлой формы быстрее проходят сквозь калибрующую щель за время до 2 с, а клубни овальной формы могут находиться на поверхности более 3 с, чем ближе размеры калибрующей щели к размерам клубней, тем дольше продолжается процесс калибрования.

Таким образом, представленный анализ позволяет оценить влияние формы клубня на качество разделения картофеля роликовыми калибрующими поверхностями картофелесортировальных машин, а также показывает пути совершенствования техники для послеуборочной доработки картофеля, причины повреждения клубней рабочими органами роликового типа и способы их устранения.

При сортировке клубней картофеля необходимо учитывать особенности формы, соответствующей определенным сортам. Для клубней овальной и удлиненной формы необходимо изменять передаточное соотношение окружных скоростей между роликами калибрующей поверхности, а также удлинять зону выделения соответствующей фракции.

Литература

1. Особенности рынка картофеля в Республике Беларусь. URL: https://studbooks.net/1064911/agro-promyshlennost/osobennosti_rynka_karto-felya_respublike_belarus (дата обращения 24.11.2019).
2. Государственная программа развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы. URL: <http://www.msnp.gov.by/programms/a868489390de4373.html> (дата обращения 22.09.2018).
3. ФАО Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций. URL: <http://www.fao.org/faostat/ru/#data/QC> (дата обращения 07.01.2020).
4. Герасимов А.А. Требования к машинам для картофелеводства на основе физико-механических свойств клубней // Основные направления совершенствования конструкции машин для возделывания и уборки картофеля: матер. всесоюз. совещания: ОНТИ, ВИСХОМ, М., 1974. С. 111–119.
5. Романюк Н.Н., Еднач В.Н., Агейчик В.А., Лакуня С.М. К вопросу разработки устройства для сортировки картофеля // Інженерія природокористування. Харків, 2019. № 15. С. 97–102.
6. Валуева Т.И. Повреждаемость клубней картофеля сорта Темп и лежкость при хранении в зависимости от срока сортирования // Картофелеводство и плодОВООВОЩЕВОДСТВО: сб. науч. тр.; БелНИИКПО. Вып. 3. Минск, 1978. С. 141–143.
7. Еднач В.Н. Повышение качества калибрования картофеля поверхностью с изменяющейся скоростью вращения роликов: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.20.01; Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. Минск, 2018. 24 с.

8. Smolinskiy S.V. Analytical study workflow potato sorting // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніката енергетика АПК. 2014. № 196-1. С. 185–190.
9. Журавлев В.М. Лежкость семенного картофеля в зависимости от способов уборки и сроков сортирования: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.09. М., 1973. 24 с.
10. Зейрук В.Н., Глез В.М. От подготовки семенных клубней к посадке зависит урожай картофеля // Картофель и овощи. 2009. № 5. С. 10–11.
11. Bakhadirov G.A., Umarov B.T.U.L. Basics of calculation of certain parameters of the belt drive of the machine for sorting of potatoes // European science review. 2018. № 1–2. С. 48–50.
12. Potato in progress: science meets practice / A.J. Haverkort, P.C. Struik. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2005. 366 p.
13. ГОСТ 7176-85. Картофель свежий продовольственный, заготавливаемый и поставляемый. Термины и определения. Введ. 13.05.1985. М.: Госкомитет СССР по стандартам, 1985. 5 с.
14. Кожушко Н.С. Влияние видов механических повреждений на лежкость картофеля // Картофельводство и плодовоовощеводство: науч. тр.; БелНИИКПО. Минск, 1976. Вып. 1. С. 28–34.
15. International year of the potato 2008. New light on a hidden treasure: an end-of-year review / Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2009. 135 p.
16. Ламм М.И. Контактные повреждения клубней картофеля // Исследование и расчет технологических процессов корнеклубнеуборочных машин и их рабочих органов: тр. ВИСХОМ. М., 1969. Вып. 58. С. 290–311.
17. Strengthening potato value chains. Technical and policy options for developing countries / N. Cromme [et al.]; Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations: Common Fund for Commodities, 2010. 147 p.
18. Bondarchuk A.A. Scientific basis of potato seed farming in Ukraine [hoenix, 2018. 434 p. SortiTet] / A.A. Bondarchuk, S. zaS. Aiki; рец.: V.G. Mykahylov, N.S. Kozhushko; ed. M.Y. Molotsky. Kyiv: Png, grading, packing machines and complete equipment for potato processing. Greater quality for your business. URL: <http://www.unisorting.com/en/products/potato-sorting-grading-packing-machines/> (дата обращения 09.01.2020).
19. ТКП 277–2010(02150). Сельскохозяйственная техника. Машины для уборки и послеуборочной обработки картофеля. Порядок определения функциональных показателей. Введ. 17.12.10. Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. 57 с.
20. Снежко В.Л. Лежкость картофеля в зависимости от послеуборочной сортировки и способа хранения // Картофель и овощи. 1976. № 10. С. 26–27.
21. Старовойтов В.И. Широкоярусные технологии и машины для возделывания картофеля // Техника и оборудование для села. 2004. № 11. С. 16–20.
22. Радишевский Г.А., Еднач В.Н. Выбор оптимальных параметров рабочих органов для сортирования картофеля // Агропанорама. Минск, 2008. № 2. С. 17–20.
23. Урамовский Ю.М., Биза Ю.С., Еднач В.Н., Комляч Д.И. К вопросу определения рабочих параметров роликовых сортировальных поверхностей // Агропанорама. Минск, 2013. № 3. С. 6–8.
24. Радишевский Г.А., Еднач В.Н., Белый С.Р., Гуриневич Н.П., Портянко Г.Н. Повышение эффективности работы приемной части картофелеуборочных машин // Агропанорама. Минск, 2014. № 2. С. 2–4.
25. Еднач В.Н., Бондаренко Д.Н., Бойко Т.В., Зенов А.А. О некоторых факторах, влияющих на производительность поверхности картофелекалибрующих машин // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сб. науч. статей Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 22–24 июня 2017 г.; Белорус. гос. аграр. техн. ун-т; редкол.: В.П. Чеботарев [и др.]. Минск, 2017. С. 136–139.
26. Еднач В.Н., Дечко М.М., Бондаренко Д.Н. К вопросу качества калибрования картофеля // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сб. науч. статей Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 22–24 июня 2017 г.; Белорус. гос. аграр. техн. ун-т; редкол.: В.П. Чеботарев [и др.]. Минск, 2017. С. 140–143.
27. Еднач В.Н., Романюк Н.Н., Агейчик В.А., Лакутя С.М. Оригинальное устройство для сортировки клубнеплодов // Материалы I Национал. науч.-практич. конф. с международным участием «Инновации природообустройства и защиты окружающей среды», 23–24 января 2019 года; отв. редактор А.В. Русинов. Саратов: ООО Издательство «КУБиК», 2019. С. 507–511.
28. Романюк Н.Н., Еднач В.Н., Агейчик В.А., Лакутя С.М. Модернизация технического средства для сортировки клубнеплодов // Материалы Междунар. науч.-практич. конф. Белагро-2019 «Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического

сервиса в АПК», 6–7 июня 2019 года; редкол.: Н.Н. Романюк [и др.]. Минск: БГАТУ, 2019. С. 245–249.

References

1. Osobennosti rynka kartofelya v Respublike Belarus' [Features of the potato market in the Republic of Belarus]. URL: https://studbooks.net/1064911/agropromyshlennost/osobennosti_rynka_kartofelya_respublike_belarus. accessed: 24.11.2019.
2. Gosudarstvennaya programma razvitiya agrarnogo biznesa v Respublike Belarus' na 2016–2020 gody [State program for the development of agricultural business in the Republic of Belarus for 2016–2020]. URL: <http://www.mshp.gov.by/programms/a868489390de4373.html>. accessed: 22.09.2018.
3. FAO Prodovol'stvennaya i sel'skokhozyaystvennaya organizatsiya ob'yedinennykh natsiy [The Food and Agriculture Organization of the United Nations]. URL: <http://www.fao.org/faostat/ru/#data/QC>. accessed: 07.01.2020.
4. Gerasimov A.A. Requirements for machinery for potato growing based on the physical and mechanical properties of tubers. Osnovnyye napravleniya sovershenstvovaniya konstruktivnykh mashin dlya vozdel'yvaniya i uborki kartofelya: mater. Vsesoyuz. soveshchaniya. ONTI, VISKHOM [The main directions of improving the design of machinery for growing and harvesting potatoes: Materials of All-Union Meeting], Moscow, 1974, pp. 111–119 (in Russ.).
5. Romanyuk N.N., Yednach V.N., Ageychik V.A., Lakutya S.M. Development of a device for sorting potatoes. Inzheneriya prirodokoristuvannya. Kharkiv, 2019. No 15, pp. 97–102 (in Russ.).
6. Valuyeva T.I. Damage to potato tubers of the "Temp" potato cultivar and keeping its quality during storage, depending on the sorting period. Kartofelevodstvo i plodoovoshchevodstvo: sb. nauch. tr. BelNIIPKO. Vyp. 3. Minsk, 1978, pp. 141–143 (in Russ.).
7. Yednach V.N. Povysheniye kachestva kalibrovaniya kartofelya poverkhnost'yu s izmenyayushchey-sya skorost'yu vra-shcheniya rolikov: avtoref. dis.... kand. tekhn. nauk [Improving the quality of calibration of potatoes by a surface with a variable speed of rotation of the rollers: Dissertation for Degree of Ph.D. (Engineering)]. 05.20.01. Belarus. gos. agrar. tekhn. un-t. Minsk, 2018. 24 p.
8. Smolinskiy S.V. Analytical study of potatoes sorting work flow. Naukoviy visnik NUBiP Ukraini. Seriya: Tekhnika ta yenergetika APK. 2014. No 196-1, pp. 185–190 (in Russ.).
9. Zhuravlev V.M. Lezhkost' semennogo kartofelya v zavisimosti ot sposobov uborki i srokov sortirovaniya: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk [Keeping quality of seed potatoes depending on harvesting methods and sorting time: Dissertation for Degree of Ph.D. (Engineering)]. 06.01.09. Moscow, 1973. 24 p.
10. Zeyruk V.N., Glez V.M. The potato yield depends on the preparation of seed tubers for planting. Kartofel' i ovoshchi. 2009. No 5, pp. 10–11 (in Russ.).
11. Bakhadirov G.A. Basics of calculation of certain parameters of the belt drive of the machine for sorting of potatoes / G.A.Bakhadirov, B.T.U.L Umarov // European science review. 2018. No 1–2, pp. 48–50.
12. Potato in progress: science meets practice [Text] / A.J. Haverkort, P.C. Struik. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2005. 366 p.
13. GOST 7176–85. Fresh food potatoes, procured and supplied. Terms and definitions: Vved. 13.05.1985. Moscow: Gos. komitet SSSR po standartam Publ., 1985. 5 p.
14. Kozhushko N.S. Influence of types of mechanical damage on keeping quality of potatoes. Kartofelevodstvo i plodoovoshchevodstvo: nauch. tr. BelNIIPKO. Minsk, 1976. Vyp. 1, pp. 28–34 (in Russ.).
15. International year of the potato 2008. New light on a hidden treasure [Text]: an end-of-year review / Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2009. 135 p.
16. Lamm M.I. Contact damage to potato tubers. Issledovaniye i raschet tekhnologicheskikh protsessov korneklubneuborochnykh mashin i ikh rabochikh organov: tr. VISKHOM. Moscow, 1969. Vyp. 58, pp. 290–311 (in Russ.).
17. Strengthening potato value chains. Technical and policy options for developing countries [Text] / N. Cromme [et al.]; Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations: Common Fund for Commodities, 2010. 147 p.
18. Bondarchuk A.A. Scientific basis of potato seed farming in Ukraine [hoenix, 2018. 434 p. SortiTet] / A.A. Bondarchuk, S. zaS. Aiki; rets.: V.G. Mykahylov, N.S. Kozhushko; ed. M.Y. Molotsky. Kyiv: Png, graxding, packing machines and complete equipment for potato processing. Greater quality for your business. URL: <http://www.unisorting.com/en/products/potato-sorting-grading-packing-machines/>. accessed: 09.01.2020..
19. ТКР 277–2010(02150). Agricultural machinery. Machinery for harvesting and post-harvest processing of potatoes. The procedure for determining functional indicators. Vved. 17.12.10. Ministerstvo

- sel'skogo khozyaystva i prodovol'stviya Respubliki Belarus'. 57 p.
20. Snezhko V.L. Keeping quality of potatoes depending on post-harvest sorting and storage method. *Kartofel' i ovoshchi*. 1976. No 10, pp. 26–27 (in Russ.).
 21. Starovoytov V.I. Wide-row technologies and machinery for growing potatoes. *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela*. 2004. No 11, pp. 16–20 (in Russ.).
 22. Radishevskiy G.A., Yednach V.N. Selection of the optimal parameters of working bodies for sorting potatoes. *Agropanorama*. Minsk, 2008. No 2, pp. 17–20 (in Russ.).
 23. Uramovskiy Yu.M., Biza Yu.S., Yednach V.N., Komlach D.I. Determination of operating parameters of roller sorting surfaces. *Agropanorama*. Minsk, 2013. No 3, pp. 6–8 (in Russ.).
 24. Radishevskiy G.A., Yednach V.N., Belyy S.R., Gurinovich N.P., Portyanko G.N. Improving the efficiency of the receiving part of potato harvesters. *Agropanorama*. Minsk, 2014. No 2, pp. 2–4 (in Russ.).
 25. Yednach V.N., Bondarenko D.N., Boyko T.V., Zenov A.A. Some factors affecting the surface performance of potato calibrating machines. *Tekhnicheskoye obespecheniye innovatsionnykh tekhnologiy v sel'skom khozyaystve: sb. nauch. statey Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Minsk, 22–24 iyunya 2017 g.* [Technical support of innovative technologies in agriculture: Collection of Scientific Papers of International Scientific and Practical Conference, Minsk, June 22–24, 2017] Belarus. gos. agrar. tekhn. un-t; redkol.: V.P. Chebotarev [i dr.]. Minsk, 2017, pp. 136–139 (in Russ.).
 26. Yednach V.N., Dechko M.M., Bondarenko D.N. Potato sorting quality. *Tekhnicheskoye obespecheniye innovatsionnykh tekhnologiy v sel'skom khozyaystve: sb. nauch. statey Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Minsk, 22–24 iyunya 2017 g.* [Technical support of innovative technologies in agriculture: Collection of Scientific Papers of International Scientific and Practical Conference, Minsk, June 22–24, 2017] Belarus. gos. agrar. tekhn. un-t; redkol.: V.P. Chebotarev [i dr.]. Minsk, 2017, pp. 140–143 (in Russ.).
 27. Yednach V.N., Romanyuk N.N., Ageychik V.A., Lakutya S.M. The original device for sorting tubers. *Materialy I Natsional. nauch.-praktich. konf. s mezhdunarodnym uchastiyem «Innovatsii prirodoobustroystva i zashchity okruzhayushchey sredy», 23–24 yanvarya 2019 goda* [Materials of 1st National Scientific and Practical Conference with International Participation “Innovations in environmental engineering and environmental protection”, January 23–24, 2019] otv. redaktor A.V. Rusinov. Saratov: OOO Izdatel'stvo «KUBIK» Publ., 2019, pp. 507–511 (in Russ.).
 28. Romanyuk N.N., Yednach V.N., Ageychik V.A., Lakutya S.M. Modernization of technical means for sorting tubers. *Materialy Mezhdunar. nauch.-praktich. konf. Belagro-2019 «Sovremennyye problemy osvoyeniya novoy tekhniki, tekhnologiy, organizatsii tekhnicheskogo servisa v APK», 6–7 iyunya 2019 goda* [Materials of International Scientific and Practical Conference Belagro-2019 “Modern problems of mastering new equipment, technologies, organization of technical service in the agro-industrial complex”, June 6–7, 2019] redkol.: N.N. Romanyuk [i dr.]. Minsk: BGATU Publ., 2019, pp. 245–249 (in Russ.).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЧВЫ ПРИ ГЛУБОКОЙ БЕЗОТВАЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

DETERMINATION OF THE SPECIFIC SOIL RESISTANCE USING DEEP SUBSURFACE TILLAGE IN CONDITIONS OF NORTHERN KAZAKHSTAN

А.Н. КУБАЕВ

Костанайский Государственный Университет
им. А. Байтурсынова, Костанай, Республика Казахстан,
kuvaevanthon@yandex.ru

A.N. KUVAYEV

A. Baitursynov Kostanay State University, Kostanay,
the Republic of Kazakhstan, kuvaevanthon@yandex.ru

В статье предложена методика для определения удельного сопротивления почвы и представлены результаты проведенных исследований. Одним из основных лимитирующих факторов при определении ширины захвата почвообрабатывающего орудия является удельное сопротивление почвы. Данный показатель является количественной характеристикой трудоемкости обработки почвы, поэтому при проектировании новой техники необходимо иметь достоверные данные о его значении. Представленные в научной литературе сведения о величине удельного сопротивления почвы имеют усредненный характер и не учитывают параметров почвообрабатывающих рабочих органов. В этой связи определение удельного сопротивления почвы для рабочих органов с известными параметрами является актуальной темой научного исследования.

Цель исследований – определение величины удельного сопротивления почвы для почвообрабатывающих рабочих органов с известными параметрами. Методика исследований состоит из экспериментального определения общего тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия и дальнейшей математической обработки полученных экспериментальных данных на основании рациональной формулы В.П. Горячкина. Для проведения экспериментальных исследований была разработана лабораторная установка, конструкция которой позволяет исключить влияние ее собственного веса на тяговое сопротивление, возникающее при трении элементов рабочего органа о почву. Установлено, что для рассматриваемых почв, которые являются типичными для Северного Казахстана, удельное сопротивление почвы составляет $k = 45908 \text{ Н/м}^2$. Полученный коэффициент вариации $v < 10 \%$ говорит о незначительной изменчивости рассматриваемого вариационного ряда. Следовательно, полученное удельное сопротивление почвы имеет достоверное значение. Результаты исследований будут использованы при обосновании ширины захвата почвообрабатывающего орудия с рассматриваемыми рабочими органами.

Ключевые слова: ширина захвата, общее тяговое сопротивление, удельное сопротивление почвы, глубокая обработка почвы, плоскорежущий рабочий орган, лабораторная установка, Северный Казахстан, экспериментальные исследования, рациональная формула В.П. Горячкина.

The paper proposes a method for determining specific soil resistance and presents the results of the conducted research. One of the main limiting factors in determining the working width of the tillage implement is specific soil resistance. This indicator is a quantitative characteristic of the labor intensity of soil tillage. Therefore, when designing new machinery, it is necessary to have reliable data on its value. The data presented in the scientific literature on the value of specific soil resistance are average and do not take into account the parameters of tillage working tools. Therefore, the determination of specific soil resistance for working tools with known parameters is the current topic of scientific research. The purpose of the research is to determine the value of specific soil resistance for working tools with known parameters. The research method consists of the experimental determination of the total draft resistance of the tillage implement and further mathematical processing of the experimental data obtained on the basis of the rational formula of V.P. Goryachkin. To conduct experimental research, a laboratory unit was developed, the design of which eliminates the impact of its weight on the draft resistance, arising from the friction between the parts of the working tool and soil. It was found that for the soils under consideration, which are typical for Northern Kazakhstan, the specific soil resistance is $k = 45908 \text{ N/m}^2$. The obtained coefficient of variation $v < 10 \%$ indicates a slight change in the considered variation. Therefore, the obtained value of the specific soil resistance is reliable. The results obtained will be used to substantiate the working width of the tillage implement with the working tools under consideration.

Keywords: working width, total draft resistance, specific soil resistance, deep tillage, sweep tillage tool, laboratory unit, Northern Kazakhstan, experimental research, V.P. Goryachkin rational formula.

Введение

В настоящее время обязательным элементом многих технологий, применяемых в сельском хозяйстве, является глубокая механическая обработка почвы. Для регионов, почвы которых подвержены ветровой эрозии, таких как Северный Казахстан [1], – это глубокая безотвальная обработка [2].

Востребованность данной технологической операции объясняется необходимостью периодического разуплотнения почвенного слоя, особенно на почвах с тяжелым механическим составом и низким содержанием гумуса, что также характерно для Северного Казахстана [3]. С другой стороны из всех технологических операций глубокая обработка является наиболее энергоемкой. Так, в странах ЕАЭС ежегодно на почвообработку расходуются не менее 40 % всех энергетических затрат и не менее 25 % трудовых затрат [4]. Учитывая данное обстоятельство, выбор технических средств для механизации данной операции должен быть научно обоснован.

В соответствии с теорией В.П. Горячкина [5] общее тяговое сопротивление почвообрабатывающего орудия ($P_{\text{тяг}}$, Н) состоит из трех компонентов и описывается следующей математической моделью:

$$P_{\text{тяг}} = P_1 + P_2 + P_3 = G \cdot f + k \cdot a \cdot B_p + \rho \cdot a \cdot B_p \cdot V_p^2, \quad (1)$$

где P_1 – сопротивление, возникающее при трении почвообрабатывающей машины о почву, Н; P_2 – сопротивление, возникающее при разрушении почвенного слоя, Н; P_3 – сопротивление, возникающее при перемещении почвенного слоя, Н; G – общий вес почвообрабатывающего орудия, Н; f – коэффициент трения почвы; k – удельное сопротивление почвы, Н/м²; a – глубина обработки, м; B_p – ширина захвата почвообрабатывающего орудия, м; ρ – плотность почвы, кг/м³; V_p – поступательная скорость движения почвообрабатывающего орудия, м/с.

Достоверность данной математической модели была неоднократно подтверждена результатами теоретических и экспериментальных исследований [6–9].

Структура общего тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия для глубокой обработки почвы на ограниченном агротехническими требованиями интервале скорости до 10 км/ч [10] будет иметь следующий вид (рис. 1).

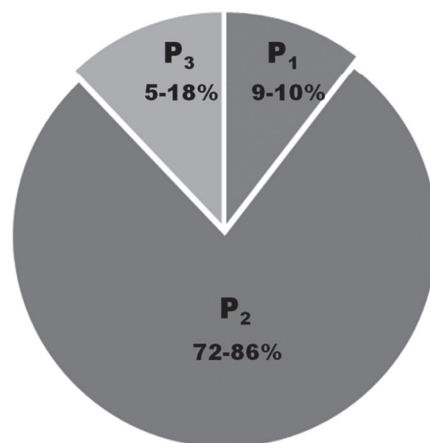


Рис. 1. Структура общего тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия

Как видно из рис. 1, не менее 70 % от общего тягового сопротивления приходится на сопротивление, возникающее при деформации и разрушении почвенного слоя P_2 . Сопротивление P_2 в соответствии с формулой (2) представляет функциональную зависимость от удельного сопротивления почвы (показатель трудности обработки почвы), глубины обработки и ширины захвата:

$$P_2 = f(k, a, B_p), \quad (2)$$

Следовательно, три указанных параметра будут оказывать наибольшее влияние на значение общего тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия.

Данное утверждение находит подтверждение в работах других исследователей. Например, исследователями из Sari Agricultural and Natural Resources University [11] установлено, что перечисленные показатели оказывают наибольшее влияние на тяговое сопротивление почвообрабатывающего орудия.

Удельное сопротивление почвы зависит не только от ее физико-механических свойств (влажность, плотность, твердость, механический состав и др.), повлиять на которые достаточно сложно либо невозможно, но и от параметров рабочего органа [12]. Глубина обработки, также как и скорость движения, имеет очень узкий предел варьирования, который зависит от агротехнических требований. Глубокая обработка почвы должна проводиться на глубину, превышающую глубину залегания плужной подошвы не менее чем на 5 см. В условиях Северного Казахстана наибольший эффект от глубокой обработки почвы достигается при глубине $a = 0,25–0,27$ м [13]. Ширина захвата в этом случае остается именно

тем параметром, которым можно регулировать величину тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия в зависимости от тяговых возможностей энергетического средства. С другой стороны, чрезмерное уменьшение ширины захвата почвообрабатывающего орудия негативно скажется на его производительности, удельных энергетических затратах и, как следствие, экономической эффективности, поскольку между этими параметрами имеется прямая зависимость.

Следовательно, при определении ширины захвата почвообрабатывающего орудия необходимо иметь достоверные данные о величине удельного сопротивления почвы, чтобы обеспечить максимальный экономический эффект в имеющихся условиях.

В научной литературе, например в работах [5, 12], представлены данные о величине указанного показателя для различных типов почв. Однако они имеют усредненный характер и не учитывают параметров почвообрабатывающих рабочих органов (углы установки долота и лемехов, угол раствора). Последние, в свою очередь, оказывают влияние на величину удельного сопротивления. Поэтому определение удельного сопротивления почвы для рабочих органов с известными параметрами является актуальной задачей, имеющей научную и практическую значимость.

Цель исследований

Определение величины удельного сопротивления почвы для почвообрабатывающих рабочих органов с известными параметрами.

Материалы и методы

Методика экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводились в осенний период на стерневом поле, где в течение 8 лет не осуществлялась глубо-

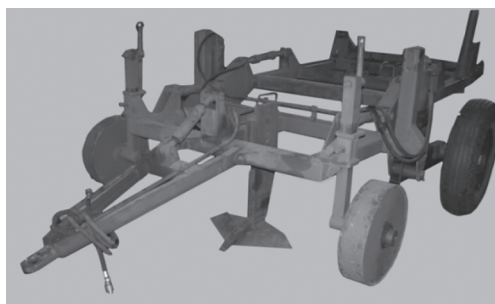
кая механическая обработка. Перед проведением экспериментальных исследований были определены физико-механические показатели почвы: влажность, плотность и твердость. Методика определения перечисленных показателей соответствовала ГОСТ 20915-2011. При проведении экспериментальных исследований использовалась лабораторная установка (рис. 2) и варианты плоскорезущих рабочих органов с шириной захвата 0,6–1,0 м, углы установки долота и лемехов ко дну борозды составляли 27–31 градус (рис. 3). Параметры плоскорезущих рабочих органов были определены в результате проведенных ранее теоретических и экспериментальных исследований [14]. На рабочие органы были установлены новые лезвия с толщиной режущей кромки 2,0–2,5 мм. Затылочные фаски на лезвиях отсутствуют.

Лабораторная установка в рабочем положении помимо прицепного устройства имеет 4 точки опоры (металлические опорные колеса), расположенные на каждом угле рамы. Такая конструктивная схема позволила исключить влияние веса лабораторной установки на тяговое сопротивление, возникающее при трении элементов рабочего органа о почву. В этом случае сопротивление P_1 можно представить в следующем виде:

$$P_1 = G \cdot f = G_o \cdot f_k + G_{p.o} \cdot f_c, \quad (3)$$

где G_o – вес лабораторной установки, без рабочего органа, Н; f_k – коэффициент трения качения стальных колес по почве; $G_{p.o}$ – вес рабочего органа, Н; f_c – коэффициент трения скольжения почвы по стали.

Вес лабораторной установки без рабочего органа составлял $G_o = 1900$ Н, вес одного рабочего органа – $G_{p.o} = 650$ Н; коэффициент трения качения $f_k = 0,2$, коэффициент трения скольже-



а



б

Рис. 2. Лабораторная установка для экспериментального определения удельного тягового сопротивления почвы:
а) общий вид; б) вид в работе

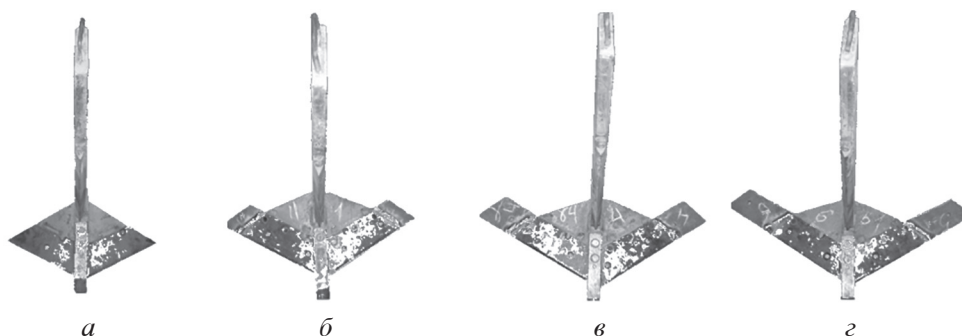


Рис. 3. Варианты плоскорежущих рабочих органов:

а) 0,6 м; б) 0,8 м; в) 0,9 м; г) 1,0 м

ния $f_c = 0,3$. Коэффициент трения скольжения почвы по стали определен в соответствии с методикой, изложенной в работе [15].

Плоскорежущие рабочие органы поочередно устанавливались на лабораторную установку и протягивались в почве на глубине 0,27 м на нескольких скоростных режимах. При этом фиксировалось общее тяговое сопротивление ($P_{\text{тяг}}$, Н), создаваемое лабораторной установкой с помощью тензометрического оборудования, которое включало датчик силы растяжения (тензометрическое звено) с диапазоном измерения до 3 т, плиту для установки тензометрического звена (производитель КФ «НПЦ агроинженерии», Казахстан) тензометрической станции ZET017-T8 (производитель ZETLAB, Россия), переносной персональный компьютер Acer Aspire E 15 (производитель Acer, Китай), преобразователь напряжения с 12–220 В Robiton R300 (производитель Robiton, Китай) и соединительных проводов (рис. 4 и 5).

Перед проведением испытаний проводилось тарирование тензометрического оборудования на специальном стенде методом ступенчатого нагружения от 0 до 30 кН и обратно, с шагом

2 кН, через динамометр растяжения пружинного типа общего назначения ДПУ-50 второго класса точности (поверка проведена в соответствии с ГОСТ 13782-68). В процессе тарировочных испытаний фиксировались значения нагрузки на динамометре и соответствующие ей показания тезозвена, обработанные тензометрической станцией ZET017-T8 и выведенные на монитор переносного ПК. Повторность

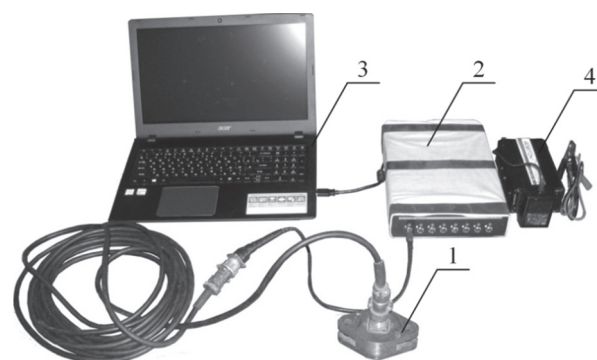
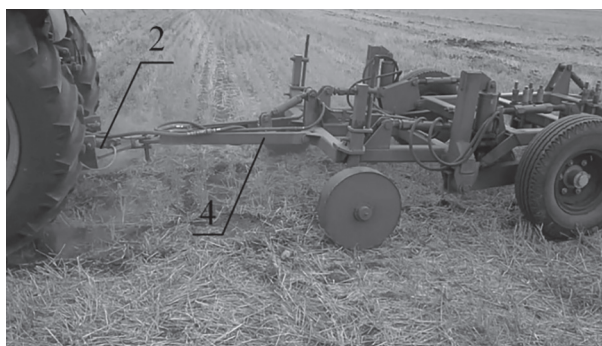
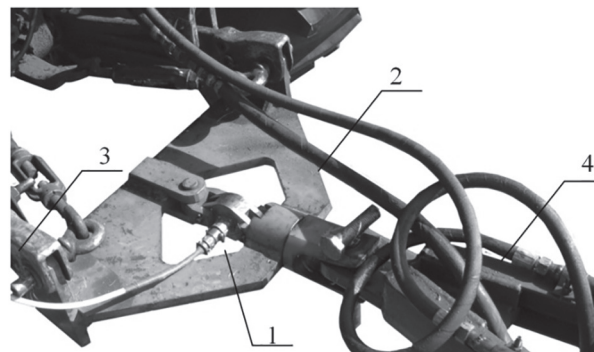


Рис. 4. Общий вид тензометрического оборудования:

1 – тензометрическое звено; 2 – тензометрическая станция; 3 – переносной ПК; 4 – преобразователь напряжения 12–220 В



а



б

Рис. 5. Компоненты тензометрического оборудования, установленные на навесную систему трактора:

а) общий вид; б) взаимное расположение компонентов тензометрического оборудования, навесной системы трактора и лабораторной установки; 1 – тензометрическое звено; 2 – плита для установки тензометрического звена; 3 – навесная система трактора; 4 – лабораторная установка

опыта четырехкратная. Проведенные тарировочные испытания показали, что на всех ступенях изменения нагрузки погрешность измерений находилась в пределах 0,39–1,96 %.

Повторность опыта при проведении экспериментальных исследований трехкратная. Методика определения глубины обработки – в соответствии с ГОСТ 33736-2016. Методика определения скорости движения и общего тягового сопротивления – в соответствии с ГОСТ Р 52777-2007.

Методика математической обработки результатов экспериментальных исследований

На основании полученных первичных данных проводился расчет удельного сопротивления почвы для каждого варианта. В соответствии с формулами (1) и (4) выразим значение k (Н/м²) через $P_{\text{тяг}}$ (Н):

$$k = \frac{P_{\text{тяг}} - G_o \cdot f_k - G_{p.o} \cdot f_c - \rho \cdot a \cdot B_p \cdot V_p^2}{a \cdot B_p}. \quad (4)$$

В качестве удельного сопротивления почвы было принято среднеарифметическое значение всех вариантов опыта.

Для оценки однородности и устойчивости полученной совокупности значений удельного сопротивления почвы использовался коэффициент вариации, v . Методика определения в соответствии с положениями статистического анализа данных, изложенная в работе А.Ю. Козлова [16].

Результаты и обсуждение

Перед проведением экспериментальных исследований были определены физико-механические показатели почвы (табл. 1).

В соответствии с методикой были проведены экспериментальные исследования и опре-

делены величина удельного сопротивления почвы для каждого варианта опыта в соответствии с формулой (4), а также коэффициент вариации, необходимый для оценки однородности и устойчивости полученной совокупности (табл. 2).

Почвенные условия, представленные в табл. 1, являются типичными для полей Северного Казахстана в осенний период, на которых применялись элементы минимальной и нулевой технологий возделывания зерновых культур.

Установлено, что для рассматриваемых почв удельное тяговое сопротивление почвы составляет $k = 45908$ Н/м². Полученный коэффициент вариации $v < 10$ %, что говорит о незначительной изменчивости рассматриваемого вариационного ряда. Следовательно, полученное удельное сопротивление почвы имеет достоверное значение.

Проведенные исследования имеют следующий практический результат:

- полученное значение удельного сопротивления почвы k (Н/м²) будет использоваться при определении ширины захвата опытного образца орудия для глубокой безотвальной обработки почвы в условиях северного Казахстана;

- предложенная методика может использоваться для определения либо уточнения удельного сопротивления почвы для конкретных типов рабочих органов.

Заключение

Была разработана методика определения удельного сопротивления почвы, состоящая из экспериментального определения общего тягового сопротивления почвообрабатывающего рабочего органа и дальнейшей математической обработки, полученных экспериментальных значений с учетом рациональной формулы В.П. Горячкина. Для проведения

Таблица 1

Влажность, твердость и плотность почвенных слоев

Почвенные слои, см	Определяемые показатели:		
	влажность, %	твердость, МПа	плотность, г/см ³
0–5	14,1	1,1	1,1
5–10	14,5	3,0	1,2
10–15	16,6	4,7	1,3
15–20	20,4	5,5	1,3
20–25	18,9	6,1	1,4
25–30	17,6	7,1	1,4

Таблица 2

Результаты экспериментальных исследований и их математической обработки

№ п/п	B_p , м	V_p , м/с	a , м	$P_{тяг}$, Н	k , Н/м ²
1	2	3	4	5	6
1	0,6	1,9	0,27	9280	48681
2	0,6	2,2	0,27	9810	50230
3	0,6	2,5	0,27	9830	48380
4	0,6	2,8	0,27	10350	49364
5	0,7	1,9	0,27	11290	51639
6	0,7	2,2	0,27	11490	50975
7	0,7	2,5	0,27	11530	49213
8	0,7	2,8	0,27	12000	49474
9	0,8	1,9	0,27	11590	45941
10	0,8	2,2	0,27	11750	44960
11	0,8	2,5	0,27	12010	44190
12	0,8	2,8	0,27	12200	42843
13	0,9	1,9	0,27	12680	44761
14	0,9	2,2	0,27	12700	43121
15	0,9	2,5	0,27	13010	42423
16	0,9	2,8	0,27	13126	40674
17	1	1,9	0,27	13560	43039
18	1	2,2	0,27	14018	43013
19	1	2,5	0,27	14510	42861
20	1	2,8	0,27	14979	42372
Среднеарифметическое значение, $\bar{k}$, Н/м ²					45908
Среднеквадратичное отклонение, σ , Н/м ²					3455
Коэффициент вариации, v , %					7,53

экспериментальных исследований была разработана лабораторная установка, позволяющая исключить влияние собственного веса на тяговое сопротивление, возникающее при трении элементов рабочего органа о почву.

В результате проведенных исследований определена величина удельного сопротивления типичной для Северного Казахстана почвы, которая составила $k = 45908$ Н/м².

Установлено, что с увеличением ширины захвата и скорости движения рабочего органа величина удельного сопротивления изменяется незначительно. Отклонение от среднего значения составило не более 10 %.

Полученная совокупность значений удельного сопротивления почвы является однородной и устойчивой. Коэффициент вариации равен $v = 7,53$ %.

Полученные результаты могут быть использованы при обосновании ширины захвата почвообрабатывающего орудия с рассматриваемыми рабочими органами.

Литература

1. Акшалов К.А., Кужинов М.Б. Принципы землепользования в Казахстане на современном этапе: состояние, перспективы // Охрана природы и региональное развитие: гармония и конфликты (к году экологии в России): материалы Международной научно-практической конференции. Оренбург, 2017. С. 100–104.
2. Куваев А.Н. Основная обработка стерневых полей северных зерносеющих регионов Казахстана и современные орудия для ее выполнения // Многопрофильный научный журнал 3i: intellect, idea, innovation. 2018. № 2. С. 56–64.
3. Байшоланов С.С. Агроклиматические ресурсы Костанайской области: научно-прикладной справочник. Астана, 2017. 139 с.
4. Панов И.М., Востохин В.И. Физические основы механики почв. Киев: Феникс, 2008. 266 с.
5. Лурье А.Л., Любимов А.И. Широкозахватные почвообрабатывающие машины. Ленинград: Машиностроение, 1981. 270 с.

6. Шаров М.Н., Стрекалев В.А. Математическая модель для определения составляющих тягового сопротивления культиватора // Анализ и оценка эффективности конструкций сельскохозяйственных машин: сборник научных трудов РИСХМ. Ростов-на-Дону, 1973. С. 74–81.
7. Панов И.М., Ветохин В.И. Современное состояние и перспективы развития земледельческой механики в свете трудов В.П. Горячкина // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2008. № 2. С. 9–14.
8. Zhalnin E. Goryachkin's rational equation in differential form // V.P.. E3S Web of Conferences № 126. Севастополь, 2019. С. 9–14.
9. Croitoru S., Vladut V., Marin E., Matache M., Dumitru I. Determination of subsoiler traction force influenced by different working depth and velocity // Engineering for rural development. Елгава, 2016. С. 817–825.
10. Система критериев качества, надежности, экономической эффективности сельскохозяйственной техники: инструктивно-методическое издание. Москва: Росинформагротех, 2010. С. 50–53.
11. Mocenifar A., Mousavi-Seyedi, S.R., Kalantari, D. Influence of tillage depth, penetration angle and forward speed on the soil/thin-blade interaction force // Agric Eng Int: CIGR Journal. 2014. T. 16. № 1. С. 69–74.
12. Синекоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. Москва: Машиностроение, 1977. 328 с.
13. Овчинникова К.П., Шилов М.П. Влияние приемов осенней обработки черноземов обыкновенных на дифференциацию пахотного слоя в условиях северного Казахстана // Многопрофильный научный журнал 3i: intellect, idea, innovation. 2016. № 4. С. 57–64.
14. Куваев А.Н., Токарев И.В., Дерепаскин А.И. Влияние параметров плоскорезущего рабочего органа на качество и энергоемкость обработки уплотненных почв // Земледелие и селекция сельскохозяйственных растений: материалы международной научно-практической конференции. Астана, 2016. С. 140–144.
15. Чумаков В.Г. Технологические основы механической обработки почвы: методические указания для выполнения лабораторно-практических занятий аспирантов. Курган: КГСХА им. Мальцева, 2017. 41 с.
16. Козлов А.Ю. Статистический анализ данных в MS Excel: учебное пособие. Москва: ИНФРА-М, 2017. 320 с.

References

1. Akshalov K.A., Kuzhinov M.B. The principles of land use in Kazakhstan at the present stage: state, prospects. Okhrana prirody i regional'noye razvitiye: garmoniya i konflikty (k godu ekologii v Rossii). Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. [Nature Protection and Regional Development: Harmony and Conflicts (devoted to the year of ecology in Russia). Materials of the International Scientific and Practical Conference]. Orenburg, 2017. pp. 100–104 (in Russ.).
2. Kuvaev A.N. The main processing of stubble fields in the northern grain-sowing regions of Kazakhstan and modern tools for its implementation. Multiprofile scientific journal 3i: intellect, idea, innovation. 2018. No 2. pp. 56–64 (in Russ.).
3. Baysholanov S.S. Agroklimaticheskiye resursy Kostanayskoy oblasti [Agroclimatic resources of Kostanay region]: scientific-applied reference book. Astana, 2017. 139 p.
4. Panov I.M., Vetokhin V.I. Fizicheskiye osnovy mekhaniki pochv [Physical foundations of soil mechanics]. Kyiv: Phoenix Publ., 2008. 266 p.
5. Lure A.L., Lyubimov A.I. Shirokozakhvatnyye pochvoobrabatyvayushchiye mashiny [Wide-cut soil tillage machines]. Leningrad: Mashinostroenie Publ., 1981. 270 p.
6. Sharov M.N., Strekaev V.A. Mathematical model for determining the components of the draft resistance of the cultivator. Analiz i otsenka effektivnosti konstruksiy sel'skokhozyaystvennykh mashin. Sbornik nauchnykh trudov RISKHM. [Analysis and evaluation of the efficiency of agricultural machinery designs. Collection of scientific works of Rostov-on-Don Institute of Agricultural Engineering]. Rostov-on-Don, 1973. pp. 74–81 (in Russ.).
7. Panov I.M., Vetokhin V.I. Modern condition and prospects of the agricultural mechanics development in the light of V.P. Goryachkin's works. Vestnik FGOU VPO MGAU. 2008. № 2. pp. 9–14.
8. Zhalnin E. Goryachkin's rational equation in differential form. V.P.. E3S Web of Conferences No 126. Sevastopol, 2019. pp. 9–14.
9. Croitoru S., Vladut V., Marin E., Matache M., Dumitru I. Determination of subsoiler traction force influenced by different working depth and velocity. Engineering for rural development. Jelgava, 2016. pp. 817–825.
10. Sistema kriteriyev kachestva, nadezhnosti, ekonomicheskoy effektivnosti sel'skokhozyaystvennoy tekhniki: instruktivno-metodicheskoye izdaniye.

- [System of criteria for quality, reliability, economic efficiency of agricultural machinery: instructional and methodological publication]. Moscow: Rosinformagrotech Publ., 2010. pp. 50–53.
11. Moenifar A., Mousavi-Seyedi S. R., Kalantari D. Influence of tillage depth, penetration angle and forward speed on the soil/thin-blade interaction force. *Agric Eng Int: CIGR Journal*. 2014. Vol. 16. No 1. pp. 69–74.
 12. Sineokov G.N., Panov I.M. *Teoriya i raschet pochvoobrabatyvayushchikh mashin*. [Theory and calculation of soil cultivating machinery]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1977. pp. 328.
 13. Ovchinnikova K.P., Shilov M.P. Influence of the methods of the autumn processing of the ordinary chernozems on the differentiation of an arable layer in the conditions of northern Kazakhstan. *Multiprofile scientific journal 3i: intellect, idea, innovation*. 2016. No 4. pp. 57–64 (in Russ.).
 14. Kuvaev A.N., Tokarev I.V., Derepaskin A.I. Influence of parameters of the flat-cutting working tool on quality and energy intensity of processing of compacted soils. *Agriculture and selection of the agricultural plants. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Astana, 2016. pp. 140–144.
 15. Chumakov V.G. *Technological bases of the mechanical treatment of soil: methodical instructions for carrying out laboratory and practical sessions of post-graduate students*. Kurgan: KSAA by T.S Maltsev, 2017. pp. 41.
 16. Kozlov A.Y. *Statistical analysis of data in MS Excel: Training manual*. Moscow: INFRA-M Publ., 2017. pp. 320.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ИЗМЕЛЬЧЕННОГО СЕНА ПО ПОВЕРХНОСТИ РЕШЕТА СЕПАРАТОРА ЛИСТОВОЙ ЧАСТИ ТРАВ

DETERMINATION OF THE ROTATION SPEED OF CHOPPED HAY ON THE SURFACE OF THE SEPARATOR SIEVE OF THE LEAF PART OF HERBS

Т. АБИЛЖАНУЛЫ, д.т.н.
Д.Т. АБИЛЖАНОВ, к.т.н.

ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии»,
Алматы, Республика Казахстан, spcae@yandex.kz

T. ABILZHANULY, DSc in Engineering,
D.T. ABILZHANOV, PhD in Engineering

Scientific Production Center of Agricultural Engineering, LTD,
Almaty, Republic of Kazakhstan, spcae@yandex.kz

Для повышения уровня производства животноводческой продукции необходимо кормить животных полнорационными кормосмесями. Основным из компонентов кормосмеси является комбикорм, который состоит из зерновых кормов, витаминно-травяной муки (ВТМ) и других добавок. В настоящее время для производства ВТМ применяются высокотемпературные способы сушки сена, требующие больших затрат и дорогих технических средств. Поэтому для снижения эксплуатационных затрат и стоимости оборудования нами предложены технология и линия для приготовления ВТМ из листовой части трав. В составе линии приготовления ВТМ основной машиной является сепаратор листовой части трав из предварительно измельченного сена. Выполнение процесса сепарации связано с тем, что при измельчении сухого сена в безрешетных измельчителях нежная листовая часть мелко измельчается, это способствует процессу сепарирования листовой части трав. Цель исследований состоит в определении скорости перемещения сена по поверхности решета, позволяющей определить производительность линии по массовой подаче и по муке. Для теоретического определения средней скорости перемещения решета применен метод математического анализа, а для определения действительного значения скорости перемещения сена по поверхности решета использован метод однофакторного экспериментального исследования. В результате теоретических исследований получены аналитические выражения для определения производительности сепаратора, средних скоростей перемещения решета в горизонтальном направлении и перемещения сена по поверхности решета. В результате экспериментальных исследований получена закономерность изменения средней скорости перемещения сена в зависимости от длины решета, которая обеспечивает получение эмпирического выражения для определения действительного значения средней скорости перемещения слоя сена по поверхности решета, и она равна 0,19 м/с. При средней производительности линии по массовой подаче толщина перемещаемого слоя по поверхности решета была равна 0,0186 м, и она не является максимальной для сепаратора листовой части трав.

Ключевые слова: сепаратор, решето, листовая часть сена, скорость перемещения сена, производительность сепаратора.

To increase the production of livestock products, it is necessary to feed the animals with full-feed mixtures. The main component of the feed mixture is feed, which consists of grain feed, vitamin-grass meal (VGM) and other additives. Currently, high-temperature methods of drying hay are used for the production of VTM, which require high costs and expensive technical means. Therefore, to reduce operating costs and equipment costs, we proposed a technology and a line for the preparation of VGM from the leaf part of herbs. As part of the VGM preparation line, the main machine is a separator of the leaf portion of grass from pre-ground hay. The separation process is due to the fact that when grinding dry hay in sieveless shredders, the delicate leaf part is finely chopped, this contributes to the process of separating the leaf part of the grasses. The purpose of the research is to determine the speed of hay moving along the surface of the sieve, which allows to determine the productivity of the line by mass feed and flour. For the theoretical determination of the average speed of movement of the sieve, the method of mathematical analysis was used, and to determine the actual value of the speed of movement of hay on the surface of the sieve, the method of one-factor experimental research was used. As a result of theoretical studies, analytical expressions were obtained to determine the performance of the separator, the average speeds of the sieve in the horizontal direction and the movement of hay on the surface of the sieve. As a result of experimental studies, a regularity of the change in the average speed of hay movement depending on the length of the sieve was obtained, and this regularity provides an empirical expression for determining the actual value of the average speed of hay layer movement on the surface of the sieve and it is 0,19 m/s. With the average line capacity for mass feeding, the thickness of the transported layer over the sieve surface was 0.0186 m, and it is not maximum for the separator of the leaf part of grasses.

Keywords: separator, sieve, sheet part of hay, hay movement speed, separator productivity.

Введение

Для повышения уровня производства животноводческой продукции необходимо кормить животных полнорационной кормосмесью, которая состоит из сена, силоса или сенажа и комбикормов. Одним из основных компонентов комбикормов, предназначенных для всех видов животных и птиц, является витаминно-травяная мука (ВТМ). В настоящее время для приготовления ВТМ применяются дорогие и высокзатратные высокотемпературные способы, поэтому во многих случаях приготовление комбикормов осуществляется без включения ВТМ.

Для решения данной задачи нами предложен новый способ, который заключается в том, что скошенная трава высушивается на прокосе до влажности 30...35 %, далее провяленная трава высушивается, предварительно измельченная безрешетным измельчителем. При этом нежная листовая часть мелко измельчается с размером до 15 мм, стеблевая часть крупно измельчается с длиной 20 мм и более. Далее предварительно измельченная масса поступает в разработанный нами сепаратор, и после отсепарированная мелко измельченная листовая часть сена подается в дробилку для получения муки [1]. Учитывая, что в листовой части бобовых трав содержание каротина и витаминов в 10...12 раз больше, чем в стеблевой части растения [2], при приготовлении ВТМ по предложенному способу была получена ВТМ с содержанием каротина более 300 мг/кг [3].

Для реализации способа был разработан экспериментальный образец линии приготовления ВТМ (финансирование МОН РК) и обоснованы параметры машин линии [3–5]. Здесь в основном производительность линии зависит от работы сепаратора листовой части трав, поэтому проведение теоретических и экспериментальных исследований, направленных на обоснование параметров сепаратора листовой части трав, имеет особую актуальность.

Цель исследований

Определение скорости перемещения сена по поверхности решета, позволяющей определить производительность линии по массовой подаче и по муке.

Материалы и методы

Для теоретического определения средней скорости перемещения решета применен метод

математического анализа, а для определения действительного значения скорости перемещения сена по поверхности решета использован метод однофакторного экспериментального исследования.

Результаты и обсуждение

Сепаратор листовой части трав состоит из рамы, решета, подбрасывающего барабана, очистительных щеток и приводных механизмов (рис. 1).

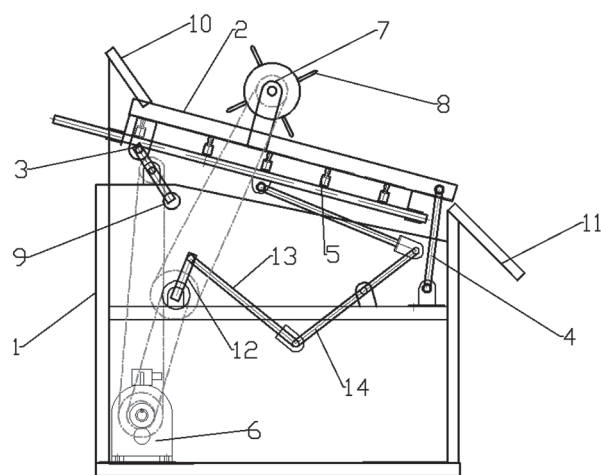


Рис. 1. Схема сепаратора мелкой листовой части трав:

- 1 – рама; 2 – решето; 3 – эксцентриковый вал;
- 4 – рычаг; 5 – очистительные щетки; 6 – мотор-редуктор; 7 – подбрасывающий барабан;
- 8 – пальцы; 9 – грузик; 10, 11 – лотки;
- 12, 13 – кривошипно-шатунный механизм;
- 14 – рычажный механизм

Сепаратор листовой части трав представляет собой решето, передняя часть которого получает вращательное движение, а задняя часть подвешена на тягу и совершает колебательное движение (рис. 2).

В верхней части решета установлен подбрасывающий барабан. При этом пальцы барабана подбрасывают массу из толстого слоя вперед и его разрыхляют, т.е. обеспечивают полную сепарацию листовой части из предварительно измельченного слоя. В нижней части решета установлены очистительные щетки, и они, совершая возвратно-поступательное движение, обеспечивают очистку решета сепаратора.

В ранее выполненных исследованиях проведен теоретический анализ сил, действующих на стебель, и определены основные оптимальные параметры сепаратора [3–5]. Однако

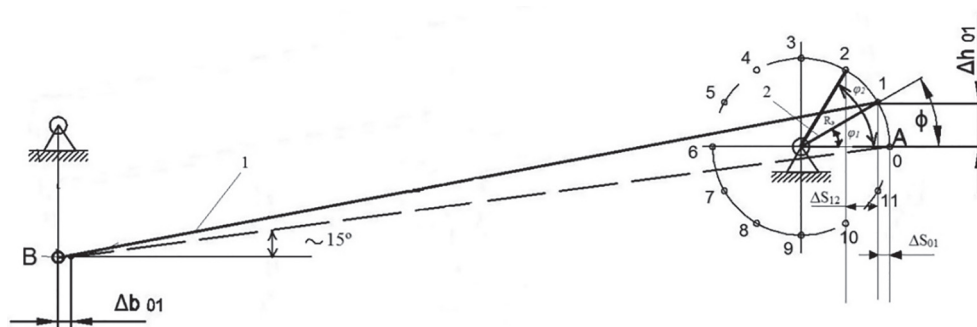


Рис. 2. Схема перемещения решета сепаратора мелкой листовой части трав в горизонтальном и вертикальном направлениях:
1 – решето; 2 – кривошип

не рассмотрен вопрос теоретического определения производительности сепаратора листовой части трав.

При повороте кривошипа от 0 до 180° предварительно измельченное сено перемещается вместе с решето, а при обратном движении решета сено, находящееся на его поверхности, перемещается по инерции вниз. В данном случае скорость перемещения сена немного будет снижаться. Однако средняя скорость перемещения сена имеет значение, близкое к средней скорости самого решета в одном направлении.

При известном значении средней скорости перемещения сена по поверхности решета $v_{\text{сп}}$, толщины, ширины и плотности слоя ρ_c , производительность сепаратора определяется по формуле:

$$Q_c = 3600 v_{\text{сп}} b_c h_c \rho_c, \quad (1)$$

где b_c – ширина решета, м; h_c – высота слоя, м.

С учетом выхода листовой части сена K_d производительность линии по муке определяется по формуле:

$$Q_c = 3600 K_d v_{\text{сп}} b_c h_c \rho_c, \quad (2)$$

Входящие в состав линии измельчитель грубых кормов для предварительного их измельчения, дробилка для получения муки и транспортирующие машины имеют высокую производительность, поэтому производительность линии зависит только от работы сепаратора листовой части трав. Здесь для теоретического определения производительности сепаратора необходимо определить скорость перемещения сена по поверхности решета. Для ее определения вначале необходимо иметь теоретическую зависимость средней скорости самого решета, и далее через коэффициент отставания скорости сена можно получить искомую зависимость.

Из ранее проведенных исследований известно, что скорость перемещения решета в горизонтальном направлении определяется по формуле [6]:

$$v_p = \omega_k R_k \sin \varphi,$$

где ω_k – угловая скорость кривошипа, рад/с; R_k – радиус кривошипа, м.

Использование данной формулы для определения скорости перемещения решета также подтверждается полученными значениями скорости перемещения решета в различных четвертях окружности вращения кривошипа.

Например, скорость изменения решета в первой четверти повышается от 0 до значения окружной скорости решета, поэтому оправдано применение данной формулы для определения средней скорости решета в горизонтальном направлении.

Из курса математики известно, что среднее значение функции в определенном интервале определяется как отношение определенного интеграла от этой функции к длине интервала. Здесь скорость решета одинаково изменяется через каждые 90°, поэтому искомое значение скорости определяется по формуле:

$$v_{\text{pc}} = \frac{2 \cdot \int_0^{\pi/2} \omega_k R_k \sin \varphi d\varphi}{\pi} = \frac{2 \omega_k R_k}{\pi} \int_0^{\pi/2} \sin \varphi d\varphi = \quad (3)$$

$$= \frac{2 \omega_k R_k}{\pi} (-\cos \varphi) \Big|_0^{\pi/2} = \frac{2 \pi \cdot n_k R_k}{30 \cdot \pi} = \frac{n_k R_k}{15},$$

где n_k – частота вращения кривошипа, мин⁻¹.

Учитывая значение коэффициента отставания перемещения сена по поверхности решета K_o , средняя скорость $v_{\text{сп}}$ перемещения сена определяется по формуле:

$$v_{\text{сп}} = \frac{K_o n_k R_k}{15}.$$

Таким образом, получено аналитическое выражение для определения средней скорости решета. Для использования данной формулы необходимо определить коэффициент отставания сена от скорости решета.

Для определения действительного значения скорости перемещения сена по поверхности решета проведено экспериментальное исследование на сепараторе листовой части трав (рис. 3).

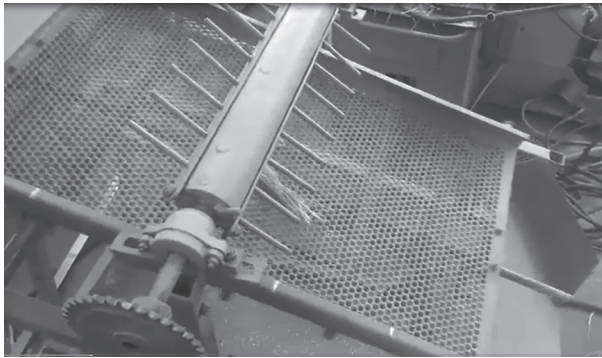


Рис. 3. Общий вид сепаратора листовой части трав при проведении экспериментальных исследований

Анализ работы колебательного движения показывает, что начало решета получает вертикальное перемещение, равное диаметру окружности вращения кривошипа, и значение данного перемещения стремится к нулю в конце решета. Отсюда ясно, что на начальном этапе движения перемещение массы происходит с подбрасыванием, поэтому можно ожидать, что скорость движения сена будет больше, чем в конце решета.

Исходя из этого, общую длину решета ($L = 1160$ мм) нужно разделить на четыре участка, и необходимо определить значение средней скорости перемещения сена на каждом участке решета. Время движения сена определено электронным секундомером.

Для подачи корма была оставлена определенная длина в начале решета, и поэтому $0,8$ м его длины разделено на 4 участка с длиной $0,2$ м. При этом закономерность изменения скорости движения сена по поверхности решета приведена на рис. 4. Экспериментальные значения средней скорости перемещения сена по поверхности решета показаны на середине каждого участка. Анализ графика показывает, что действительная скорость перемещения сена и ее скорость изменения в начале решета имеют максимальные значения.

Далее наблюдается закономерность снижения этих скоростей. На начальном участке

решета скорость перемещения сена по поверхности решета равна скорости перемещения самого решета.

Здесь следует отметить согласованность полученной закономерности с экспериментальными данными, поэтому полученное уравнение используем для определения средней скорости перемещения сена по поверхности решета $v_{\text{сп}}$; при этом уравнение имеет следующий вид:

$$v_{\text{сп}} = \frac{\int_{L_{\text{min}}}^{L_{\text{max}}} (0,3933 + 0,775L_p^2 - 0,875L_p) dL_p}{L_{p \text{ max}} - L_{p \text{ min}}} =$$

$$= 1,667 \int_{0,1}^{0,7} (0,3933 + 0,775L_p^2 - 0,875L_p) dL_p =$$

$$= 1,667 \left(0,3933L_p + 0,775 \frac{L_p^3}{3} - 0,875 \frac{L_p^2}{2} \right) \Big|_{0,1}^{0,7} =$$

$$= 0,19 \text{ м/с.}$$

Таким образом, определено действительное значение средней скорости перемещения слоя сена по поверхности решета.

При известных оптимальных значениях частоты вращения $n_k = 305 \text{ мин}^{-1}$ и радиуса кривошипа $R_k = 0,015 \text{ м}$ [5] средняя скорость перемещения решета равна $0,305 \text{ м/с}$, и в данном случае коэффициент отставания $K_o = 0,623$. Поэтому средняя скорость перемещения сена по поверхности решета сепаратора определяется по формуле:

$$v_{\text{сп}} = \frac{K_o n_k R_k}{15} = \frac{0,623 n_k R_k}{15} = 0,0415 n_k R_k. \quad (5)$$

В результате теоретических и экспериментальных исследований получено аналитическое выражение для расчета скорости перемещения сена по поверхности решета.

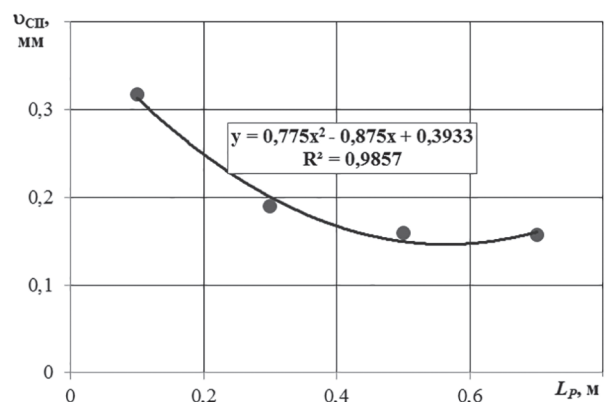


Рис. 4. Закономерность изменения скорости перемещения сена в зависимости от длины решета

В настоящее время для облегчения работы оператора, осуществляющего подачу сена в измельчитель, в состав машин линии включен малогабаритный питатель-дозатор, который обеспечивает механизированную подачу сена в измельчитель, предназначенный для предварительного измельчения грубых кормов. При этом производительность линии по массовой подаче была равна 953 кг/ч, и данная производительность является максимальной для оператора, который занимается загрузкой питателя-дозатора стебельных кормов. При такой производительности линии по массовой подаче выход муки составляет 58,9 %, т.е. производительность линии по муке – более 500 кг/ч, и это довольно высокий показатель для линии [7].

При известных значениях производительности, скорости перемещения сена, ширины решета $b_p = 0,6$ м и плотности измельченного сена $\rho_c = 125,2$ кг/м³ [8] можно определить по формуле (1) толщину слоя, перемещаемого по поверхности решета, и она равна 0,0186 м. Наблюдения за работой сепаратора показали, что толщина слоя менее 0,02 м обеспечивает рациональную работу сепаратора.

Выводы

1. В результате теоретических исследований получены аналитические выражения для определения производительности сепаратора (1), (2) и средних скоростей перемещения решета в горизонтальном направлении и перемещения сена по поверхности решета (5).

2. В результате экспериментальных исследований получена закономерность изменения средней скорости перемещения сена в зависимости от длины решета, которая обеспечивает получение эмпирического выражения для определения действительного значения средней скорости перемещения слоя сена по поверхности решета (4), равного 0,19 м/с.

3. При средней производительности линии по массовой подаче толщина перемещаемого слоя по поверхности решета была равна 0,0186 м, и она не является максимальной для сепаратора листовой части трав.

Литература

1. Абилянулы Т., Жортуылов, Солдатов В.Т., Утешев В.Л., Абилянов Д.Т., Нурлыбаев К.К., Альшурина А.С.: способ приготовления витаминно-травяной муки: патент РК № 30197. Бюл. № 8. 17.08.2015.

2. Никитина Т.К. Корма и комбикорма. СПб.: ООО «Респек», 2000. 256 с.
3. Абилянулы Т., Абилянов Д.Т. Разработка технологии и линии приготовления витаминно-травяной муки из листовой части // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2015. № 2. С. 32–35.
4. Абилянулы Т., Абилянов Д.Т. Теоретическое обоснование кинематического режима сепаратора мелкой листовой части трав // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2014. №7. С. 32–35.
5. Абилянулы Т., Абилянов Д.Т. Обоснование параметров сепаратора мелкой листовой части трав // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2014. № 8. С. 16–18.
6. Комаристов В.Е., Дунай Н.Ф. Сельскохозяйственные машины. М.: Колос, 1971. 512 с.
7. Абилянулы Т., Абилянов Д.Т., Голиков В.А., Калмагамбетов М.Б., Найдено Е.В. Обоснование параметров питателя-дозатора стебельных кормов // Международная агроинженерия. 2019. № 3.
8. Разработка технологии и линии приготовления витаминно-травяной муки из листовой части трав, обеспечивающей снижение эксплуатационных затрат (заключительный): отчет о НИР. 2014. № госрегистрации 0112PK02689. Руководитель проекта: Т. Абилянулы. Алматы, 2014.

References

1. Ibilzhanuly T., Zhortuylov, Soldatov V.T., Uteshev V.L., Abilzhanov D.T., Nurlybaev K.K., Alshurina A.S. Method for the preparation of vitamin-grass meal Patent of the Republic of Kazakhstan No. 30197. Bull. No 8. August 17, 2015.
2. Nikitina T.K. Feed and compound feed. SPb.: Respeka LLC, 2000. 256 p.
3. Abilzhanuly T., Abilzhanov D.T. Development of technology and line for the preparation of vitamin-grass meal from the leaf part of herbs. Tractors and agricultural machinery. 2015. No 2. Pp. 32–35.
4. Abilzhanuly T., Abilzhanov D.T. Theoretical substantiation of the kinematic mode of the separator of the leaf part of herbs. Tractors and agricultural machinery. 2014. No 7, pp. 32–35.
5. Abilzhanuly T., Abilzhanov D.T. Justification of the parameters of the separator of of the leaf part of herbs. Tractors and agricultural machinery. 2014. No 8, pp. 16–18.
6. Komaristov V.E., Danube N.F. Agricultural machines. M.: Kolos, 1971. 512 p.
7. Abilzhanuly T., Abilzhanov D.T., Golikov V.A., Kalmagambetov M.B., Naidenko E.V. Justification of the parameters of the dispenser-feeder of stalk feeds. International agroengineering. 2019. No 3.
8. Research report «Development of a technology and a line for the preparation of vitamin-grass meal from leaf part of herbs, which ensures a reduction in operating costs» (final). 2014. State registration number 0112PK02689. Project Manager: T.Abilzhanuly. Almaty, 2014.

СОВРЕМЕННЫЕ СЕЛЕКЦИОННЫЕ И СЕМЕНОВОДЧЕСКИЕ ЗЕРНОУБОРОЧНЫЕ КОМБАЙНЫ ЗАРУБЕЖНЫХ КОМПАНИЙ

MODERN SELECTION AND SEED GRAIN HARVESTERS OF FOREIGN COMPANIES

В.Я. ГОЛТЯПИН, К.Т.Н.

ФГБНУ «Росинформагротех», Москва, Россия,
golwol@mail.ru

V.YA. GOL'TYAPIN, PhD in Engineering

Federal State Budgetary Scientific Institution
"Rosinformagrotekh", Moscow, Russia, golwol@mail.ru

Эффективность и интенсификация селекционно-семеноводческих процессов в значительной степени зависят от оснащения селекционных учреждений соответствующими техническими средствами. Из всей техники, используемой в селекционно-семеноводческом процессе, наиболее сложными по конструкции и в эксплуатации являются зерноуборочные комбайны. К ним, в отличие от общепроизводственных машин, предъявляются повышенные агротехнические и специфические требования, обусловленные технологией ведения селекционной работы. Анализ и оценка показателей технического уровня, а также особенностей конструкции зерноуборочных комбайнов для селекции и семеноводства зарубежного производства позволит потребителям принимать обоснованные решения по их приобретению и использованию. Наиболее известными зарубежными производителями специальных машин для селекции, семеноводства и агрономических исследований являются компании Wintersteiger, Sampo Rosenlew, Zürn Harvesting, Haldrup, Almaco, Kincaid и Baural. Анализ показал, что селекционные и семеноводческие комбайны, выпускаемые этими компаниями, обычно имеют гидростатическую трансмиссию, оснащаются быстросъемными жатками различного назначения и ширины захвата, отличаются наличием разнообразного дополнительного оборудования, нескольких вариантов уборки семенного и зернового материала (в упаковки, мешки, контейнеры, бункер). Наряду с барабанными, в их конструкциях начинают использоваться одно- и двухроторные молотильные аппараты (компании Almaco и Baural). Их мощность, ориентированная на многообразие размеров опытных делянок, различные этапы селекционно-опытных работ и количество собираемого материала, принимает значения от 20 до 160 кВт, а диаметр молотильного барабана, основного рабочего органа комбайнов, находится в диапазоне 350–500 мм. Основное отличие селекционно-семеноводческих комбайнов от общепроизводственных – наличие систем предотвращения смешивания убираемых культур, пневматической транспортировки зерна, взвешивания, отбора проб, измерения влажности. Для сбора и анализа данных комбайны комплектуются программным обеспечением и бортовыми компьютерами с возможностью распечатки необходимой информации.

Ключевые слова: селекция, семеноводство, делянка, комбайн, молотильный аппарат, жатка, программное обеспечение.

The efficiency and intensification of breeding and seed-growing processes largely depend on equipping breeding establishments with the appropriate technical means. The most complex in design and operation of all the equipment used in the selection and seed-growing process are grain harvesters. In contrast to general production machinery grain harvesters are subject to increased agrotechnical and specific requirements due to the technology of breeding work. Analysis and evaluation of indicators of the technical level, as well as design features of grain harvesters for selection and seed production of foreign production will allow consumers to make informed decisions on their purchase and use. The most famous foreign manufacturers of special machines for breeding, seed production and agronomic research are Wintersteiger, Sampo Rosenlew, Zürn Harvesting, Haldrup, Almaco, Kincaid and Baural. The analysis showed that breeding and seed-growing combines produced by these companies usually have a hydrostatic transmission, are equipped with quick-detachable headers for various purposes and working widths, and differ in the presence of a variety of additional equipment, several options for harvesting seed and grain material (in packaging, bags, containers, bunker). Along with drum threshing machines, one and two rotary threshing machines (Almaco and Baural companies) are beginning to be used in their designs. Their power, focused on a variety of sizes of experimental plots, various stages of selection and experimental work and the amount of collected material, takes values from 20 to 160 kW, and the diameter of the threshing drum, which is the main working body of the combines, is in the range of 350–500 mm.

Keywords: selection, seed production, plot, harvester, threshing apparatus, header, software.

Введение

В решении задач развития современного зернового производства и устойчивого роста его продуктивности одно из центральных мест принадлежит селекции, созданию и использованию новых сортов и гибридов зерновых культур. Вклад селекции в повышение урожайности за последние десятилетия оценивается в 30–70 %. Целенаправленная селекция позволяет улучшить качество зерна и развивать другие хозяйственно полезные признаки зерновых культур, что делает сорт наиболее доступным и быстрым средством повышения эффективности зернового хозяйства. Эффективность и интенсификация селекционно-семеноводческих процессов в значительной степени зависят от оснащения селекционных учреждений соответствующими техническими средствами. Из всей техники, используемой в селекционно-семеноводческом процессе, наиболее сложными по конструкции и в эксплуатации являются зерноуборочные комбайны. К ним, в отличие от общепроизводственных машин, предъявляются повышенные агротехнические и специфические требования, обусловленные технологией ведения селекционной работы. В этой связи представляют интерес конструктивные особенности селекционных и семеноводческих комбайнов зарубежных компаний, специализирующихся на их производстве.

Цель исследований

Анализ и оценка показателей технического уровня, а также особенностей конструкции зерноуборочных комбайнов для селекции и семеноводства зарубежного производства. Это позволит потребителям принимать обоснованные решения по их приобретению и использованию.

Материалы и методы

Исследования выполнены на основе анализа информации, размещенной на сайтах зарубежных компаний-производителей специальных машин для селекции, семеноводства и агрономических исследований: Wintersteiger (Австрия), Sampo Rosenlew (Финляндия), Zürn Harvesting, Haldrup (Германия), Almaco, Kincaid (США) и Baural (Франция).

Результаты и обсуждение

Селекционный зерноуборочный комбайн Classic Plus, наиболее известной в России ком-

пании Wintersteiger (рис. 1, а, табл.), предназначен для уборки зерновых и зернобобовых культур на селекционных делянках третьего этапа селекционных работ и участках размножения [1].

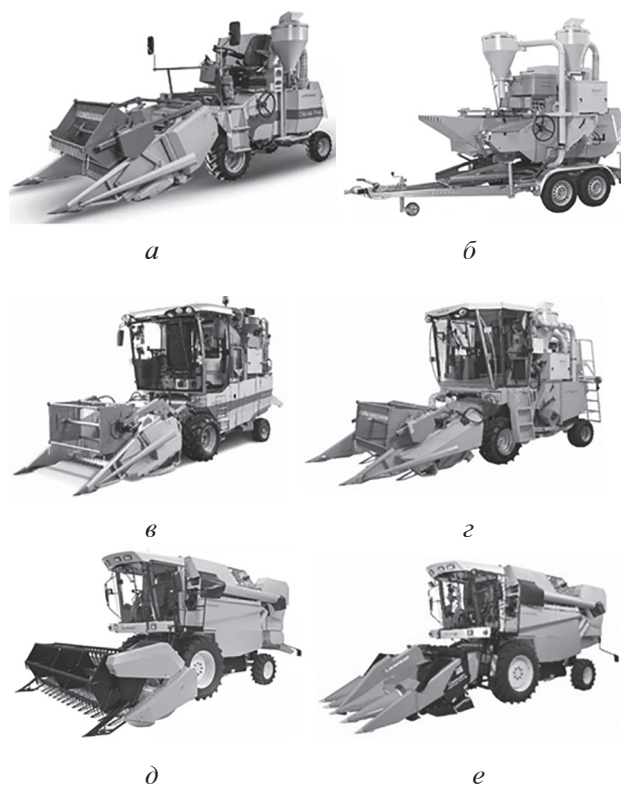


Рис. 1. Комбайны компании Wintersteiger:
Classic Plus (а), Classic ST (б), Quantum (в),
Delta (г), Alpha (д) и Split (е)

Благодаря радиусу разворота, уменьшенному на 15 % по сравнению с предыдущей моделью Classic, может применяться на сортовых участках и на небольших делянках и отличается более комфортабельным местом оператора с минимальным запыливанием благодаря конструкции молотильного аппарата с самовентиляцией. Место для оператора оснащено: регулируемым по высоте сиденьем; регулируемой по высоте и наклону рулевой колонкой; многофункциональным рычагом; цветным дисплеем с функциональными клавишами для навигации по меню, позволяющим осуществлять контроль и управление всеми важными параметрами. Оборудован двигателем Perkins с водяным охлаждением. Трансмиссия – гидростатическая; при работе в сложных условиях предусмотрено подключение полного привода с механизмом блокировки дифференциала (опция). В качестве дополнительного оборудования устанавливается электрогидравли-

Таблица

Основные технические данные селекционных и селекционно-семеноводческих комбайнов зарубежного производства

Марка	Ширина захвата жатки, м	Мощность двигателя, кВт	Вместимость топливного бака, л	Диапазон скорости движения, км/ч	Молотильный барабан:			Площадь соломотряса, м ²	Площадь очистки, м ²	Вместимость зернового бункера, л	Масса, кг
					диаметр, мм	длина, мм	частота вращения, мин ⁻¹				
Wintersteiger											
Classic Plus	1,25; 1,5	38	45	0-16	350	785	330–2100	1,6	0,65	400	2000
Classic ST	–	15; 11 (электро-двигатель)	45	–	350	785	330–2100	1,6	0,65	400	1100–1300
Quantum	1,25; 1,5; 1,75	55	100	0–25	400	800	240–1680	1,5	1,5	700; 1100	3950
Delta	1,5; 1,75; 2; 2,4	63	100; 178	0–18	350	780	330–1900	1,8	2,18	1100; 1500	3750
Alpha	3,1; 3,45; 3,9; 4,2; 4,5; 4,8; 5,1	136	350	0–20	500	1110	400–1150	Н.д.	Н.д.	4200	9000
Split	4- или 6-рядная	136	200	0–20	500	1110	400–1150	Н.д.	Н.д.	4200	9000
Sampo Rosenlew											
SR 2010	1,6; 2,1; 2,4	60	140	0–20	500	780	400–1150	1,4	0,7	1700	3450
Zürrn Harvesting											
Zürrn 110	1,25; 1,5	37	Н.д.	Н.д.	350	780	Н.д.	1,6	0,8	450	Н.д.
Zürrn 130-SE	1,25; 1,5	37	Н.д.	Н.д.	350	780	Н.д.	1,8	2	600	2600
Zürrn 150	1,25; 1,5; 1,75; 2	51	Н.д.	0–20	350	780	Н.д.	1,8	2	600; 800; 1100	2350
Zürrn 170	1,5; 1,75; 2; 2,4; 2,7	74	Н.д.	0–20	450	Н.д.	450–1400	2,1	2,7	2500	5200–7500
Haldrup											
C-60	1,25; 1,51; 1,74; 2,05	55	90	0–20	350	640	350–1800	1,2	1,44	Н.д.	2700
C-65	1,25; 1,51; 1,74; 2,05	55	90	0–20	350	640	350–1800	1,3	1,44	Н.д.	3600
C-70	1,25; 1,51; 1,74; 2,05	55	90	0–20	350	640	350–1800	1,3	1,46	Н.д.	3600
C-85	1,25; 1,51; 1,74; 2,05; 2,35; 3,01	80	200	0–20	450	850	350–1800	1,7	1,92	Н.д.	5500
CTS-95 Twin Shaker	2,5; 3; 3,5	160	465	0–20	450	640	Н.д.	Н.д.	1,44	7000	8600

Окончание таблицы

Марка	Ширина захвата жатки, м	Мощность двигателя, кВт	Вместимость топливного бака, л	Диапазон скорости движения, км/ч	Молотильный барабан:				Площадь соломотряса, м ²	Площадь очистки, м ²	Вместимость зернового бункера, л	Масса, кг
					диаметр, мм	длина, мм	частота вращения, мин ⁻¹					
Almaco												
HP 5	1,14	29	50	Н.д.	337	438	Н.д.	Н.д.	Н.д.	Н.д.	Н.д.	1905
PMC 20	Н.д.	20	114	Н.д.	380	800	250–1400	Н.д.	1,98	255; 365	Н.д.	2630
SPC 20	Н.д.	55	114	Н.д.	380	800		Н.д.	1,98	Н.д.	Н.д.	Н.д.
SPC 40	Н.д.	67	160	Н.д.	380	800	0–1230	Н.д.	2,37	Н.д.	Н.д.	Н.д.
SNP 50	Н.д.	54	168	Н.д.	337	1016	Н.д.	Н.д.	Н.д.	Н.д.	Н.д.	4536
R1		103	300	Н.д.	394	2514	200–800; 800–1200	–	0,97	1455	Н.д.	6940
Baural												
RS 1600	1,5; 2,1	74	180	0–25	Н.д.	Н.д.	450–1450	Н.д.	1,4	1700	Н.д.	6200
SP 2100	1,9; 2,1	85	230	0–25	Н.д.	Н.д.	400–1200	Н.д.	2,5	2800	Н.д.	7300
DP 4000	2,8; 3,6	136	300	0–25	Н.д.	Н.д.	450–1000	2 x 0,75	3,1	4000	Н.д.	9900
Kincaid												
8-XP	1,5; 2; 2,3	60	168	0–20	498	780	400–1150	0,42	0,21	1745	Н.д.	3720

ческий механизм блокировки дифференциала передних колес, компрессор со шлангом и воздушным резервуаром емкостью 10 л для очистки машины, воздушный резервуар на 40 л для выполнения работ по очистке комбайна при заглушенном двигателе, ножная педаль управления, освобождающая руки для выполнения других действий.

Частота вращения молотильного барабана с реверсом изменяется бесступенчато с помощью вариатора. Кроме того, различные комбинации сменных звездочек позволяют получить следующие частоты вращения: 160, 220, 280, 470, 675, 850, 1045, 1320 и 1890 об/мин. Этим обеспечивается настройка на различные культуры и условия уборки урожая. Информация о частоте вращения молотильного барабана, величине зазора между ним и подбарабаньем, а также угле установки подбарабанья отображаются на цветном дисплее. По желанию комбайн может быть оборудован гидравлическим вариатором молотильного барабана вместо ременного. Замена подбарабанья осуществляется менее чем за 2 минуты путем его демонтажа через одну из сторон молотилки.

Соломотряс – плоскорешетный с одной ступенью падения, двумя устройствами для предотвращения смещения соломы в одну сторону и транспортными гребнями для разрыхления соломы, что способствует эффективной работе комбайна на склонах. Устройство для очистки зернового вороха включает в себя набор решет различной перфорации и центробежный вентилятор. Частота его вращения регулируется бесступенчато.

Комплектуется жаткой, включающей в себя режущий аппарат, ленточный транспортер с рифленой рабочей поверхностью, подающий шнек и приемный бiter. Попаданию посторонних предметов препятствует устройство быстрой остановки жатки. Стеблеподъемники и удлиненные стеблеразделители обеспечивают уборку участков с высоким или полеглым стеблестоем. Вертикальный нож на левой стороне используется для уборки центральных деленок.

Комбайн оснащается зерновым бункером с пневматической системой заполнения и разгрузкой выгрузным шнеком с гидроприводом складывания в транспортное положение. Переключающей заслонкой поток зерна можно направить в систему затаривания семян в мешки.

При взвешивании и измерении влажности на комбайне используется программное обеспечение Easy Harvest в комбинации с мобильной системой для обработки данных.

Предлагается стационарное исполнение комбайна Classic Plus – молотилка Classic ST (рис. 1, в). Оснащается дизельным или электрическим двигателем; во втором случае допускается эксплуатация в закрытых помещениях. Модель с электроприводом может приводиться в действие с помощью генераторного агрегата, приводимого от вала отбора мощности трактора. Загрузка молотилки происходит с помощью короткого или длинного приемного стола с ленточным транспортером, который оборудован устройством затаривания в мешки с левой стороны.

Селекционный комбайн Quantum (рис. 1, б) находится в сегменте средней производительности и отвечает требованиям к современным селекционно-семеноводческим процессам во всех областях – от питомников до участков сортоиспытания. Оснащен четырехцилиндровым двигателем Volkswagen с сажевым фильтром и интерфейсом диагностики. Трансмиссия – гидростатическая, двухступенчатая. Для работы на склонах и в сложных почвенных условиях оснащается полным приводом с межосевой и межколесной блокировкой дифференциалов переднего и заднего мостов. Зерновой бункер загружается с использованием пневматики. Контроль уровня заполнения – с помощью электронного индикатора, скорость разгрузки около 10 л/с, высота разгрузка в машины высотой до 3,2 м. Молотильное устройство комбайна включает в себя молотильный барабан и отбойный битей. Угол охвата барабана подбарабаньем составляет 117°. Зазор между ними изменяется гидравлически, его значения отображаются на дисплее. Демонтаж подбарабанья при замене или ремонте осуществляется сбоку, без отсоединения жатки. Соломотряс – плоскорешетный. После молотилки зерно с решет подается воздушным потоком вверх в циклон, где происходит сепарация зерна и воздуха. Для контроля потока зерна в линиях основной и обратной подачи встроены два датчика, обнаруживающие остатки зерна в системе пневмотранспорта. Они позволяют операторам предотвратить смешивание культур с разных делянок.

В режиме уборки урожая с делянок в мешки затаривание осуществляется сбоку двумя

работниками с использованием держателей с переключающей заслонкой. Для сбора малых объемов урожая до 10 кг используется регулируемая по высоте платформа. Затаривание в мешки также можно выполнять в кабине. При этом возможны предварительный отбор проб и спектрометрия в ближнем инфракрасном диапазоне (БИК). Кроме того, возможно боковое затаривание небольших объемов в мешки без предварительного отбора проб и спектрометрии. Предварительное определение типа пробы или комбинации проб задается в модуле программного обеспечения сборки урожая Easy Sample. Возможны следующие варианты выбора типа пробы: малая, большая, двойная (малая и большая проба), равномерная по делянкам и управляемая по времени (объем зависит от времени). Между кабиной и зерновым бункером встроена система хранения проб и ящиков. Комбайн оснащен также мельницей для дробления зерна, позволяющей определить всхожесть семян с отдельных участков.

Кабина на комбайне – премиум класса с кондиционером, пылезащитой, регулируемым наклоном и высотой рулевой колонки, сиденьями для водителя и оператора. Благодаря опорам на амортизирующих элементах уровень шума в кабине составляет 76 дБ. Многофункциональный рычаг, встроенный в подлокотник и перемещаемый вместе с сиденьем водителя, позволяет управлять функциями уборки урожая. Бортовой компьютер с цветным дисплеем информирует обо всех параметрах состояния комбайна и технологического процесса уборки. Если установлена камера заднего хода (опция), при его включении на дисплее автоматически выводится изображение с камеры. Кроме того, можно активировать полуавтоматическое или автоматическое управление процессом при перемещении между делянками, автоматические продувку жатки, ее подъем, опускание мотовила, открывание жалюзей решет (опция), запуск вентилятора очистки, запуск цикла взвешивания и отбора. Комплектуется жатками для уборки зерновых культур, кукурузы и сои с широкорядными посевами. В жатке для зерновых культур поток подаваемого материала оптимизируется разделенным питающим шнеком. Затем питающий барабан уплотняет и выравнивает материал перед его подачей в молотилку. Благодаря пневматической очистке жатки с помощью сжа-

того воздуха возможна работа с любым материалом. Жатка оборудуется стеблеподъемниками для уборки полеглых растений, щетками для очистки режущего аппарата, вертикальными ножами-делителями с гидравлическим приводом, расположенными слева и справа, удлиненным стеблеразделителем для разделения участков высокорослых культур, расположенным справа.

Селекционно-семеноводческий комбайн Delta (рис. 1, 2) предназначен для уборки зерновых, зернобобовых и крупяных культур, а также специальных культур на селекционных участках размножения. Оснащен двигателем Deutz с водяным охлаждением. Трансмиссия – гидростатическая. Для работы в сложных условиях предусмотрено подключение полного привода с электрогидравлическим механизмом блокировки дифференциала (опция). По желанию заказчика могут быть установлены шины большего диаметра (1047 мм). Для уборки риса может оснащаться гусеничным ходом. Для размещения водителя и его помощника комбайн на выбор комплектуется кабиной с кондиционером и системой отопления или платформой с поручнями и защитой от солнца. Общий уровень шума внутри кабины не превышает 80 дБ. Используя многофункциональный рычаг, водитель осуществляет управление приводом ходовой части, жаткой, мотовилом жатки, системой взвешивания, процессом очистки. Трогание с места и остановка комбайна могут выполняться с помощью устанавливаемой дополнительно педали Stop&Go при неизменном положении многофункционального рычага, что упрощает процесс управления. Комбайн Delta может оснащаться: жаткой с ленточным транспортером вместо наклонной камеры (ширина захвата 150 см); жаткой с наклонной камерой и цепным транспортером (ширина захвата 150, 175, 200 и 240 см); двух- или трехрядной жаткой для уборки кукурузы; двухрядным адаптером к зерновой жатке для уборки широкорядных посевов сои; адаптером для уборки подсолнечника; подборщиком валков для раздельной уборки урожая.

На первой жатке для перемещения и подачи скошенной массы используются ленточный транспортер и шнек. Уборка урожая без сортовых примесей обеспечивается благодаря закрытому режущему аппарату, ленточному транспортеру, антистатической резиновой кон-

вейерной ленте под молотильным аппаратом, а также системе продувки. Уборку центральных участков обеспечивают два вертикальных ножа слева и справа. Жатка с наклонной камерой и цепным транспортером используется в сложных условиях уборки урожая: при полеглых хлебах, зеленом проросте или заросших растениях в условиях повышенной влажности.

Частота вращения молотильного барабана изменяется бесступенчато с помощью вариатора. Текущая частота вращения отображается на дисплее терминала. Для уборки риса в качестве дополнительного оборудования предлагается штифтовой молотильный аппарат. Соломотряс – плоскорешетный, двухкаскадный, пригоден для работы на склонах. Для уборки кукурузы предлагается соломотряс повышенной производительности, для уборки рапса – специальный. Различные модели соломотрясов оснащены системой быстрой замены. В рамках дополнительного оснащения предлагается функция регулировки наклона решетчатого стана. Это позволяет достичь еще более эффективного снижения потерь зерна, в первую очередь, при работе с мелкосемянными культурами (рапс). Потери зерна измеряются датчиком потерь, расположенным в конце сита. При необходимости из кабины можно произвести регулировку воздушного потока. В дополнение к индикатору потерь зерна возможно использование электронной регулировки угла наклона верхнего сита с помощью кнопок, расположенных как в кабине, так и в задней части комбайна (дополнительное оснащение). Дополнительно в процессе очистки в конце деланки верхнее пластинчатое сито автоматически открывается, в результате чего удаляются ости обмолачиваемой культуры.

Комбайн оборудован системой автоматической очистки от семян. После ее активации в первую очередь производится продувка жатки, затем – решета.

Обмолоченное зерно при транспортировке проходит циклон, устройство взвешивания, механизм затаривания семян в мешки, систему отбора проб. Имеется несколько вариантов отбора проб; при любом способе оставшаяся часть собранного урожая может быть подана на затаривание в мешки или в зерновой бункер. Для хранения мешков с пробами используется контейнер вместимостью около 200 л. Когда в уборке участков задействован только комбайнер, затаривание в мешки происходит в кабине

комбайна. Устройство затаривания в контейнеры на салазках обеспечивает загрузку пробных партий семян в 20 контейнеров объемом 4 л каждый. Двухосевая система позиционирования направляет выбранный контейнер в нужное место, куда затем подается частичная проба.

Семеноводческий комбайн Alpha (рис. 1, д) предназначен для работы на больших полях, участках размножения и опытных полях. Отличается наличием ленточного транспортера под молотильным барабаном. Оснащается жатками для уборки зерновых культур, кукурузы или ручьевой жаткой. Зерновая жатка включает в себя режущий аппарат, мотовило, шнек и наклонную камеру. По заказу к жатке поставляются оборудование для уборки подсолнечника, адаптер-удлинитель и боковые ножи для уборки рапса. Также по заказу комбайн оснащается системой взвешивания и системой отбора проб. Процесс происходит в кабине, и пробы передаются комбайнеру автоматически после транспортировки, пылеотделения и отбора. Для быстрой очистки узлов и агрегатов машины, решетчатого стана от семян предшествующей культуры, сорта и репродукции имеет специальные отверстия.

Двухделяночный селекционный комбайн Split (рис. 1, е) предназначен для уборки урожая кукурузы на двух полях за один проход без смешивания семян правой и левой полях. Трансмиссия – гидростатическая, для работы в сложных условиях предусмотрено включение полного привода. По заказу оснащается телескопической передней осью, позволяющей менять ширину колеи с 2,55 до 3,15 м. Это обеспечивает устойчивость при работе в поле и дает возможность передвигаться комбайну по дорогам. В стандартном исполнении комбайн оснащается зерновым бункером вместимостью 4200 л. По желанию заказчика стандартная вместимость бункера может быть увеличена до 6200 или до 7700 л. Кабина водителя оборудована регулируемым сиденьем, кондиционером, системой отопления, радио с CD проигрывателем и камерой заднего вида (опция). Используя многофункциональный рычаг, можно одной рукой управлять следующими функциями комбайна: привод ходовой части (передний и задний ход); подъем и опускание хедера; изменение частоты вращения транспортера наклонной камеры; включение системы взвешивания.

Оснащается 4- или 6-рядной жаткой для уборки кукурузы с регулировкой под ширину междурядий 700 или 750 мм, разделенную по середине для обеспечения несмещения сортов (рис. 2). Предлагаются варианты жаток в цельном или гидравлически складываемом исполнении.



Рис. 2. Гидравлически складываемая жатка

Система взвешивания на комбайне состоит из двух приемных бункеров (для левой и правой полях) и одного бункера для взвешивания, в котором встроены датчики измерения веса и влажности. Данные сохраняет персональный компьютер, их можно распечатать на мобильном принтере. Дополнительно к системе взвешивания предлагается система отбора проб.

Для исключения примесей в урожае с обеих полях в конструкции комбайна используются разделенные на две части: наклонная камера, молотильный барабан, подбарабанье с турбинами, решетчатый стан и двойной, пневматический механизм подачи зерна.

Компанией Wintersteiger для комбайнов предлагаются следующие системы взвешивания и регистрации данных: Classic GrainGage, High Capacity GrainGage, Bucket и H2 ClassicTM. Мобильная система регистрации данных Classic GrainGage предназначена для измерения веса, влажности и натуры зерна. Система используется с компьютерной программой Easy Harvest. Classic GrainGage представляет собой 3-камерную систему. Первая камера с датчиком уровня заполнения служит в качестве предварительной. Во второй и третьей камерах происходит измерение соответственно влажности и веса материала. Система регистрации данных High Capacity GrainGage предназначена для измерения больших объемов собранного урожая, влажности и случаев с особо малым временем цикла при больших объемах собранного материала. Включает в себя емкость, в которой

размещены необходимые датчики для измерения влажности и веса. Полученные данные сохраняются на полевом компьютере. Система взвешивания Bucket предназначена для регистрации веса собранного с делянки урожая и передачи данных в систему БИК-анализа (метод спектроскопии в ближней инфракрасной области). Система регистрации данных H2 Classic™ предназначена для малых объемов урожая и мелкозернистых культур, а также объемных культур, например, кукурузы. Датчики веса и влажности соединены информационной шиной CAN.

Для определения качества и уровня влажности материала непосредственно в полевых условиях предусмотрена возможность оснащения комбайнов анализатором БИК. Таким образом обеспечивается репрезентативный анализ для всей делянки. В программном обеспечении Easy Harvest данные БИК-анализа автоматически сопоставляются с конкретной делянкой и сохраняются.

Повышают точность измерения и снижают вероятность ошибок, вызываемых вибрацией или движением уборочной машины, датчики угла наклона и движения. Благодаря этому взвешивание возможно во время движения комбайна по делянке, а также на уклонах до 10 %.

Следует отметить, что в России две модели комбайнов: Classic Wintersteiger-ВИМ и Delta Wintersteiger-ВИМ, изготавливаемых по технической документации и с использованием комплектующих производства компании Wintersteiger, предлагает ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

Селекционный комбайн компании Sampo Rosenlew (Финляндия) SR 2010 (рис. 3, а) предназначен для уборки зерновых культур на опытных участках и небольших полях [2]. Использование дополнительных приспособлений позволяет применять комбайн на уборке крупяных и мелкосеменных культур, подсолнечника, семенников трав, сои и кукурузы

на зерно. Основная концепция, положенная в основу конструкции, – самоочистка машины.

Трансмиссия – гидростатическая с тремя диапазонами скорости. Может быть оборудован открытой платформой для водителя или кабиной. Контроль за всеми функциями обеспечивают акустические и оптические системы слежения. Частота вращения молотильного барабана регулируется из кабины с помощью электропривода. После соломотряса солома или выбрасывается целой, или направляется на измельчитель. Со своего места в кабине оператор может направить зерно во взвешивающее устройство либо в зерновой бункер. Возможна также загрузка зерна в мешки. Зерновой бункер – самоочищающийся. Зерно из грохота в зерновой бункер транспортирует цепной транспортер, снабженный специальными регулируемыми пластиковыми пластинами с нанесенной резьбой.

Система взвешивания Coleman является пневматической, откалибрована с точностью до 50 г. Система выгрузки в мешки может выгружать одновременно в два мешка. Очистка жатки осуществляется системой ЧНАС (очистка непрерывным потоком воздуха) вместе со специальными щетками, укрепленными на мотовиле.

В России, кроме самой фирмы Sampo Rosenlew, селекционный комбайн предлагается ЗАО «Агротехмаш» (рис. 3, б).

Компания Zürn Harvesting предлагает следующие основные модели комбайнов: Zürn 110, Zürn 130-SE, Zürn 150 и Zürn 170 (рис. 4) [3].

Селекционный комбайн Zyrn 110 предназначен для уборки делянок. Создан по модульной схеме и может быть адаптирован под индивидуальные потребности. Оснащен четырехцилиндровым двигателем. Привод колес – гидростатический с управлением педалью двойного действия для переднего и заднего хода. Все настройки жатки и молотилки выполняют-



а



б

Рис. 3. Комбайн SR 2010 производства компании Sampo Rosenlew (а) и ЗАО «Агротехмаш» (б)



Рис. 4. Селекционные комбайны Zürn 110 (а), Zürn 130-SE (б), Zürn 150 (в) и Zürn 170 (г)

ся с места водителя. Привод режущего ножа жатки – гидравлический. Предусмотрена быстрая остановка жатки и молотильного аппарата. Поставляется с системами взвешивания Zürn WieSEL и упаковки в пакеты.

Селекционный комбайн Zürn 130-SE предназначен для обмолота небольших участков в питомниках и на небольших полевых испытательных станциях. Оснащен четырехцилиндровым двигателем с турбонаддувом John Deere PowerTech. Трансмиссия – гидростатическая, двухступенчатая. Жатка на комбайне – с конвейерной лентой и системой пневматической очистки. Вентилятор – с гидравлическим приводом. Имеет системы взвешивания, упаковки в мешки, измерения влажности, отбора проб. Компания предлагает стационарный вариант комбайна Zürn 130-SE – молотилку Zürn 130-ST.

Селекционный комбайн Zürn 150 предназначен для работы на опытных делянках. Двигатель на комбайне четырехцилиндровый, по токсичности выхлопных газов отвечает требованиям EPA Tier4 EU Stage IIIB. Трансмиссия – гидростатическая, двухступенчатая. Жатка на комбайне – с конвейерной лентой, гидравлическим приводом ножа и системой пневматической очистки. Соломотряс – трех-

ступенчатый, очистка двухрешетчатая. Система транспортировки зерна – пневматическая.

Селекционный комбайн Zürn 170 является самым мощным комбайном компании и предназначен для эксплуатации на опытных и больших делянках, а также на участках размножения любого рода. Оснащен четырехцилиндровым двигателем. Трансмиссия – гидростатическая, двухступенчатая. Соломотряс – трехклавишный с тремя ступенями падения, двойная система решет. Транспортировка зерна в зерновой бункер – пневматическая.

Компания Haldrup предлагает потребителям пять моделей селекционных комбайнов для обмолота культур опытных участков: Haldrup C-60, Haldrup C-65, Haldrup C-70, Haldrup C-85 и Haldrup CTS-95 Twin Shaker (рис. 5) [4].

Они оснащены двигателями с турбонаддувом, гидростатической трансмиссией, полным приводом колес (опция), гидростатическим рулевым управлением с регулируемой по высоте и наклону рулевой колонкой, гидравлическим приводом ножа жатки, системой взвешивания. Для быстрой очистки имеют прямой доступ к наклонной камере, молотильному барабану и бункеру.

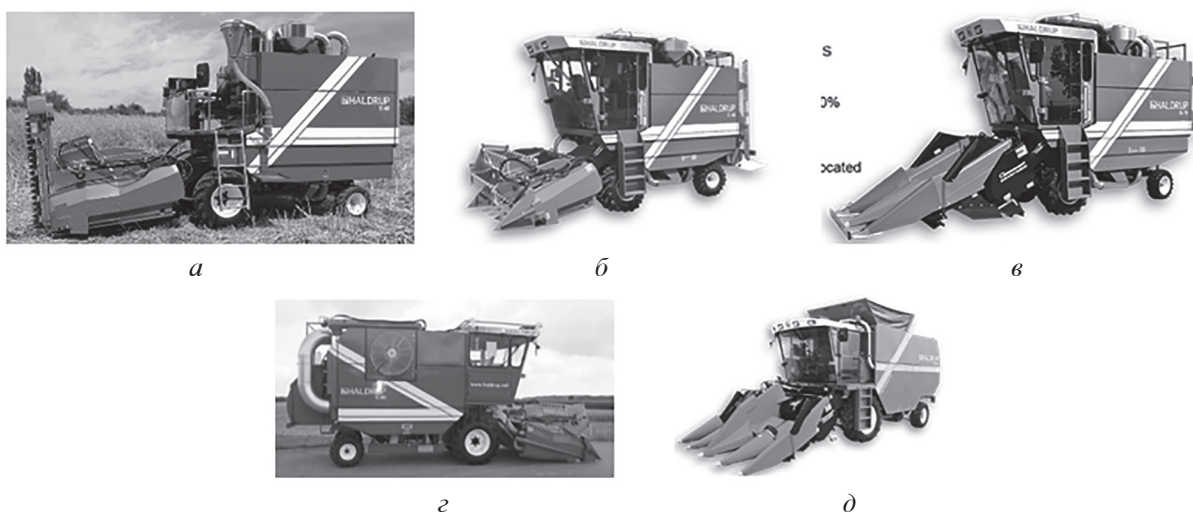


Рис. 5. Селекционные комбайны компании Haldrup: C-60 (а), Haldrup C-65 (б), Haldrup C-70 (в), Haldrup C-85 (г) и Haldrup CTS-95 Twin Shaker (д)

Селекционный комбайн Haldrup CTS-95 Twin Shaker, оборудованный разделенными надвое жаткой и молотилкой, может убирать урожай одновременно с двух участков без смешивания. Система взвешивания также включает два предварительных и два весовых бункера вместимостью 45 л каждый.

По заказу на селекционные комбайны могут быть установлены: анализатор зерна NIRS, система взвешивания, измеритель влажности, система выгрузки в мешок, камеры наблюдения, GPS-управление, программное обеспечение HarvestManager. Анализатор зерна NIRS предназначен для измерения содержания белка, масла, крахмала и влаги в цельных зернах. Определение натуры осуществляется с использованием встроенного весоизмерительного блока. Программное обеспечение HarvestManager – это модульная си-

на однорядковых деланках, а комбайн SHP 50 – для уборки двух однорядковых участков сои. Оборудован системой автоматической упаковки семян Alмасо с двух участков, бункером для хранения семян и пневматической подачей семян.

Комбайн R1 – роторный, с верхней подачей массы в ротор (рис. 7). Оснащен двигателем Cummins QSB4.5 с турбонаддувом, реверсивным вентилятором системы охлаждения с гидравлическим приводом. В кабине для контроля и управления технологическим процессом установлен 7-дюймовый цветной дисплей высокого разрешения.

Компания Alмасо оснащает комбайны программным обеспечением для сбора и обработки данных Vantage HD Harvest, портативными компьютерами Alмасо LRX и Mobile Demand, принтером и каналами связи.



Рис. 6. Комбайны компании Alмасо:

HP 5 (а); PMC 20 (б); SPC 20 (в); SPC 40 (г); SHP 50 (д); R1 (роторный) (е)

стема для сбора и анализа данных об убранный урожае, обеспечивает также работу комбайнов на поле при помощи спутника.

Компания Alмасо (США) (рис. 6) производит шесть моделей комбайнов, предназначенных для уборки зерновых культур на опытных и селекционных участках [5].

Комбайны оснащены двигателями Deutz с воздушным охлаждением (на комбайне SPC 40 – двигатель Caterpillar с водяным охлаждением), рулевым управлением с гидроусилителем, пневматической системой доставки семян. Трансмиссия – с гидростатическим приводом. Комбайн HP 5 предназначен для работы



Рис. 7. Ротор и система очистки комбайна R1

Компания Baural, являющаяся производителем специальных машин для агрономических исследований и семеноводства, предлагает потребителям семеноводческие комбайны DP 4000, SP 2100 и RS 1600 (рис. 8) [6].



а



б



в

Рис. 8. Комбайны компании Baural: DP 4000 (а); SP 2100 (б); RS 1600 (в)

Комбайн DP 4000 – двухрядковый, комплектуется жатками для уборки зерновых культур и восьмьюрядной жаткой для уборки подсолнечника. Привод жаток и управление осуществляется с помощью гидравлики. Молотилка – двухроторная, раздельная для разных участков культур. Управление включением молотилки, приводом роторов и вентилятора – электрическое. Комбайн оборудован системами пневматической транспортировки зерна, взвешивания и отбора проб. Трансмиссия – гидростатическая с двумя гидромоторами.

На комбайне SP 2100 молотилка однороторная. Комплектуется жатками для уборки зерновых культур, двух- или трехрядной жаткой для уборки кукурузы и четырехрядной жаткой для уборки подсолнечника. Оборудован системами пневматической транспортировки зерна, взвешивания и отбора проб. На комбайне установлен четырехцилиндровый двигатель John Deere с турбонаддувом. Трансмиссия – гидростатическая.

На комбайне RS 1600 обмолот осуществляется молотильным барабаном. Кроме жатки для зерновых культур он комплектуется двухрядной жаткой для уборки кукурузы и четырехрядной жаткой для уборки подсолнечника. Оборудован системами пневматической транспортировки зерна, взвешивания и отбора проб. Трансмиссия – гидростатическая, впереди использована четырехколесная тележка.

Компания Kincaid (США) специализируется на производстве оборудования для семеноводческих исследований, среди которого можно отметить одноделяночный комбайн 8-XP (рис. 9) [7]. Более чем 200 таких комбайнов используются в США и Канаде с 1993 г. Трансмиссия на комбайне – гидростатическая трехдиапазонная (по заказу – с полным приводом).



Рис. 9. Комбайн 8-XP

Он оснащается быстросъемными зерновыми жатками и двухрядными жатками для кукурузы и подсолнечника. Кабина шумоизолирована, уровень шума составляет 83 дБ. Для сбора и анализа данных комбайн оборудуется программным обеспечением Field Research Software и портативным компьютером Allegro Field PC.

Заключение

Анализ показал, что основное отличие селекционно-семеноводческих комбайнов от общепроизводственных состоит в наличии систем предотвращения смешивания убираемых культур, пневматической транспортировки зерна, взвешивания, отбора проб, измерения влажности. Селекционные и семеноводческие комбайны, выпускаемые зарубежными компаниями, обычно имеют гидростатическую трансмиссию, оснащаются быстросъемными жатками различного назначения и ширины захвата, отличаются наличием разнообразного дополнительного оборудования, несколь-

ких вариантов уборки семенного и зернового материала (в упаковки, мешки, контейнеры, бункер). Наряду с барабанными в их конструкциях начинают использоваться одно- и двух-роторные молотильные аппараты (компания Almaco и Baural). Их мощность, ориентированная на многообразие размеров опытных деленок, различные этапы селекционно-опытных работ и количество собираемого материала, находится в диапазоне 20–160 кВт. Для сбора и анализа данных комбайны комплектуются программным обеспечением и бортовыми компьютерами с возможностью распечатки необходимой информации. По заказу могут быть оборудованы видеокамерами наблюдения и системой навигации.

Литература

1. Селекционные комбайны. URL: <https://www.wintersteiger.com/ru> (дата обращения 17.04.2020).
2. Селекционный комбайн. Инструкция по эксплуатации. URL: http://www.sampo-rosenlew.fi/upload/kirjat/Puimuri/SR2010/Manuaali/manual_2010_rus_2012_web.pdf (дата обращения 09.04.2020).
3. Селекционный комбайн. URL: <https://www.zuern.de/ru/selektionnaja-tehnika/produkty/selektionnyi-kombain.html> (дата обращения 09.04.2020).
4. Комбайны URL: <https://www.haldrup.net/ru> (дата обращения 17.04.2020).
5. Combines. URL: <https://www.almaco.com/store/c10/combines/> (дата обращения 17.04.2020).
6. Производитель специальных машин для сельскохозяйственных исследований и производства семян. URL: <https://baural.fr/category/produits/les-recolteuses/> (дата обращения 09.04.2020).
7. 8-XP plot combine URL: https://www.kincaidseedresearch.com/product_category/single-plot-combines/ (дата обращения 17.04.2020).

References

1. Selektionn-yye kombayny. URL: <https://www.wintersteiger.com/ru> (accessed: 17.04.2020).
2. Selektionnyy kombayn. Instruksiya po ekspluatatsii. URL: http://www.sampo-rosenlew.fi/upload/kirjat/Puimuri/SR2010/Manuaali/manual_2010_rus_2012_web.pdf (accessed: 09.04.2020).
3. Selektionnyy kombayn. URL: <https://www.zuern.de/ru/selektionnaja-tehnika/produkty/selektionnyi-kombain.html> (accessed: 09.04.2020).
4. Kombayny URL: <https://www.haldrup.net/ru> (accessed: 17.04.2020).
5. Combines. URL: <https://www.almaco.com/store/c10/combines/> (accessed: 17.04.2020).
6. Proizvoditel' spetsial'nykh mashin dlya sel'skokhozyaystvennykh issledovaniy i proizvodstva semyan. URL: <https://baural.fr/category/produits/les-recolteuses/> (accessed: 09.04.2020).
7. 8-XP plot combine URL: https://www.kincaidseedresearch.com/product_category/single-plot-combines/ (accessed: 17.04.2020).

ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ИГОЛЬЧАТОГО ДИСКА НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ

JUSTIFICATION OF THE OPERATING MODES OF THE NEEDLE DISK OF A NEW DESIGN

А.Н. ШМИДТ¹
А.А. КЕМ¹, к.т.н.
М.С. ЧЕКУСОВ¹
Д.Е. КУЗЬМИН²
А.С. СОЮНОВ², к.т.н.

¹ ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», Омск, Россия,

² ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», Омск, Россия, aa.kem@omgau.org

A.N. SHMIDT¹
A.A. KEM¹, PhD in Engineering
M.S. CHEKUSOV¹
D.E. KUZ'MIN²
A.S. SOYUNOV², PhD in Engineering

¹ Federal State Budgetary Scientific Institution "Omsk Agricultural Scientific Center", Omsk, Russia

² Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia, aa.kem@omgau.org

Сохранение и накопление продуктивной почвенной влаги в зонах с недостаточным увлажнением и подверженных ветровой эрозии не теряет своей актуальности. Известные дисковые игольчатые рабочие органы ротационных борон, предназначенные для поверхностной обработки по стерневым фонам, в большей мере направлены на рыхление верхнего почвенного пласта. Неправильно выбранный режим использования существующих игольчатых борон опасен чрезмерным распылением и иссушением поверхности плодородной почвы. В связи с этим предложено новое техническое решение игольчатого диска с изменяющейся формой игл, позволяющее рыхлить верхний слой почвы с выполнением лунок на поверхности поля. Почвообрабатывающее орудие с игольчатыми дисками состоит из ступицы с закрепленными на ней иглами, причем диск установлен афронтально, каждая игла выполнена изменяющейся формы, первая половина от основания иглы выполнена квадратной формы, вторая половина – пирамидальной формы с вершиной на конце иглы. Использование таких игольчатых дисков с иглами, которые легче проникают в почву, позволяет эффективно измельчать пожнивные остатки и рыхлить почву, что повышает качество обработки почвы. Проведенные испытания нового игольчатого диска по фону многолетних трав позволили обосновать основные режимные показатели нового рабочего органа. Для супесчаной почвы твердостью 14,5 кПа с агрофоном многолетних трав, таких как костреч безостый и люцерна, установлено, что максимальный параметр для влагонакопления будет достигнут при скорости в 7 км/ч с углом атаки, равным 0°, а рыхления при скорости 9 км/ч с углом атаки в 16°. Рациональными параметрами, при которых происходит не только накопление влаги, но и качественная обработка почвы, являются угол атаки, равной 4° и скорость движения агрегата – 7 км/ч.

Ключевые слова: игольчатый диск, рабочий орган, почва, борона, угол атаки, влага, лунки.

The preservation and accumulation of productive soil moisture in areas with insufficient moisture and subject to wind erosion does not lose its relevance. Known disc needle-like working bodies of rotary harrows, intended for surface treatment on stubble backgrounds, are mainly aimed at loosening the upper soil layer. An incorrectly selected mode of using existing needle harrows is dangerous by excessive spraying and drying out of the surface of fertile soil. In this regard, there was proposed a new technical solution for a needle disk with a changing shape of needles, which makes it possible to loosen the top layer of soil from making holes on the surface of the field. A tillage tool with needle discs consists of a hub with needles fixed on it. The disc is installed afrontal, each needle is made of a variable shape, the first half made from the base of the needle is square, and the second half is pyramidal with a top at the end of the needle. The use of such needle discs with needles, which more easily penetrate the soil make it possible to efficiently chop up crop residues and loosen the soil, which improves the quality of soil cultivation. The tests of the new needle disk against the background of perennial grasses made it possible to substantiate the main operating parameters of the new working body. For sandy loam soil with a hardness of 14,5 kPa with an agrophone of perennial grasses, such as awnless rump and alfalfa, it was found that the maximum parameter for moisture accumulation will be achieved at a speed of 7 km / h with an angle of attack equal to 0°, and loosening at a speed of 9 km/h with an angle of attack of 16°. A rational parameter, at which not only moisture accumulation occurs, but also high-quality soil cultivation, is achieved when the angle of attack is set to 4° and the speed of the unit is 7 km/h.

Keywords: needle disc, working body, soil, harrow, angle of attack, moisture, holes.

Введение

Эрозионным процессам подвержена большая часть обрабатываемой земли Омской области, что в свою очередь оказывает непосредственное влияние на количество собранного зерна. На протяжении последних нескольких лет, средняя урожайность по Омской области не превышает 16 ц/га. Так, например, в трех самых южных районах, расположенных в степной зоне, где содержание гумуса достигает 4 %, а количество осадков – 250–300 мм. в год, средняя урожайность составила 12,9 ц/га. Существенным методом, оказывающим влияние на урожайность сельскохозяйственных культур, является увеличение накопления продуктивной влаги за осенне-весенний период [1, 2]. Проведение уборочных работ сопровождается переуплотнением поверхностного слоя, что усложняет проникновение влаги. В ранне-весенний период, после обильного снеготаяния, почвенная корка напротив, высыхая и растрескиваясь, увеличивает испарение влаги и приводит к снижению урожайности.

Существующие известные орудия с дисковыми и игольчатыми рабочими органами для осеннего рыхления и ранневесеннего боронования почв не в полной мере соответствуют требованиям, предъявляемым к обработке, особенно в зонах, подверженных ветровой эрозии. Зачастую неправильно подобранный режим работы игольчатой бороны оказывается малопродуктивным. Так, например, несоответствие угла атаки и выбора режима (активный, пассивный) по направлению движения игольчатого диска ведет к снижению качественных показателей. Превышение рабочей скорости агрегата, по сравнению с агротехническими требованиями, в весенний период приводит к иссушению и чрезмерному распылению верхнего слоя почвы.

В связи с этим разработка новых конструкций орудий с игольчатыми дисками, определение параметров и режимов их работы для улучшения качественных показателей весенне-осенней обработки почв является актуальной [3, 4].

Цель исследований

Повышение эффективности влагонакопления и поверхностной обработки почвы путем обоснования параметров и режимов работы дискового игольчатого рабочего органа.

Материалы и методы

Для определения режимов работы игольчатого диска был изготовлен экспериментальный образец дисковой бороны и проведены испытания в Черлакском районе Омской области на супесчаной почве по фонам многолетних трав. При выполнении практических исследований применялся метод композиционного планирования эксперимента [6]. В качестве оптимизируемой величины были приняты: для оценки влагонакопления – объем лунок на 1 м²; для оценки рыхления почвенного пласта – отношение площади обработанной поверхности на квадратном метре.

Результаты и обсуждение

Качество обработки почвы дисковыми орудиями зависит от множества факторов, из которых основными являются: установка рабочего органа под углом атаки относительно прямолинейного движения трактора и скорость движения агрегата. Угол атаки влияет на качество рыхления почвы и ширину захвата орудия, при его увеличении наблюдается лучшее рыхление почвенного пласта [5]. При малых углах атаки и большой скорости происходит процесс выполнения лунок в почве, что способствует влагонакоплению.

На основании выполненного анализа существующих технических решений и предыдущих исследований для повышения качества обработки почвы в эрозионно-опасных зонах было предложено новое техническое решение и получен патент на полезную модель «Почвообрабатывающее орудие с игольчатыми дисками» [7].

Игольчатый рабочий орган почвообрабатывающего орудия (рис. 1, а) предназначен, для поверхностной обработки почвы, разрушения уплотненной почвенной корки, выполнения лунок на поверхности поля с целью увеличения влагонакопления. Игольчатый диск состоит из ступицы 1 с закрепленными на ней иглами 2. Каждая игла выполнена изменяющейся формы, первая часть иглы от основания выполнена квадратной формы, вторая половина – пирамидальной формы с вершиной на конце иглы.

Рабочий орган почвообрабатывающего орудия работает следующим образом. В начале движения агрегата по полю машинист-тракторист переводит рабочий орган

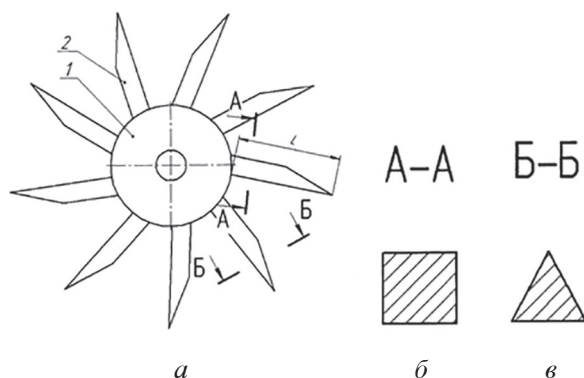


Рис. 1. Экспериментальный игольчатый диск (а):
б – сечение А–А; в – сечение Б–Б

почвообрабатывающего орудия в рабочее положение. Рабочие органы почвообрабатывающего орудия под действием веса заглубляются в почву до заданного значения глубины, выставленного при помощи опорных колес.

Игольчатый диск почвообрабатывающего орудия может использоваться в активном или пассивном режиме. Применения активного режима осуществляется на тяжелых почвах. При использовании рабочего органа почвообрабатывающего орудия в активном режиме он устанавливается таким образом, что вращение происходит по ходу часовой стрелки. Глубину обработки почвы ограничивают до $\frac{3}{4}$ длины иглы, чтобы работали все грани иглы.

Для определения оптимальных показателей режимов работы игольчатого диска [7] были изготовлены экспериментальные образцы и проведены испытания в Черлакском районе Омской области на супесчаной почве твердостью 14,5 кПа (рис. 2), по фону многолетних трав, таких как костреч безостый и люцерна (рис. 3).

При выполнении практических исследований применялся метод композиционного планирования эксперимента [6]. В качестве оптимизируемой величины были приняты: для оценки влагонакопления – объем лунок на 1 м²; для оценки рыхления почвенного пласта – отношение площади обработанной поверхности к 1 м².

Испытания проводились на машинотракторном агрегате, состоящем из трактора Т-40 и лабораторной бороны, оборудованной игольчатыми дисковыми рабочими органами (рис. 4) [7].

Показатели режимов работы, оказывающие влияние на формирование объема лунок на 1 м², являются скорость движения агрегата (V) и угол установки (α) рабочих органов – игольчатых дисков. При исследовании влияния факторов были выбраны пределы варьирования: скорость движения агрегата – 5...9 км/ч, угол установки рабочих органов – 0...16°.

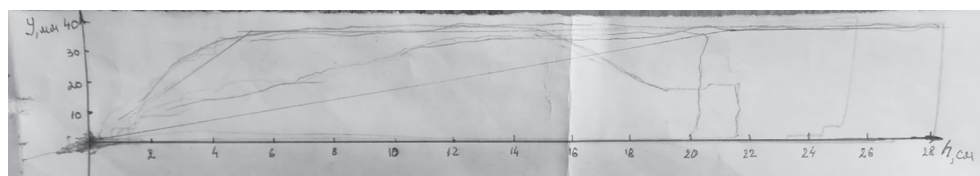


Рис. 2. Твердограмма почвы поля в Черлакском районе Омской области

Применение пассивного режима предназначено для обработки легких почв и почв, подверженных дефляционным процессам. В пассивном режиме рабочий орган почвообрабатывающего орудия установлен таким образом, что вращение игольчатых дисков происходит против часовой стрелки.

Глубину обработки почвы ограничивают до $\frac{1}{2}$ длины иглы для того, чтобы в большей степени работали ребра игл.

Для обоснования режимов работы орудия (скорость движения агрегата и угол атаки) необходимо выполнить практические испытания и определить качественные показатели (влагонакопления и крошение почвенного пласта).



Рис. 3. Общий вид агрофона поля многолетних трав



Рис. 4. Машинотракторный агрегат (трактор Т-40 и лабораторная установка)

Величину объема лунок на 1 м² определяли замером рамкой 0,25×0,25 м² и пересчитывали на 1 м². Среднее число лунок при разных параметрах скорости и угла атаки остается постоянным: 64 шт./м². Объем одной лунки рассчитывался по выполненным замерам ширины, длины и глубины лунки. При проведении опыта при значении угла атаки 0° объем лунки рассчитывается из рис. 5 по формуле:

$$V = S \cdot b, \quad (1)$$

где b – ширина лунки; S – площадь сегмента, ограниченного хордой:

$$S = \frac{1}{2[r \cdot l - c(r - h)]}, \quad (2)$$

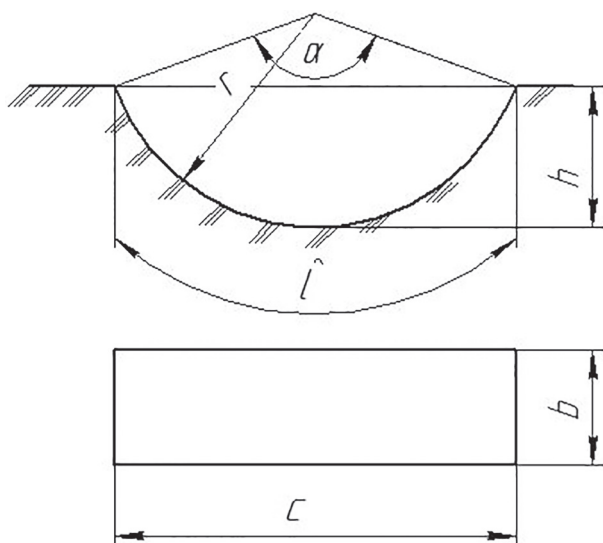


Рис. 5. Расчетная схема объема лунки при значении угла атаки 0°:

r – радиус; α – угол; l – длина дуги; h – глубина; c – длина; b – ширина лунки

где r – радиус окружности:

$$r = \frac{c^2 + 4h^2}{8h}, \quad (3)$$

где c – длина лунки; h – глубина лунки; l – длина дуги:

$$l = r \cdot \alpha, \quad (4)$$

где α – образующий угол дуги:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{2r^2 - c^2}{2r^2}\right). \quad (5)$$

Выполнив подстановку замеренных значений величин в формулы (1)–(5), получим значение объема лунки, а следовательно, и объема лунок на 1 м².

В случае установки угла атаки более 0° объем лунки рассчитывается из рис. 6 по формуле:

$$V = \frac{1}{6} b \cdot l \cdot h, \quad (6)$$

где h – глубина, b – ширина, l – длина.

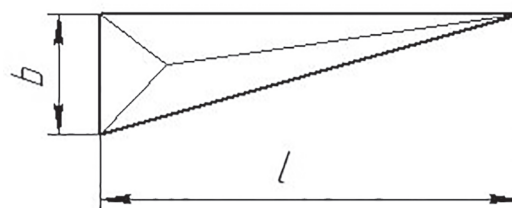
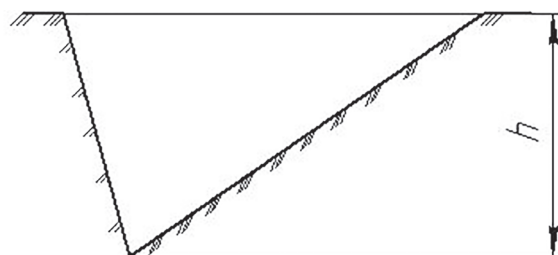


Рис. 6. Расчетная схема объема лунки при значении угла атаки, отличного от 0°

Для определения оптимальных параметров, согласно методу композиционного планирования эксперимента, получим уравнения с натуральными величинами (7) и (8) и построим поверхности отклика (рис. 7, 8).

$$Y(V, \alpha) = 235,97 \cdot V - 16,86 \cdot V^2 + 3,14 \cdot \alpha^2 - 60,86 \cdot \alpha + 1122,08,$$

$$Y(V, \alpha) = 235,97 \cdot V - 16,86 \cdot V^2 + 3,14 \cdot \alpha^2 - 60,86 \cdot \alpha + 1122,08, \quad (7)$$

$$Y(V, \alpha) = 1,28 \cdot V + 0,96 \cdot \alpha - 0,97. \quad (8)$$

При анализе поверхностей отклика (рис. 7 и 8) выявлены оптимальные параметры:

- для влагонакопления: угол атаки, равный 0° , а скорость движения агрегата – 7 км/ч;
- для рыхления: угол атаки, равный 16° , а скорость движения агрегата – 9 км/ч (рис. 9, а).

Оптимальным параметром для влагонакопления и рыхления почвы будет являться угол атаки 4° и скорость движения агрегата – 7 км/ч. При таких технических параметрах будет происходить не только накопление влаги, но и качественная поверхностная обработка почвы (рис. 9, б).

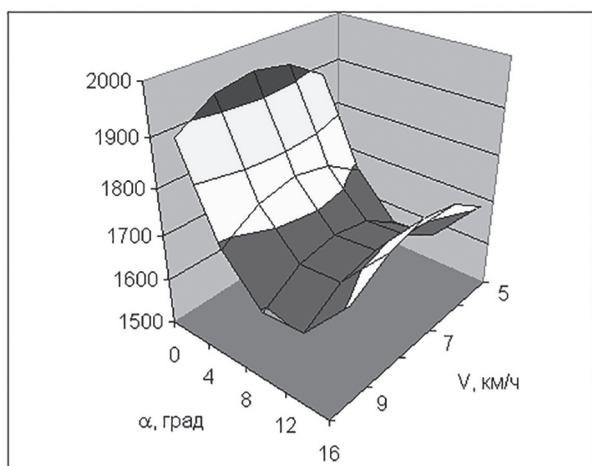


Рис. 7. Поверхность отклика объема лунок на 1 м²:
α – угол атаки; V – скорость движения агрегата

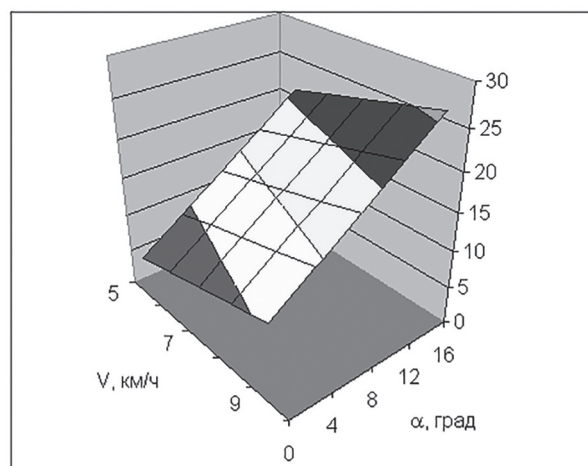


Рис. 8. Поверхность отклика качества рыхления почвенного пласта:
α – угол атаки; V – скорость движения агрегата



а



б

Рис. 9. Результаты обработки поля:
а – максимальные параметры для рыхления почвы;
б – оптимальные параметры для влагонакопления и рыхления почвы

Заключение

В результате практических исследований, согласно матрице ортогонального планирования, были выполнены исследования по оценки влагонакопления и качества рыхления почвенного пласта. Для супесчаной почвы твердостью 14,5 кПа с агрофоном многолетних трав, таких как костреч безостый и люцерна, были получены уравнения регрессии влагонакопления и качества рыхления, на основе чего выявлены оптимальные параметры: для влагонакопления – угол атаки, равный 0° , а скорость движения агрегата – 7 км/ч; для рыхления – угол атаки, равный 16° , а скорость движения агрегата – 9 км/ч.

При таких технических параметрах будет происходить комплексная обработка почвы с накоплением влаги и качественным рыхлением поверхностного пласта почвы.

Литература

1. Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия. М.: Колос, 1996. 367 с.
2. Абрамов Н.В., Ершов В.Л., Ионин П.Ф. и др. Земледелие Западной Сибири. Тюмень: Изд-во ТГСХА, 2009. 348 с.
3. Шмидт А.Н., Кем А.А. Применение игольчатых борон в ресурсосберегающих технологиях // Актуальные проблемы научного обеспечения земледелия Западной Сибири: сборник науч. статей, посвященный 70 летию академика РАН Храмова И.Ф., 95-летию основания отдела земледелия ФГБНУ «Омский АНЦ»; ФГБНУ «Омский АНЦ». Омск: изд-во ИП Макшеевой Е.А., 2020. С. 170–176.
4. Шмидт А.Н., Кузьмин Д.Е., Мяло В.В., Союнов А.С. Особенности ранневесеннего влагосбережения // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2019. № 1 (33). С. 162–167.
5. Кем А.А., Шевченко А.П., Бегунов М.А., Коваль В.С. Экспериментальные исследования взаимодействия рабочих органов игольчатого диска с растительными остатками // Вестник Омского государственного университета 2019. № 1. С. 134–141.
6. Гайдадин А.Н., Ефремова С.А. Использование метода композиционного планирования эксперимента для описания технологических процессов: метод. указания; ВолгГТУ. Волгоград, 2008. 16 с.
7. Союнов А.С., Зарипова Н.А., Шмидт А.Н. Почвообрабатывающее орудие с игольчатыми дисками: патент на полезную модель № 185828 РФ; опубл. 19.12.2018, Бюл. № 35.
8. [Siberia]. Tyumen': Izd-vo TGSKHA Publ., 2009. 348 p.
9. Shmidt A.N., Kem A.A. Application of needle harrows in resource-saving technologies. Aktual'n-yye problemy nauchnogo obespecheniya zemledeliya Zapadnoy Sibiri: sbornik nauch. Statey posvyashchenny 70 letiyu akademika RAN Khramtsova I.F., 95 letiyu osnovaniya otdela zemledeliya FGBNU «Omskiy ANTS» [Actual Problems of Scientific Support of Agriculture in Western Siberia: Collection of Scientific Articles dedicated to the 70th Anniversary of the Academician of the Russian Academy of Sciences Ivan F. Khramtsov, the 95th Anniversary of the founding of the Department of Agriculture of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Omsk Agricultural Scientific Center"], FGBNU «Omskiy ANTS», Omsk; izd-vo IP Maksheyevoy Ye.A., 2020, pp. 170–176 (in Russ.).
10. Shmidt A.N., Kuz'min D.E., Myalo V.V., Soyunov A.S. Features of early spring moisture conservation. Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019. No 1 (33), pp. 162–167 (in Russ.).
11. Kem A.A., Shevchenko A.P., Begunov M.A., Koval' V.S. Experimental studies of the interaction of the working bodies of the needle disc with plant residues. Vestnik Omskogo gosudarstvennogo universiteta 2019. No 1, pp. 134–141 (in Russ.).
12. Gaydadin A.N., Yefremova S.A. Ispol'zovaniye metoda kompozitsionnogo planirovaniya eksperimenta dlya opisaniya tekhnologicheskikh protsessov [Using the method of compositional planning of an experiment to describe technological processes]: metod. ukazaniya; VolGGTU Publ.. Volgograd, 2008. 16 p.
13. Soyunov A.S., Zaripova N.A., Shmidt A.N. Pochvoobrabatyvayushcheye orudiye s igol'chatymi diskami [Tillage implement with needle discs]: patent na poleznuyu model' No 185828 RF; opubl. 19.12.2018, Byul. No 35.

References

1. Kiryushin V.I. Ekologicheskiye osnovy zemledeliya [Ecological foundations of agriculture]. Moscow: Kolos Publ., 1996. 367 p.
2. Abramov N.V., Yershov V.L., Ionin P.F. i dr. Zemledeliye Zapadnoy Sibiri [Agriculture in Western

«ТОЧКА МОРАЛЬНОГО СТАРЕНИЯ» СЛОЖНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

THE POINT OF OBSOLESCENCE OF COMPLEX AGRICULTURAL MACHINERY

Д.Г. МЕЛЬНИКОВ¹
Ю.А. ЦАРЕВ², д.т.н.
Е.Ю. АДАМЧУКОВА²

¹ Апшеронский механический завод, Апшеронск, Россия,

² Донской государственный технический университет
(ДГТУ), Ростов-на-Дону, Россия, ycarev@donstu.ru,
carevJA@yandex.ru

D.G. MEL'NIKOV¹
YU.A. TSAREV², DSc in Engineering
YE.YU. ADAMCHUKOVA²

¹ Absheron Mechanical Plant, Apsheronsk, Russia

² Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia,
ycarev@donstu.ru, carevJA@yandex.ru

Перед каждым сельхозпроизводителем всегда стоит ряд проблем: как долго следует эксплуатировать сложную сельскохозяйственную технику, когда приобретать новую или кардинальная – когда следует переходить на новое направление бизнеса. В статье показано решение вышеуказанных проблем на примере уборки озимой пшеницы самоходным зерноуборочным комбайном четвертого класса. Принято, что сельхозпроизводитель приобрел зерноуборочный комбайн, осуществив капитальные затраты на сумму 5 млн руб. Кроме того, ежегодно он несет текущие затраты, связанные с эксплуатацией комбайна: на горюче-смазочные материалы, заработную плату механизаторов, ремонт и техническое обслуживание, запасные части, возделывание и уборку зерна, налоги и др., которые суммируются по годам. По инструкциям, уже после пятого года эксплуатации зерноуборочный комбайн требует капитального ремонта, также с течением времени растут затраты на его ремонт и обслуживание. Прибыль сельхозпроизводителя формируется как разность доходов от реализации зерна и затрат. В процессе эксплуатации производительность зерноуборочного комбайна снижается, и в какой-то момент его эксплуатация становится убыточной. Это и есть «точка морального старения» машины, когда сельхозпроизводитель должен решать: приобретать новый комбайн или менять направление своего бизнеса.

Ключевые слова: зерноуборочный комбайн, озимая пшеница, эксплуатация, затраты, реализация, прибыль.

Each agricultural producer is always faced with the problem of how long complex agricultural equipment should be used, when it will be the need to buy a new one, or in general, when the need is to switch to a new direction. Complex agricultural machinery is expensive, maintenance and repairs of it are expensive as well, and our market economy is unpredictable. The solution to this problem is considered on the example of winter wheat harvesting with a self-propelled fourth-class combine harvester. The following theoretical prerequisite for solving the abovementioned problem is proposed. An agricultural producer purchased a combine harvester for 5 million rubles, and then the costs associated with its operation are summed up over the years: for fuels and lubricants, wages for machine operators, costs for repair and maintenance of the combine, costs for spare parts, cultivation and grain harvesting, taxes, etc. After the fifth year of operation already, according to the instructions, the combine harvester requires overhaul, and the costs of repair and maintenance are growing over time. The profit of an agricultural producer is formed as the difference between costs of the sale of grain. Over time, the productivity of the combine harvester decreases and at some point the operation of the combine becomes unprofitable; this is the point of obsolescence of the machine, when the agricultural producer must decide either to buy a new harvester or to change his business.

Keywords: combine harvester, winter wheat, operation, costs, sales, profit.

Введение

Перед каждым сельхозпроизводителем всегда стоит ряд проблем: как долго следует эксплуатировать сложную сельскохозяйственную технику, когда приобретать новую или, вообще, следует переходить на новое направление бизнеса. Сложная сельскохозяйственная техника стоит дорого, обслуживание и ремонт также существенны, наша рыночная экономика полна неожиданностей и непредсказуема, Леонтьева В.В. мы не изучали и не слушали в 90-е годы [1, 2].

Цель исследований

Разработка теоретических предпосылок оценки «точки морального старения» сельскохозяйственной техники.

Материалы и методы

Рассмотрим решение обозначенной проблемы на примере уборки зерновых культур. Будем исходить из того, что у вас уже есть 120–150 га озимой пшеницы, поскольку для сельхозпроизводителя это нормативный диапазон годовой эксплуатации одного зерноуборочного комбайна (но для разных климатических зон (регионов) России). Годовой срок эксплуатации для зерноуборочных комбайнов тоже имеет свой норматив, который равен 21 дню. Количество дней уборки зерновых составляет от 7 до 10 (при нормативных биологических потерях зерна пшеницы на поле до 7–8 %, хотя на поле реально теряется до 15 % от выращенного урожая), при сменном времени 8–12 часов, также в зависимости от климатической зоны. Для зерноуборочных комбайнов определен и годовой срок эксплуатации на зерне – 300–360 моточасов, или 200–230 часов, и полный – до 10–12 лет [3].

Выбор зерноуборочного комбайна по пропускной способности (следовательно, и по цене) зависит от средней урожайности пшеницы и данной климатической зоны [4]. В настоящее время определено 6 классов комбайнов по пропускной способности: первый класс – это селекционные, как правило, прицепные зерноуборочные комбайны; второй класс – комбайны для фермеров, пропускной способности 3 кг/с (их когда-то выпускал Таганрогский комбайновый завод); третий класс – комбайны 5 кг/с (известный комбайн «Нива» завода «Ростсельмаш»); четвертый класс – комбайны 6 кг/с (комбайны «Дон-1200»

и «Вектор» завода «Ростсельмаш»); пятый класс – комбайны 8 кг/с (это «Дон-1500Б» и «Акрос» завода «Ростсельмаш»); шестой класс – комбайны пропускной способности свыше 10 кг/с (как правило, это роторные комбайны, например, «Торум» завода «Ростсельмаш» и др.). Рекомендации выбора комбайнов по классу и естественно цене для средней урожайности приведены в табл. 1.

Таблица 1

Рекомендации по использованию комбайнов

Средняя урожайность пшеницы, ц/га	Класс зерноуборочного комбайна
10–25	2
10–35	3
20–45	4
20–50	5
свыше 50	6

Надо сразу отметить массу нестыковок в технических условиях и инструкциях по эксплуатации на зерноуборочные комбайны с нормативными документами в части отдельных сроков и условий, поскольку зерноуборочный комбайн универсален, что подразумевает прямое и раздельное комбайнирование, на разных культурах, в разной комплектации, в самых неподходящих климатических условиях (зонах). Так, например, норматив в 120–150 га, в отдельных зонах перекрывается в 2–3 раза сменное время может быть и 24 часа, комбайны могут использоваться без учета средней урожайности и на разных культурах.

Однако, несмотря на массу разных сложностей, перед сельхозпроизводителем всегда стоит одна из важных задач: до каких пор можно эксплуатировать зерноуборочный комбайн и когда следует приобретать новый. Предлагается следующая теоретическая предпосылка решения указанной выше задачи (рис. 1).

Кривая затрат учитывает, например, что сельхозпроизводитель приобрел зерноуборочный комбайн за 5 млн руб., далее по годам суммируются затраты связанные с его эксплуатацией: на горюче-смазочные материалы, заработную плату механизаторов, на ремонт и техническое обслуживание комбайна, на запасные части, налоги и др. По инструкциям, уже после пятого года эксплуатации зерноуборочный комбайн требует капитального ремонта, растут с течением времени и затраты на ремонт и обслуживание. Кривая реализа-

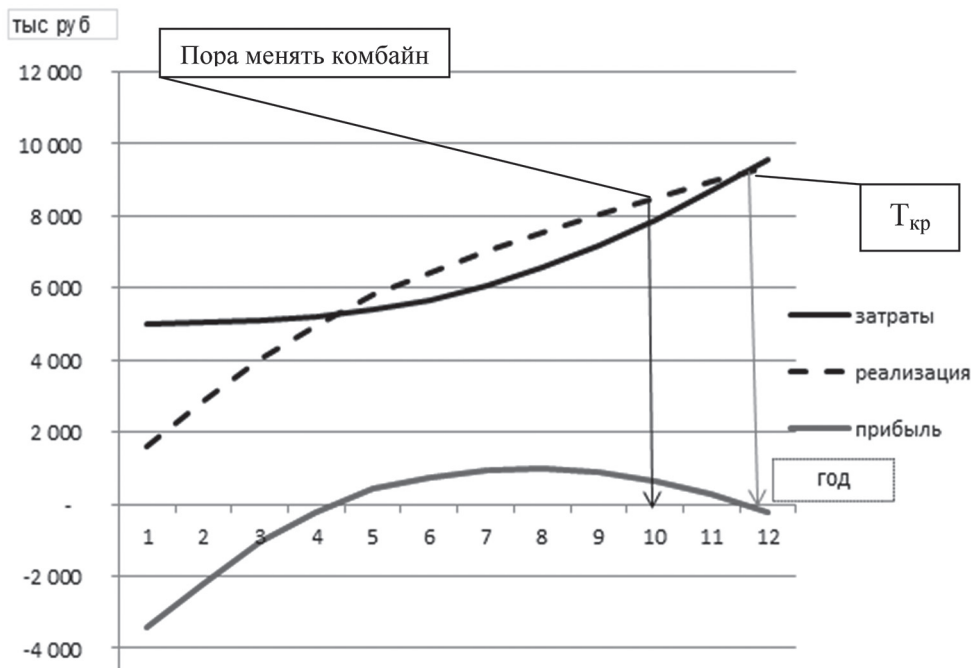


Рис. 1. Теоретическая «точка морального старения» комбайна, и когда надо его менять

пии учитывает, например, доход от продажи зерна за вычетом затрат на его возделывание и уборку (это посевные работы по возделыванию пшеницы на установленных гектарах, приобретение посевной техники и др.). С течением времени производительность зерноуборочного комбайна снижается и в какой-то момент его эксплуатация становится убыточной. Назовем это «точкой морального старения» машины.

При этом возрастание эксплуатационных затрат обуславливается физическим износом комбайна, вызывающим необходимость увеличения ремонтно-восстановительных работ, замены изношенных деталей и сборочных единиц, более частых регулировок и наладок и др.

«Точка морального старения» для зерноуборочного комбайна может определяться величиной прибыли – разностью дохода, получаемого от реализации зерна, и затратами на его производство.

Из рис. 1 видно, что эффективность использования зерноуборочного комбайна определяется величиной прибыли – разности дохода от реализации от продажи зерна сельхозпроизводителя и эксплуатационных затрат на комбайн. Очевидно, с течением времени эта отрицательная разность должна сокращаться, затем она становится положительной, но с некоторого критического момента $T_{кр}$ («точки

морального старения») эксплуатация комбайна опять становится убыточной. Сельхозпроизводителю до этой «точки» доходить нельзя, и, начиная с некоторого момента снижения прибыли, следует приобретать новые комбайны (сельскохозяйственную технику), а старый сдать на металлолом, использовать на запчасти, или вообще менять направление своего бизнеса. Из теоретических предпосылок следует, что, начиная с 4-го года, выращивание зерновых дает прибыль, после 8-го года прибыль снижается, а после 12-го года вообще становится убыточным, т.е. на 11-м году, а может быть и раньше, сельхозпроизводителю следует принимать какое-то решение.

Результаты и обсуждение

Ниже приводится баланс, из которого можно решить задачу по расчету экономической эффективности использования зерноуборочного комбайна (сельскохозяйственной техники) на выращивании зерновых культур по данным табл. 2.

Приведем расчет эффективности использования зерноуборочного комбайна «Вектор» при его цене в 5 млн руб. на уборке озимой продовольственной пшеницы в Ростовской области [5]:

$$Z_1 = 0,18 P_4 P_5 = 364500 \text{ руб.}$$

$$P_3 = 0,125 P_1 P_2 = 50,6 \text{ т}$$

$$Z_2 = 0,22 P_4 P_6 = 389840 \text{ руб.}$$

$$P_5 = P_1 P_2 = 405 \text{ т}$$

$$Z_3 = 0,2 P_4 P_6 = 354380 \text{ руб.}$$

$$P_6 = P_5 - P_3 = 354,4 \text{ т}$$

$$Z_4 = Z_1 + Z_2 = 754340 \text{ руб.}$$

$$P_7 = P_4 P_6 = 1772000 \text{ руб.}$$

$$Z_5 = Z_3 + Z_4 = 1108720 \text{ руб.}$$

$$\Pi = P_7 - Z_5 = 663280 \text{ руб.}$$

Однако в расчетах прибыли Π не учитываются ежегодные затраты, связанные с ремонтом и техническим обслуживанием комбайна, а также снижение, с течением времени, его производительности (табл. 3). На техническое обслуживание и ремонт комбайна по годам брался процент от стоимости комбайна в 5 млн руб. На снижение производительности комбайна также брался процент от стоимости комбайна.

На рис. 2 представлен график изменения прибыли от эксплуатации зерноуборочного комбайна на протяжении 14 лет при выполнении требований нормативно-технической документации. Из расчетов следует, что до 8-го года эксплуатация комбайна в заданных условиях убыточна, далее до 13-го года – прибыльна, а «точка морального старения» приходится на 13-й год эксплуатации.

Выводы

Приобретая зерноуборочный комбайн, сельхозпроизводителю необходимо ориентироваться на: урожайность, культуру, зону (регион), четко вести учет и контроль за расходами и доходами, и тогда он сможет определить, когда приобретать новый комбайн. При этом следует помнить, что и за два года эксплуатации зерноуборочный комбайн может полностью выйти

Таблица 2

Ежегодный баланс для расчета «Точки морального старения» зерноуборочного комбайна

Затраты $З_5$, руб.			Реализация						
Возделывание $З_4$		Уборка	Посевная площадь P_1 , га	Урожай- ность P_2 , т/га	Потери зерна на поле P_3 , т	Цена зерна P_4 , руб./т	Выраше- но зерна P_5 , т	Бункер- ное зерно P_6 , т	Доход P_7 , руб.
Семена $З_1$	Удобрение $З_2$	Оплата рабочих $З_3$							
364500	389840	354380							
754340									
1108720									
П (прибыль) = $P_7 - З_5 = 663280$ руб.									

Таблица 3

Изменение прибыли от эксплуатации зерноуборочного комбайна по годам (дополнительные затраты)

Год	Прибыль, руб.	Ремонт и ТО, %	Снижение производительности, %
1	-4 336 720,00	0	0
2	-3 673 440,00	0	0
3	-3 060 160,00	0,01	0
4	-2 446 880,00	0,01	0
5	-1 883 600,00	0,02	0
6	-1 270 320,00	0,01	0
7	-657 040,00	0,01	0
8	-50 392,80	0,01	0,01
9	556 254,40	0,01	0,01
10	812 901,60	0,08	0,01
11	1 019 548,80	0,09	0,01
12	676 196,00	0,2	0,01
13	326 210,40	0,2	0,02
14	-630 408,00	0,32	0,03

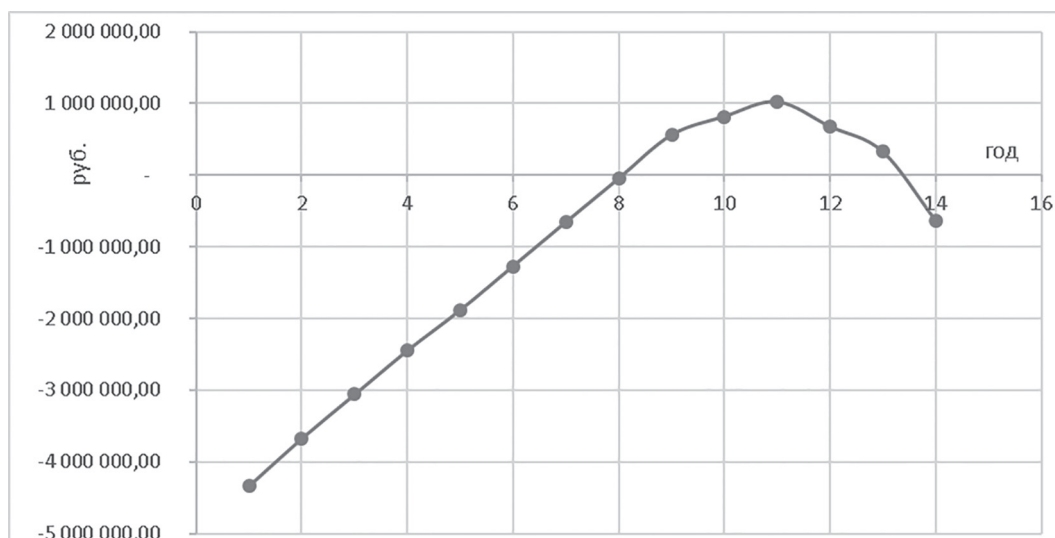


Рис. 2. Изменение прибыли от эксплуатации комбайна по годам, руб.

из строя, впрочем как и любая другая сельскохозяйственная техника.

Литература

1. Леонтьев В. и др. Исследования структуры американской экономики = Studies in the Structure of the American Economy (1953), пер. с англ. А.С. Игнатъева под ред. А.А. Конюса. М.: Госстатиздат, 1958. 640 с.
2. Межотраслевой баланс – история и перспективы (доклады, статьи и материалы): Международная научно-практическая конференция, Москва, 15 апреля 2010 г. М.: ГУ «Институт макроэкономических исследований», 2011. 225 с.
3. ГОСТ 28301-2015 Комбайны зерноуборочные. Методы испытаний.
4. Жалнин Э.В., Мнацаканов А.С. Структура комбайнового парка для уборки зерновых культур // Сборник научных трудов. Интенсификация процессов уборки зерновых культур. М.: ВИМ. Т. 113, 1987
5. Проект Тасис FDRUS 9407 / Tacis FD RUS 9601 – Establishment of an Input/Output Trader Network; подготовлено Ю. Бенингом и Б. Гаврландом в ноябре 1995.

References

1. Leont'yev V. i dr. Issledovaniya struktury amerikanskoy ekonomiki [Studies in the Structure of the American Economy (1953)] Per. s angl. A.S. Ignat'yeva pod red. A.A. Konyusa. Moscow: Gosstatizdat Publ., 1958. 640 p.
2. Mezhotraslevoy balans – istoriya i perspektivy (doklady, stat'i i materialy) [Interindustry balance – history and prospects (reports, articles and materials)]. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, Moscow, 15 aprelya 2010 g. Moscow: GU «Institut makroekonomicheskikh issledovaniy», 2011. 225 p.
3. GOST 28301-2015 Combine harvesters. Test methods.
4. Zhalnin E.V., Mnatsakanov A.S. The structure of the combine machinery for harvesting grain crops. Sbornik nauchnykh trudov. Intensifikatsiya protsessov uborki zernovykh kul'tur [Collection of Scientific Papers. Intensification of Grain Harvesting Processes]. Moscow: VIM Publ. Vol. 113, 1987. (in Russ.).
5. Proyekt Tasis FDRUS 9407/ Tacis FD RUS 9601 – Establishment of an Input/Output Trader Network. Podgotovleno Yu. Beningom i B. Gavrlandom v noyabre 1995.