

Сельскохозяйственные Машины и Технологии

AGRICULTURAL MACHINERY AND TECHNOLOGIES

Том 12 №2 2018

Vol. 12 №2 2018

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

SCIENTIFIC-THEORETICAL JOURNAL

ТЕХНИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ
TECHNICAL LEVEL OF COMBINE HARVESTERS

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ СУШКИ ЗЕРНА
ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES OF GRAIN DRYING

СИЛОВЫЕ НАГРУЗКИ В МЕХАНИЗМАХ ТРАКТОРОВ
POWER LOADS IN THE MECHANISMS OF TRACTORS





ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
ЦЕНТР



Сельскохозяйственные МАШИНЫ и ТЕХНОЛОГИИ

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ АГРОИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР ВИМ»

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Журнал зарегистрирован
Федеральной службой по надзору
в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций
(РОСКОМНАДЗОР)
Свидетельство ПИ № ФС77-68608
от 3 февраля 2017 г.

Журнал включен
в Российский индекс
научного цитирования (РИНЦ)

Полные тексты статей
размещены на сайте электронной
научной библиотеки: <http://elibrary.ru>

Охраняется законом РФ №5351-1
«Об авторском праве и смежных правах»
от 9 июля 1993 года. Контент распростра-
няется под лицензией Creative Commons
Attribution 4.0 License. Нарушение закона
будет преследоваться в судебном порядке.

НАД НОМЕРОМ РАБОТАЛИ:

Т.И. Лошкарева,
В.В. Бижаев,
Р.М. Нурбагандова

АДРЕС РЕДАКЦИИ:
109428, Москва,
1-й Институтский проезд, 5
Телефоны: (499) 174-88-11
(499) 174-89-01

<http://www.vimsmit.com>
e-mail: smit@vim.ru

© ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2018

Отпечатано в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
Формат 205 x 290 мм
Подписано в печать 15.03.2018
Тираж 500 экз.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Андрей Юрьевич Измайлов

доктор технических наук, академик Российской академии наук, член Президиума Российской академии наук, директор Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, Москва, Российская Федерация

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Виктор Валентинович Альт

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, заслуженный деятель науки Российской Федерации, академик НАН Монголии, руководитель научного направления Сибирского физи-ко-технического института аграрных проблем, г. Новосибирск, Российская Федерация

Христо Иванов Белоев

доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Болгарской академии наук, Русенский университет, г. Русе, Республика Болгария

Михаил Никитиевич Ерохин

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация

Юрий Анатольевич Иванов

доктор сельскохозяйственных наук, академик Российской академии наук, директор Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства, г. Подольск, Российская Федерация

Иван Михайлович Куликов

доктор экономических наук, профессор, академик Российской академии наук, директор Всероссийского селекционно-технологического института садоводства и питомниководства, Москва, Российская Федерация

Яков Петрович Лобачевский

доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, первый заместитель директора Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, Москва, Российская Федерация

Юрий Федорович Лачуга

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, академик-секретарь Отделения сельскохозяйственных наук Российской академии наук, Москва, Российская Федерация

Антонин Махалек

доктор технических наук, директор Научно-исследовательского института сельскохозяйственной техники, г. Прага, Чешская Республика

Тадеуш Павловски

доктор технических наук, профессор, директор Промышленного института сельскохозяйственной техники, г. Познань, Республика Польша

Владимир Дмитриевич Попов

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, руководитель научного направления Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Жарылкасын Сарсембекович Садыков

доктор технических наук, профессор, директор Научно-исследовательского института агроинженерных проблем и новых технологий Казахского национального агроуниверситета, г. Алматы, Республика Казахстан

Дмитрий Семенович Стребков

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Юлия Сергеевна Ценч

кандидат педагогических наук, доцент, начальник отдела образования, научно-технической информации и редакционно-издательской деятельности Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, Москва, Российская Федерация

Вячеслав Иванович Черноиванов

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Сергей Григорьевич Яковчик

кандидат сельскохозяйственных наук, Генеральный директор Научно-практического центра Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства, г. Минск, Республика Беларусь



SCIENTIFIC-THEORETICAL
JOURNAL

The journal is registered by
Federal Agency of supervision of
legislation observance of mass
communications sphere and
cultural heritage protection
Certificate ПИ № ФС77-68608
from February, 3rd, 2017

The journal is included in the
Russian Index of Scientific Citation
(RISC).

Full texts of articles are placed on
the website of electronic library:
elibrary.ru

Protected by the Russian Federal
Law RF №5351-1 "On author and
Related Rights" dated July 9, 1993.
Content is distributed under
Creative Commons Attribution 4.0
License. Violations are a matter for
prosecution.

THEY WORKED
WITH JOURNAL ISSUE:

Loshkareva T.I.,
Bizhaev V.V.,
Nurbagandova R.M.

EDITORS OFFICE'S ADDRESS
109428, Moscow,
1st Institutskiy proezd, 5
Tel.: +7 (499) 174-88-11
+7 (499) 174-89-01

<http://www.vimsmit.com>
e-mail: smit@vim.ru

Printed by FSAC VIM
Russian Academy of Science

The format is 205 × 290 mm
Passed for printing 15.03.2018
The circulation is 500 copies

[SEL'SKOKHOZYAYSTVENNYE MASHINY I TEKHNologii]

**Founder and publisher: Federal State Budgetary Scientific Institution
«Federal Scientific Agroengineering Center VIM» of Russian Academy of Science**

EDITOR-IN-CHIEF

Andrey Yu. Izmaylov

Dr. Sc. (Eng.), academician of the Russian Academy of Sciences, member of the Bureau of the Russian Academy of Sciences, director of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

EDITORIAL BOARD

Viktor V. Al't

Dr. Sc. (Eng.), professor, academician of the Russian Academy of Sciences, Honoured scientist of the RF, academician of NAS of Mongolia, head of scientific division of Siberian Institute of Physics and Technology of Agrarian Problems, Novosibirsk, Russian Federation

Khristo I. Beloev

Dr. Sc. (Eng.), professor, corresponding member of the Bulgarian Academy of Sciences, University of Ruse, Republic of Bulgaria

Mikhail N. Erokhin

Dr. Sc. (Eng.), professor, academician of the Russian Academy of Sciences, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Yuriy A. Ivanov

Dr. Sc. (Agr.), academician of the Russian Academy of Sciences; director of the All Russian Scientific and Research Institute of Livestock Mechanization, Podolsk, Russian Federation

Ivan M. Kulikov

Dr. Sc. (Economics), professor, member of the Russian Academy of Sciences, director of the All Russian Horticultural Institute for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Moscow, Russian Federation

Yakov P. Lobachevskiy

Dr. Sc. (Eng.), professor, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, first deputy director of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Yuriy F. Lachuga

Dr. Sc. (Eng.), professor, academician of the Russian Academy of Sciences, academician secretary of Department of Agricultural Sciences at the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Antonin Makhalek

Dr. Sc. (Eng.), director of the Agricultural Machinery Research Institute, Prague, Czech Republic

Tadeush Pavlovsky

Dr. Sc. (Eng.), professor, director of the Industrial Institute of Agricultural Machines, Poznan, Poland

Vladimir D. Popov

Dr. Sc. (Eng.), professor, academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Research Direction of the Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production, St. Petersburg, Russian Federation

Zharylkasyn S. Sadykov

Dr. Sc. (Eng.), professor, director of Research Institute of Agroengineering Problems and New Technologies, Kazakh National Agrarian University, Almaty, Republic of Kazakhstan

Dmitriy S. Strebkov

Dr. Sc. (Eng.), professor, academician of the Russian Academy of Sciences, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Yulia S. Tsench

PhD (Ped.), associate professor, head of publishing activity, education and technical information Department of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Vyacheslav I. Chernoiyanov

Dr. Sc. (Eng.), professor, academician of the Russian Academy of Sciences, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Sergey G. Yakovchik

PhD (Agri.), general director of the Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization, Minsk, Republic of Belarus

**НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ**

Жалнин Э.В., Ценч Ю.С., Пьянов В.С.
Методика анализа технического уровня зерноуборочных комбайнов по функциональным и конструктивным параметрам. . . .4

Голубкович А.В., Лукин И.Д.
Периодическая сушка зерна повышенной влажности9

ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Забродин В.П., Бутенко А.Ф., Суханова М.В., Чепцов С.М.
Исследование ударного воздействия механического устройства на семена озимой пшеницы.14

ТЕХНИКА ДЛЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА

Гришин А.П., Гришин А.А., Гришин В.А.
Результаты исследований влияния биоэнергетических факторов на повышение урожайности в растениеводстве19

ОБРАБОТКА ПОЧВЫ

Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И.
Оптимальный профиль передней поверхности чизельного рабочего органа26

СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

Умаров Р.Д., Магомедов Ф.М., Меликов И.М., Салатова Д.А., Сенькевич С.Е.
Широкозахватный опрыскиватель с гибким отводом и летательными аппаратами для обработки посевов риса. . . .31

МОБИЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Шило И.Н., Романюк Н.Н., Орда А.Н., Нукешев С.О.
Влияние распределения нагрузки по осям машинно-тракторных агрегатов на глубину следа38

Ахметов А.А., Усманов И.И.
Силовые нагрузки, действующие в кинематических парах механизма изменения базы трактора44

NEW TECHNICS AND TECHNOLOGIES

Zhalnin E.V., Tsench Yu.S., P'yarov V.S.
Analysis method of combine harvesters technical level by functional and structural parameters4

Golubkovich A.V., Lukin I.D.
High humidity grain periodic drying9

DEVICES AND EQUIPMENT

Zabrodin V.P., Butenko A.F., Sukhanova M.V., Cheptsov S.M.
Research of impact by mechanical device on winter wheat seeds.14

MACHINERY FOR PLANT GROWING

Grishin A.P., Grishin A.A., Grishin V.A.
Results of researches of influence of bioenergy factors in higher yields in crop production19

SOIL CULTIVATION

Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I.
Optimum profile of chisel front surface26

PLANT PROTECTION TECHNICS

Umarov R.D., Magomedov F.M., Melikov B.V., Salatova D.A., Senkevich S.E.
The wide-coverage sprinkler with the flexible tap and flying machines for the rice sowing.31

MOBILE ENERGY

Shilo I.N., Romanyuk N.N., Orda A.N., Nukeshev S.O.
The influence of load distribution on the axles of tractor units to a depth of a trace38

Akhmetov A.A., Usmanov I.I.
The power load on kinematic pairs of variable base mechanism of tractor44

Методика анализа технического уровня зерноуборочных комбайнов по функциональным и конструктивным параметрам

Эдуард Викторович Жалнин, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, e-mail: vim@vim.ru, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;
Юлия Сергеевна Ценч, кандидат педагогических наук, руководитель отдела, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;
Виктор Сергеевич Пьянов, доктор технических наук, профессор, доцент, Ставропольский государственный агроуниверситет, г. Ставрополь, Российская Федерация

В ходе анализа современных методов оценки технического уровня зерноуборочных комбайнов выявлено расхождение по различным критериям: конструктивным параметрам, безразмерным сериям, названиям фирм, мощности двигателя, ширине захвата жатки, пропускной способности, по месту расположения завода-изготовителя, рекламным брендам. (*Цель исследований*) Разработать новую методику классификации комбайнов с учетом российского исторического опыта и зарубежной практики. Показать, что разнообразие в наименовании моделей комбайнов значительно затрудняет оценку их технического уровня, усложняет выбор сельхозтоваропроизводителем нужной модели, мешает преемственности поколений комбайнов, делает невозможным анализ тенденций их развития, не раскрывает технологическую сущность той или иной модели, но главное – комбайны невозможно сравнить между собой. Цифры в названии модели комбайнов не связаны функционально с главными параметрами и производительными возможностями. (*Материалы и методы*) Выявили тесную корреляционную связь в виде линейного уравнения между конструктивными параметрами и пропускной способностью комбайнов. Проверка этого уравнения в процессе эксплуатации комбайна показала, что оно статистически устойчиво и расчетные показатели всегда находятся в доверительном интервале с погрешностью 5-8 процентов. Установили, что среди многообразия факторов, влияющих на производительность комбайна в час чистого времени, наиболее тесную корреляционную связь с ней имеют четыре параметра: мощность двигателя, площади сепарации подбарабання, соломотряса и решет очистки. (*Результаты и обсуждение*) На основании выявленной корреляционной зависимости предложили новую методику оценки технического уровня комбайнов, в основу которой положены пропускная способность (кг/с) обмолачиваемого материала и размерная серия, обозначающая номинальную производительность комбайна в центнерах зерна, намолоченного за 1 ч основного времени. Сформировали методические предпосылки и математический аппарат, связывающий эти показатели с базовыми параметрами комбайна. (*Выводы*) Отметили, что предложенная методика позволяет расположить все комбайны мира в определенной иерархии по группам и сравнить между собой по производительности.

Ключевые слова: зерноуборочный комбайн, производительность, технический уровень, классификация.

Для цитирования: Жалнин Э.В., Ценч Ю.С., Пьянов В.С. Методика анализа технического уровня зерноуборочных комбайнов по функциональным и конструктивным параметрам // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №2. С. 4-8. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-2-4-8

Analysis Method of Combine Harvesters Technical Level by Functional and Structural Parameters

Eduard V. Zhalnin, Dr. Sc. (Eng.), professor, chief researcher, e-mail: vim@vim.ru, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation;
Yulia S. Tsench, PhD (Ped.), head of publishing activity, education and technical information department of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation;
Viktor S. P'yanov, Dr. Sc. (Eng.), professor, assistant professor Stavropol state agrarian University, Stavropol, Russian Federation

The analysis of modern methods of evaluation of the grain harvesters technical level revealed a discrepancy in various criteria: comparative parameters, dimensionless series, the names of firms, the power of the motor, the width of the capture of the harvester, the capacity at the location of the manufacturer plant, advertising brands. (*Purpose of research*) This led to a variety in the name of harvester models, which significantly complicates the assessment of their technical level,



complicates the choice of agricultural necessary to him fashion, does not give the perception of the continuity of the change of generations of combines, makes it impossible to analyze trends in their development, does not disclose the technological essence of a model, but - most importantly - combines can not be compared with each other. The figures in the name of the harvester model are not related functionally to the main parameters and performance capabilities. (*Materials and methods*) The close correlation in the form of a linear equation between their design parameters and the capacity of combines was revealed. Verification of this equation in the process of operation of the combine showed that it statistically stable and the estimates are always within the confidence interval with an error of 5-8 percent. It was found that four parameters of the variety of factors, that affect the performance of the harvester per hour net time, having most close correlation with it are: the motor power and the square of the separation concave, straw walkers and sieves for cleaning. (*Results and discussion*) On the basis of the revealed correlation dependence we proposed a new method of assessment of the technical level of combines, which is based on the throughput (kg/s) of the wetted material and the size series, indicating the nominal productivity of the combine in centners of grain harvested in 1 hour of basic time. The methodological background and mathematical apparatus, linking these indicators with the basic parameters of the combine, were formed. (*Conclusions*) It was noted that the application of the proposed method makes it possible to arrange all combines of the world in a certain hierarchical sequence and compare them with each other in performance.

Key words: Combine Harvester, Productivity, Technical level, Classification.

For citation: Zhalnin E.V., Tsench Yu.S., P'yanov V.S. Analysis method of combine harvesters technical level by functional and structural parameters // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tehnologii*. 2018; Vol. 12; 2: 4-8. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-2-4-8. (In Russian)

Название любого технического изделия принято сопровождать каким-либо признаком или параметром: потребляемой мощностью, производительностью, массой, габаритами [1-4]. В условиях рынка марка, бренд, название для любого товара – это опознавательный знак, короткий путь к финансовым возможностям покупателя, сокращение времени между спросом и предложением, возможность прогнозирования сельхозтоваро-производителем ожидаемого эффекта, сопоставления альтернативных вариантов, оценки состояния и перспективы развития товара как инвестиционного проекта [4, 5].

Имеется шесть наиболее популярных вариантов оценки технического уровня зерноуборочных комбайнов по следующим характеристикам:

- конструктивная серия и модификация с указанием фирмы;
- мощность двигателя (л.с.);
- ширина захвата жатки (м);
- пропускная способность (кг/с);
- ширина молотилки (мм);
- место расположения завода-изготовителя и рекламные бренды.

Многие компании по производству сельскохозяйственной техники классифицируют свои комбайны по цифровым сериям. В частности, фирма *John Deere* (США) выпускает комбайны серий 1450; 1550; 9500; 9600; 97000. Внутри каждой имеются свои модификации. Например, в серии 9500 представлены комбайны 9560*iWTS*, 9580*iWTS*, а внутри серии 9600 – 9640*WTS*, 9660*WTS* и т.д. Фирма *Messey Ferguson* (США) выпускает комбайн серии 7000 и соответственно с модификациями *MF7242 Activa*, *MF-7260*

Beto, *MF 7278 Cerea*, и аналогично по другим фирмам. Как видим, предусмотрены модификации внутри серии, при этом никакой функциональной связи номера серии с параметрами комбайна нет [6].

Расшифровку серии фирма не дает. По-видимому, это – условное обозначение очередной конструкторской разработки фирмы, которая выпускает широкую гамму машин различного промышленного и сельскохозяйственного назначения.

В России строгая классификация комбайнов по какому-либо одному признаку также отсутствует. В 40-50-х годах прошлого века в СССР за основу была принята ширина захвата жатки в метрах – комбайны С-4. Потом стали учитывать пропускную способность молотилки – модели комбайнов: СК-3, СК-4, СК-5, СК-6, СК-8, СК-10, где цифра означала пропускную способность комбайна (кг/с) при потерях зерна 1,5% и его дроблении не более 2%. Потом к цифре стали добавлять различные названия, носящие больше эмоциональный характер, но тем не менее определяющие своеобразный бренд той или иной модели: СК-5 Нива, СК-6 Колос, СК-8 РСМ, СК-10 Ротор. С 1986 г. в основу марки комбайна была положена ширина молотилки (мм): Енисей-900, Дон-1200, Дон-1500. В настоящее время преобладают рекламные коммерческие бренды, напрямую не связанные с конструкцией комбайнов, хотя и подразумевающие их существенное отличие: Вектор, *Acros*, *Torum*, Енисей, Руслан, Ермак и т.п.

Такой разницей в наименовании моделей комбайнов затрудняет оценку их технического уровня, усложняет выбор сельхозтоваро-производителем нужной модели, так как сам бренд комбайна не дает представления о его технических возможностях. Это по-

рождает отсутствие преемственности поколений комбайнов, а также делает невозможным анализ и прогноз тенденций их развития. Коммерческие производственные бренды не раскрывают содержания объекта.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ – разработка новой методики классификации комбайнов с учетом российского исторического опыта и зарубежной практики. В связи с вступлением России в ВТО это позволит иметь общую информационную базу для сравнения всех комбайнов между собой [7-10].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Предлагаются следующие исходные методические положения:

- классифицировать комбайны одновременно по классам пропускной способности и размерным сериям, что даст возможность сравнивать аналогичные комбайны мира между собой;
- цифровое значение пропускной способности и размерность серии должны быть функционально связаны с параметрами комбайна;
- за основу размерной серии комбайнов принять расчетную номинальную производительность комбайна по зерну за 1 ч основной работы (без остановки) с размерностью: центнер зерна за 1 ч основной работы;
- расчетную номинальную производительность комбайна по зерну W_n определять исходя из пропускной способности комбайна – q_k при разном отношении массы соломы к массе зерна в обмолачиваемом материале по формуле:

$$W_n = 36q_k \left(\frac{1}{1 + \lambda} \right), \text{ц/ч}, \quad (1)$$

где 36 – коэффициент перевода кг/с в ц/ч;

q_k – пропускная способность комбайна (кг/с) обмолачиваемого зерносоломистого материала;

λ – отношение массы соломы m_c к массе зерна m_3 в исходном обмолачиваемом материале:

$$\lambda = \frac{m_c}{m_3}. \quad (2)$$

Формула (1) согласуется с физическим смыслом процесса обмола в комбайне: чем меньше соломистость, тем больше пропускная способность и выше номинальная производительность комбайна;

• пропускную способность комбайна определять по статистически достоверному уравнению [1]:

$$q_k = 1,83i_k - 0,83, \quad (3)$$

где i_k – параметрический индекс комбайна;

• параметрический индекс комбайна определять по формулам: для классического (бильный ба-

$\lambda^* = 1,5$		$\lambda = 1,0$	
Пропускная способность, кг/с (номер класса) Handling capacity, kg/sec (series number)	Номер серии, ц/ч Series number, c/h	Пропускная способность, кг/ч Handling capacity, kg/h	Номер серии по производительности, ц/ч Series number, c/h
1	15	1,25	22,5
2	30	2,5	4,5
3	45	3,75	67,5
4	58	5	90
5	72	6,25	112,5
6	90	7,5	135
7	100	8,75	157,5
8	115	10	180
9	130	11,25	202,5
10	145	12,5	225
11	160	13,75	247,5
12	173	15	270
13	187	16,25	2325
14	200	17,5	315
15	216	18,75	337,5
16	230	20	360

Фирменная модель комбайна Brand-name model harvester	Параметры комбайна Parameters of combine harvester				Параметрический индекс и пропускная способность, кг/с ($\lambda = 1,5$) Parametric index and handling capacity, kg/s ($\lambda = 1,5$)	Класс, кг/с, и номер класса в типаже Class, kg/s, and class number in given type	Шифр размерной серии по производительности, ц/ч Size series code, c/h
	$N_{ес}$, л.с.	площадь, м ² area, m ²					
		F_n	F_c	F_p			
Dominator 130	125	0,4	4,2	3	3 4,7	5	68
Dominator 150	141	0,4	4,2	3	3,2 5,0	-	72
Mega 350	220	0,5	5,8	4,7	4,7 8,6	9	130
Mega 360	245	0,7	7,0	5,7	5,5 10,0	10	145
Lexion 580	430	0,9	7,4	5,8	12,5	13	180



Table 3		Таблица 3	
КЛАССИФИКАЦИЯ СЕМЕЙСТВА КОМБАЙНОВ ПРОИЗВОДСТВА «РОСТСЕЛЬМАШ» СЕРИИ 110 CLASSIFICATION OF THE SERIES-110 FAMILY OF ROSTSELMASH COMBINES			
Параметры комбайна Harvester parameters	Базовая модель Base model	Модификация / Modification	
		повышенной проходимости, на колесном ходу Increased off-road passability, wheeled	рисозерновой, на гусеничном ходу Rice-grain type, on caterpillar tracks
Номер класса комбайна в типаже Class number of a combine in type	8	8	8
Пропускная способность, кг/с $\lambda = 1,5$ Handling capacity, kg/s $\lambda = 1,5$	7,7	7-8	7-8
Марка / Model	КЗ-8,0-110-К-PCM	КЗ-8 -110, ППК-PCM	КЗ-8-110, РГ-PCM
Шифр серии и основное назначение Series code and primary designation	110 зерновой, общего назначения, колесный	110 для зон со сложными условиями уборки, где нужна повышенная проходимость	110 для уборки риса, сои
Номинальная производительность, ц/ч Nominal performance, c/h	110	110	110
Рекомендуемые параметры / Recommended settings			
Мощность двигателя, л.с. Power of engine, h.p.	255	270	270
Площади, м ² подбарабана соломосепаратора решетки очистки The surface area of the (m ²) concave straw separator cleaning sieve	0,75 6,54 4,84	0,75 6,54 4,84	0,75 6,54 4,84
Ширина захвата жатки, м Width of the reaping, m	5 6 7	5 6	5 6
Вместимость бункера, м ³ Capacity of hopper, m ³	6-7	6-7	6-7
Масса, т Mass, t	10,8	11,5	12,5

рабан, клавишный соломотряс, двухрешетная очистка):

$$i_k = \frac{1}{4} \left(\frac{N_e}{32} + \frac{F_n}{0,26} + \frac{F_c}{1,5} + \frac{F_p}{0,8} \right), \quad (4)$$

где N_e – номинальная мощность двигателя комбайна, л.с.;

F_n, F_c, F_p – площади сепарации подбарабана, соломотряса, решетки очистки, соответственно; для аксиально-роторного:

$$i_k = \frac{N_e}{126} + 0,5(F_{п.с} + F_p), \quad (5)$$

$F_{п.с}$ – площадь подротторной решетки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.

В соответствии с вышеприведенными методическими положениями рассчитаны пропускные способности (классы) 150 моделей современных комбайнов (кг/с хлебной массы) и их серий по номинальной производительности в центнерах зерна за 1 ч работы. Оценка комбайнов по пропускной способности или номинальной производительности всегда имеет физический смысл и будет понятна сельхозпроизводителю при выборе нужного комбайна.

В таблице 2 дан перерасчет класса комбайна по пропускной способности в номер размерной серии при различном соотношении массы соломы к массе зерна. Это соотношение – важнейший показатель, влияющий на производительность комбайна.

К примеру, серия 15 (кл. 1) означает, что за 1 ч чистой работы (без остановки) этот комбайн при пропускной способности 1 кг/с может собрать примерно (в связи с округлением) 15 ц зерна, а комбайн серии 145 (кл. 10) при пропускной способности 10 кг/с – 145 ц зерна при соотношении массы соломы к массе зерна $\lambda = 1,5$ и т.д.

Такая оценка комбайнов более наглядна, предметна, дает возможность сравнить между собой различные модели комбайнов и упростить выбор нужной машины для конкретных условий уборки.

Размерные серии комбайнов позволяют также классифицировать их модификации в пределах данной серии, добавляя к номеру серии соответствующие краткие и понятные символы.

На основании вышеизложенного предлагается обозначить марку зерноуборочного комбайна, например, «Нива-Эффект»: КЗ-6-90-К-PCM, что оз-

начает: комбайн зерноуборочный, класса 6 кг/с, серии 90 ц/ч, колесный, производства «Ростсельмаш».

Таким образом, зная параметры N_e , F_n , F_c и F_p , можно классифицировать любые комбайны по размерным сериям, определить место каждого в общемировом типаже комбайнов и сравнить между собой. Повторяем, что при современной классификации комбайнов по сериям и брендам сравнить их между собой и оценить потенциальную производительность невозможно. Из таблицы 1 следует, что немецким комбайнам *Dominator 130* и *150* в российском типаже аналога нет. Эти комбайны занимают промежуточное место между кл. 4 и 5. В российском типаже по классам комбайнов их отсутствие компенсируется комбайнами кл. 4 путем соответствующего выбора ширины захвата жатки и скорости движения комбайна для получения полной загрузки машин. Немецкому комбайну *Mega 360* близок отечественный комбайн Дон-1500Б, а *Lexion 580* – Дон-2600 и *Torum-740*.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лачуга Ю.Ф., Горбачев И.В., Измайлов А.Ю. и др. Система машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства на период до 2020 года. Т. 1. Растениеводство. М.: ВИМ, 2012. С. 67-88.
2. Жалнин Э.В., Евтюшенков Н.Е., Измайлов А.Ю., Рожин В.Ф. и др. Организация уборки зерновых с использованием перегрузчиков зерна. М.: ВИМ, 2005. 47 с.
3. Левшин А.Г., Измайлов А.Ю., Евтюшенков Н.Е. Транспортное обеспечение производственных процессов. М.: МГАУ, 2007. 160 с.
4. Жалнин Э.В. Стратегия перспективного развития механизации уборки зерновых культур // *Тракторы и сельхозмашины*. 2004. №9. С. 3-16.
5. Жалнин Э.В. Расчет основных параметров зерноуборочных комбайнов. М.: ВИМ, 2011. 102 с.

Классификация комбайнов США показала, что американскому комбайну *TC-54* имеется российский аналог – комбайн класса 6 кг/с Нива-Эффект; комбайну *AL Colina Peus* соответствует Вектор-410; аналог для *TX-68* и *GX-760 – Acros-530, Acros-540*; а комбайну *CK-980* соответствуют Дон-2600 и *Torum-740*.

Подобную оценку технического уровня комбайнов по размерным сериям (ц/ч) можно провести и по другим комбайнам разных фирм, что дает возможность сравнить их все между собой по номинальной производительности, соизмеряя главные параметры комбайнов. В этом заключается новизна предлагаемой методики оценки комбайнов.

Выводы. Предложена комплексная и предметная методика оценки технического уровня зерноуборочных комбайнов. Она понятна любому сельхозтоваропроизводителю, так как дает четкое представление о потенциальной производительности покупаемого им комбайна.

6. Жалнин Э.В. Типаж зерноуборочных комбайнов: какой есть и какой нужен // *Сельский механизатор*. 2012. №8. С. 6-8.
7. Мининзон В.И., Парфенов А.П. Способ группирования сельскохозяйственных тракторов для анализа и прогнозирования рынка в России // *Тракторы и сельхозмашины*. 2012. №9. С. 25-26.
8. Подкозьин Ю.В. Перспективы формирования парка зерноуборочных комбайнов // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2002. №7. С. 5-7.
9. Русанов А.И. Зерноуборочные комбайны: от прошлого к будущему // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2002. №7. С. 40-43.
10. Tang Z., Li Y.M., Cheng C. Development of multi-functional combine harvester with grain harvesting and straw baling // *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2017. Vol. 15, Issue 1. DOI: 10.5424/sjar/2017151-10175.

REFERENCES

1. Lachuga Yu. F., Gorbachev I.V., Izmailov A.Yu. System of machines and technologies for complex mechanization and automation of agricultural production for the period up to 2020. T. 1. Plant growing. M.: VIM, 2012: 67-88. (In Russian).
2. Zhalnin E.V., Evtushenko N.E., Izmailov A.Yu., Rozhin F.V. etc. The cleaning of grain using the grain handlers. M.: VIM, 2005: 47. (In Russian).
3. Levshin A.G., Izmailov Yu.A., Evtushenkov N.E. Transport support of production processes. M.: MGAU, 2007: 160. (In Russian).
4. Zhalnin E.V. Strategy of prospective development of mechanization of grain of new crop // *Traktory i sel'hozmashiny*. 2004; 9: 3-16. (In Russian).
5. Zhalnin E.V. Calculation of the main parameters of combine harvesters, M.: VIM, 2011: 102. (In Russian).

6. Zhalnin E.V. Type of combine harvesters: what is and what is needed // *Sel'skiy mehanizator*. 2012, 8: 6-8. (In Russian).
7. Mininson V.I., Parfenov A.P. Method of grouping of agricultural tractors for analysis and forecasting of the market in Russia // *Traktory i sel'hozmashiny*. 2012; 9: 25-26. (In Russian).
8. Podkolzin Yu.V. Prospects of forming a park of combine harvesters // *Traktory i sel'hozmashiny*. 2002; 7: 5-7. (In Russian).
9. Rusanov A.I. Grain harvesters: from the past to the future // *Traktory i sel'hozmashiny*. 2002; 7: 40-43. (In Russian).
10. Tang Z., Li Y.M., Cheng C. Development of multi-functional combine harvester with grain harvesting and straw baling // *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2017. 15, Issue 1. DOI: 10.5424/sjar/2017151-10175.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Периодическая сушка зерна повышенной влажности

Александр Викторович Голубкович, доктор технических наук, главный научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация, e-mail: vim@vim.ru;
Иван Дмитриевич Лукин, главный инженер, Кировская машиноиспытательная станция, п.г.т. Оричи, Кировская область, Российская Федерация

Исследовали зерно повышенной влажности, характеризующееся исходной неравномерностью этого показателя. (*Цель исследований*) Расчет и экспериментальная проверка пропускной способности установки для сушки зерна с невыравненной исходной влажностью и вместимости бункера отлежки. В сушилках непрерывного действия неравномерность сушки не столь велика, как в сушилках периодического действия. Высушиваемое зерно подвергается в них перемешиванию в выпускных и транспортирующих устройствах. Степень перемешивания, а следовательно, и степень выравнивания высушенной зерновой массы по влажности зависят от типа и конструкции этих устройств, но влагосодержание отдельных зерновок при этом не выравнивается. (*Материалы и методы*) Отметили, что наиболее эффективно равномерность сушки достигается при рециркуляционном способе. Его в сельском хозяйстве используют редко, но циркуляционный – часто, особенно в периодической сушке. При циркуляционной сушке зерна в надсушильном бункере происходит отлежка, в которой выравнивается влагосодержание отдельных зерновок. Осуществили математическое моделирование процесса сушки зерна с повышенной исходной неравномерностью, при допущении, что влагосодержание выравнивается посредством контактного массопереноса. (*Результаты и обсуждение*) Установили, что при сушке зерна с повышенной неравномерностью по влажности для получения кондиционного зерна необходимо снизить пропускную способность установки или оснастить ее бункером отлежки с повышенной вместимостью зерна. (*Выводы*) Получили, что пропускная способность периодической установки по зерну – функция вместимости бункера отлежки, скорости контактного массопереноса, количества циклов и неравномерности исходного влагосодержания зерна. Вычислили, что вместимость бункера отлежки равна произведению исходной неравномерности сушки и вместимости сушильной камеры, разделенному на скорость контактного массопереноса. Провели хозяйственную проверку сушки зерна с невыравненной исходной влажностью.

Ключевые слова: неравномерность сушки, зерно, контактный массоперенос, отлежка зерна.

Для цитирования: Голубкович А.В., Лукин И.Д. Периодическая сушка зерна повышенной влажности // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Том. 12. №2. С. 9-13. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-2-9-13

High Humidity Grain Periodic Drying

Aleksandr V. Golubkovich, Dr. Sc. (Eng.), chief researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation, e-mail: vim@vim.ru;
Ivan D. Lukin, Chief engineer, Federal state institution Kirov State Zonal Machine-testing Station, Orichi, Kirov region, Russian Federation

Grain of high humidity, as a rule, is characterized by the excessive non-homogeneity of this indicator. (*Purpose of research*) Calculation and experimental verification of the handling capacity of the grain drying facility with the original unaltered humidity and the capacity of the binning bunker. In the dryer of continuous functioning uneven drying is not as large as in the dryer of periodic action, the dried grain is get mixed in the reloading and transporting devices. The degree of mixing, and hence the degree of equalization of the dried grain mass by humidity depend on the type and design of these devices, but the moisture content of individual grains is not equalized. (*Materials and methods*) It was noted that the most effective drying uniformity is achieved by recycling method. It is used in agriculture rarely, but circulation method is used often, especially in periodical drying. During circulating drying of grain in the over-drying bunker there is a bin, in which the moisture content of individual grains is leveled. Assuming that the moisture content is leveled by means of contact mass transfer, mathematical modeling of the grain drying process with higher initial unevenness is carried out. (*Results and discussion*) It was found that, when one dries grain with less homogeneous humidity, to obtain high quality grain, it is necessary to reduce the input bandwidth of the plant or equip it with a bin with a higher grain capacity. (*Conclusions*) The input bandwidth capacity of the periodic plant for grain is a function of the capacity of the brew hopper, the speed of the

contact mass transfer, the number of cycles and the unevenness of the initial moisture content of the grain. The capacity of the binning hopper is equal to the product of the initial irregularity of the drying, and the capacity of the drying chamber divided by the contact mass transfer. Business analysis of grain drying with unaligned initial humidity is done.

Keywords: non-uniformity of drying, the grain, the contact mass-transfer, binning of grain.

■ **For citation:** Golubkovich A.V., Lukin I.D. High humidity grain periodic drying // *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tehnologii*. 2018; Vol. 12; 1: 9-13. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-2-9-13. (In Russian)

Влажность свежубранного зерна зависит от способа и времени уборки, метеорологических условий уборочного периода и других факторов и может колебаться в широких пределах (у зерновых культур – от 10 до 35%). При этом колебания средней влажности зернового вороха, поступающего с одного поля в течение дня, могут быть значительными. Зерновой урожай обычно убирают при средней влажности зерна 13-23%. Однако влажность отдельных зерен будет значительно отличаться от среднего значения [1].

В сушилках непрерывного действия неравномерность сушки не столь велика, как в сушилках периодического действия. Высушенное зерно подвергается в них перемешиванию в выпускных и транспортирующих устройствах и при инвертировании. Степень перемешивания, а следовательно, и степень выравнивания высушенной зерновой массы по влажности зависят от типа и конструкции этих устройств. В литературе имеются некоторые данные по невыравненности высушенной зерновой массы по влажности отдельных зерен [2-4]. Чем выше неравномерность исходного материала, тем более невыравненным оказывается он после сушки, хотя варьирование влажности отдельных зерен уменьшается. Однако размах крайних отклонений остается высоким.

Большое влияние на выравнивание влажности в зерновых смесях оказывает температура [5, 6]. Это объясняется резким возрастанием давления пара над поверхностью влажных зерен по сравнению с аналогичным показателем пара над поверхностью сухих зерен. Кроме того, с повышением температуры интенсифицируется внутренний влагоперенос в сыром зерне. Влагообмен протекает интенсивно в начале процесса. Постепенно скорость перемещения влаги снижается. Чем больше начальная разница по влажности двух компонентов зерновой смеси, тем интенсивнее происходит перераспределение влаги.

Изучение влагообмена между сырым и сухим зерном пшеницы и гороха при различных температурах зерновой смеси и соотношении компонентов показало, что интенсивность перераспределения влаги незначительно зависит от площади контакта зерен, а влагообмен происходит путем десорбции и сорбции водяных паров [7].

Ряд исследований проведен применительно к

технологическому процессу рециркуляционных сушилок [8]. Установлено, что влагообмен между сырым и интенсифицируется с увеличением температуры рециркулирующего зерна, кратности рециркуляции и влажности сырого зерна. Результаты этих исследований позволяют проводить расчеты процессов контактного массообмена, в частности, обосновать рациональное время пребывания зерна в тепловлагообменнике и определить его размеры.

Проведенными экспериментальными исследованиями установлено, что при начальной разности температуры смешиваемого зерна в пределах 30-50°C и разности во влажности в пределах 10% выравнивание температуры смеси наступает уже в через 1,5-2 мин, а перераспределение влаги происходит со значительно меньшей скоростью [9, 10].

Рециркуляционный способ сушки в сельском хозяйстве используют достаточно редко, но циркуляционный – часто, особенно в периодической сушке. При этом в надсушильном бункере влагосодержание отдельных зерновок выравнивается в период отлежки.

Цель исследования – расчет и экспериментальная проверка пропускной способности установки для сушки зерна с невыравненной исходной влажностью и вместимости бункера отлежки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Физические основы решения задачи:

- перераспределение влаги между зерновками происходит в период отлежек;
- скорость контактного массопереноса рассчитываем по средним значениям температуры и влажности зерна;
- потерями тепла в камере отлежки пренебрегаем;
- максимальный влагосъем зерна между отлежками не должен превышать $\Delta U \leq 0,04$ кг/кг, что исключит неравномерность влажности зерна в процессе сушки;
- отлеживается перемешанное зерно.

Длительность τ перераспределения влаги между зерновками при отлежках запишем в виде:

$$\tau_{от} = \frac{\Delta U'}{V_k}, \text{ ч}, \quad (1)$$

где $\Delta U'$ – неравномерность зерна по влажности (сушки) ($\Delta U' = U'_{max} - U'_{min}$, где U'_{max} , U'_{min} – максимальное и минимальное влагосодержание исходного зерна, кг вл./кг сух. мат.); v_k – скорость кон-



тактного массопереноса, кг вл./кг сух. мат.·ч.

Известно, что для условий отлежки при средней температуре зерна 35-38°C скорость контактного массопереноса $v_k = 0,03$ кг/кг·ч [11].

Найдем количество циклов в сушилке K , при которых влажность высушенного зерна не превысит допустимую неравномерность $\delta \leq \pm 1,5\%$:

$$K = \frac{U_{н.сп} - U_k}{\Delta U_{ц}}, \quad (2)$$

где $U_{н.сп}$, U_k – среднее начальное $U_{н.сп} = \frac{U'_{max} - U'_{min}}{2}$

и конечное влагосодержание зерна, кг вл./кг сух. мат.; $\Delta U_{ц}$ – допустимый влагосъем за цикл ($\Delta U_{ц} \leq 0,04$ кг/кг).

Длительность сушки в цикле запишем в виде [12]:

$$\tau_i = \frac{\Delta U_{ц} r H}{\alpha f (t - \theta_{cp}) \eta h_i}, \quad (3)$$

где r – удельная теплота испарения влаги, кДж/кг; H , h_i – реальная высота слоя зерна, м, и элементарная высота ($2-3d_3$) м; α – коэффициент теплоотдачи, Вт/м²·°C; f – удельная поверхность частиц, м²/кг; t – температура агента сушки; θ_{cp} – средняя температура частиц, °C; η – доля теплоты, затраченная на испарение влаги; d_3 – элементарный диаметр зерновки, м.

Длительность нахождения зерна в бункере отлежки $\tau_{от}$ можно записать в виде:

$$\tau_{от} = \frac{G_{от} K}{\Pi}, \quad (4)$$

где $G_{от}$ – вместимость бункера отлежки, кг; Π – пропускная способность циркулирующего средства, кг/ч.

Приравняв правые части выражений (1) и (4), получим величину вместимости бункера отлежки:

$$G_{от} = \frac{\Delta U' \Pi}{V_k K}, \quad (5)$$

Приняв во внимание, что

$$\Pi = \frac{G_k}{K \tau_i}, \quad (6)$$

где G_k – вместимость сушильной камеры, т, окончательно получим:

$$G_{от} = \frac{\Delta U' G_k}{V_k \tau_i K^2}, \quad (7)$$

При известной вместимости надшахтного бункера можем определить пропускную способность установки:

$$\Pi = \frac{G_{от} V_k K}{\Delta U'}, \quad (7)$$

Исследования по сушке проводили в мобильной зерносушилке SSI25/21T2, которая находится в хо-

зяйстве ООО «Агрофирма Коршик» Оричевского района Кировской области (рис. 1).

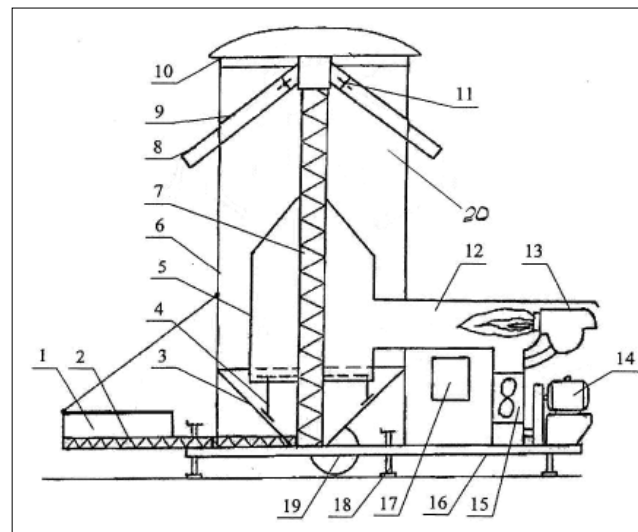


Рис. 1. Технологическая схема зерносушилки SSI25/21T2:

1 – приемный бункер; 2 – шнек; 3 – днище; 4 – механизм смешивания; 5 – внутренний цилиндр; 6 – наружный цилиндр; 7 – вертикальный шнек; 8 – лоток; 9 – выгрузная труба; 10 – зонтик; 11 – заслонка; 12 – камера сгорания; 13 – горелка; 14 – электродвигатель; 15 – вентилятор; 16 – рама; 17 – пульт управления; 18 – опора; 19 – колесо колесного хода; 20 – емкость между наружным и внутренним цилиндрами

Fig. 1. Technological scheme of the dryer:

1 – receiving hopper; 2 – screw; 3 – bottom; 4 – mixing mechanism; 5 – internal cylinder; 6 – external cylinder; 7 – vertical screw; 8 – tray; 9 – discharge pipe; 10 – umbrella; 11 – flap; 12 – combustion chamber; 13 – burner; 14 – electric motor; 15 – fan; 16 – frame; 17 – control panel; 18 – support; 19 – travel wheel; 20 – capacity between external and internal cylinders

Описание технологического процесса. Зерно подается в приемный бункер зерносушилки, откуда горизонтальным шнеком транспортируется к циркулирующему (вертикальному) шнеку, которым зерно подается в емкость 20 объемом 34 м³ (25 т по пшенице) между наружным и внутренним цилиндрами. После заполнения зерносушилки включается в работу энергоблок. Смесь топочных газов и наружного воздуха поступает во внутренний цилиндр и через его перфорацию в зерновую массу, сушит ее и выводится наружу. Вертикальный шнек работает непрерывно, перемещая материал снизу вверх и перемешивая его. После достижения заданной влажности партией зерна, загруженного в зерносушилку, горелка автоматически отключается, при этом продолжается вентилирование высушенного зерна наружным воздухом.

Программа исследований. Проведены два опыта по сушке партий зерна повышенной исходной влажности: фуражной смеси (пшеница + рожь + овес) и фуражного зерна пшеницы.

Максимальная исходная влажность фуражной смеси составила: $W'_н = 28\%$ ($U'_{\max} = 0,39$ кг/кг), минимальная – $W'_к = 22\%$ ($U'_{\min} = 0,28$ кг/кг). Средняя исходная влажность: $W_{н.ср} = 25\%$ ($U_{н.ср} = 0,33$ кг/кг), конечная – $W_н = 13\%$ ($U_к = 0,15$ кг/кг).

Высушивали зерно пшеницы со средней исходной влажностью также $W'_н = 24\%$ ($U_н = 0,32$ кг/кг), конечной – $W_к = 13\%$ ($U_к = 0,15$ кг/кг); $W'_н = 25,8\%$ и $W'_к = 23,2\%$; $\Delta U' = 0,05$ кг/кг (смесь зерна) и $\Delta U' = 0,02$ кг/кг (монофракции).

Параметры зерна и опыта составили: $f = 1,0$ м²/кг; $\eta = 0,85$; коэффициент $\alpha = 15$ Вт/м²·°C; $t = 100$ °C; $\theta_{ср} = 40$ °C; $h_1 = 0,01$ м; $\Delta U_{ц} = 0,03$ кг/кг.

Вместимость надшахтного бункера сушилки ~2,5 т. Скорость контактного массопереноса (при средней влажности и средней температуре зерна ~40°С); $V_к = 0,04$ кг/кг·ч, толщина слоя $H = 0,25$ м.

При загрузке сушилки периодически определяли влажность и неравномерность по влажности материала. В процессе сушки записывали температуру, агента сушки, поступающего в сушильную камеру, и температуру зерна на выходе из сушильной камеры. Каждые 30 мин отбирали навески у материала на выходе сушильной камеры и определяли его влажность и температуру. Скорость агента сушки составила 0,4 м/с. Неравномерность сушки характеризовали предельными отклонениями от средней величины влажности материала. Неравномерность сушки определяли при загрузке сушилки и в процессе сушки каждые 30 мин, отбирая 5-7 кг материала; из которых брали 10 навесок зерна и влагомером определяли влажность.

Пропускная способность рециркулирующего шнека была рассчитана по уравнению (7) и составила ~ 5,5 и 13 т/ч.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Зависимость влажности W и температуры θ зерна от времени τ приведена на рисунке 2. До влажности $W \approx 22\%$ имеем первый период сушки с медленным ростом θ , затем второй период – с быстрым возрастанием θ . В первом периоде скорость сушки постоянна, затем быстро снижается.

Кривые сушки материала различной исходной влажности по конфигурации практически не отличаются, но температурная кривая зерна с большей исходной неравномерностью расположена на графике ниже, чем с меньшей, так как на испарение зерна с большим влагосодержанием требуется больше теплоты.

Зависимость неравномерности сушки от времени приведена на рисунке 3. Крутое снижение неравномерности сушки $\Delta U'$ для первого случая очевидно объясняется выравниванием неравномерности за счет подсушки более влажных фракций смеси в первом периоде. Однако во втором периоде начиная с влажности $W < 22\%$ снижение неравномерности

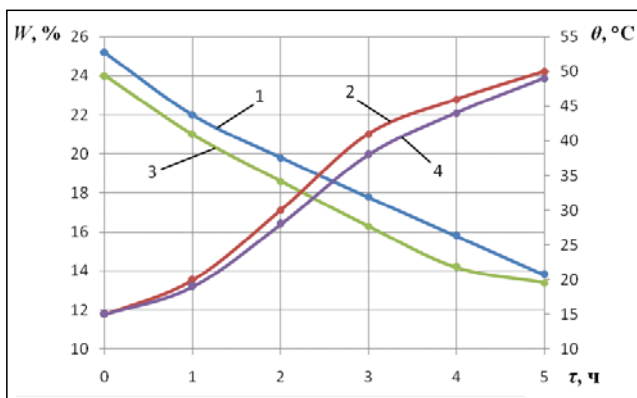


Рис. 2. Зависимость влажности W (1, 3) и температуры зерна θ (2, 4) от времени τ : 1, 4 – смесь зерна; 2, 3 – монофракция зерна

Fig. 2. The dependence of the moisture content W (1, 3) and grain temperature θ (2, 4) on time τ : 1, 4 – grains mixture; 2, 3 – grain mono-fraction

сти сушки обусловлено контактным массопереносом и сопоставимо для двух рассмотренных случаев. Пропускная способность, рассчитанная по уравнению (7), позволит получить на выходе высушенное зерно не хуже $\Delta U' < 0,02$ кг/кг.

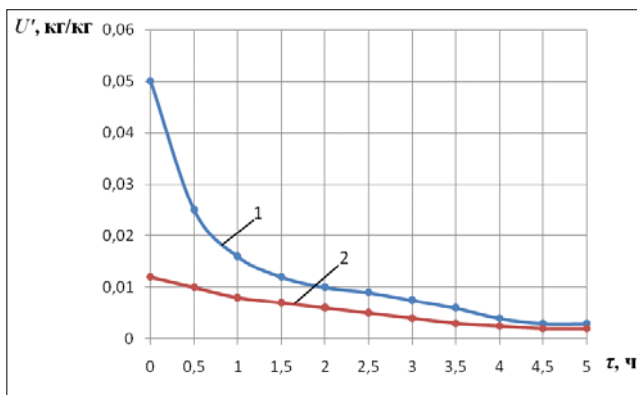


Рис. 3. Зависимость неравномерности сушки $\Delta U'$ от времени τ : 1 – смесь зерна; 2 – монофракция зерна

Fig. 3. The dependence of non-uniformity of drying $\Delta U'$ on time τ : 1 – mixture of grain; 2 – grain mono-fraction

Выводы

Исходную неравномерность зерна по влажности при циркуляционной сушке в установках периодического действия выравнивают в период отлежек в надсушильном бункере.

Установлено, что при сушке зерна с повышенной неравномерностью по влажности для получения кондиционного зерна необходимо снизить пропускную способность установки, а при желании – сократить ее паспортную производительность, оснастив бункером отлежки зерновой вместимостью, рассчитанной по уравнению (6).

Пропускная способность периодической установки по зерну есть функция вместимости бункера



ра отлежки, скорости контактного массопереноса, количества циклов и неравномерности исходного влагосодержания зерна.

Вместимость бункера отлежки равна произве-

дению исходной неравномерности сушки и вместимости сушильной камеры, деленному на скорость контактного массопереноса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Птицын С.Д. Зерносушилки. Технологические основы, тепловой расчет и конструкции. М.: Машиностроение, 1966. С. 39-40.
2. Авдеев А.В. Разработка и промышленное освоение типоразмерного ряда высокоэффективных полнокомплектных блочно-модульных шахтных зерносушилок (ШКЗ) открытого исполнения // *Современные энергосберегающие тепловые технологии* (сушка и термовлажностная обработка материалов): Труды конференции. Т. 4. М.: МГАУ, 2002. С. 20-29.
3. Агафонов Е.Я. Влияние искусственной сушки на семенные качества пшеницы // *Советская агрономия*. М.: Сельхозгиз, 1940. 12 с.
4. Анискин В.И., Окунь Г.С., Чижиков А.Г. Гигроскопические свойства зерна различных культур // *Элеваторная промышленность*. М.: ЦИНТИ Госкомзага СССР, 1967. С. 29-35.
5. Kelermann C. Das Verschneiden von feuchtem und trockenem Getreide bei der Satz Trocknung // *Wissenschaftliche Berichte der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn*. 1964; 12: С. 17-19.

6. Гинзбург А.С. Технология сушки пищевых продуктов // *Пищевая промышленность*. М.: 1976. 246 с.
7. Ларина Е.И., Резчиков В.А., Молодцова Е.М. Экспериментальное исследование теплообмена в процессе рециркуляционной сушке зерна // *Труды ВНИИМЭ*. М.: 1967, С. 34-46.
8. Любошиц И.Л. Исследование комплекса нагрев-охлаждение в рециркуляционных сушилках с осциллирующим режимом // *Тепло- и массообмен в сушильных и термических процессах*: Сборник статей. Минск: Наука и техника, 1966. С. 19-25.
9. Резчиков В.А. Контактный влагообмен в зерне // *Влага в зерне*. М.: Колос, 1969. 224 с.
10. Резчиков В.А. Теплофизические и технологические методы повышения эффективности сушки зерна: Дис. ... докт. техн. наук. М.: МТИПП, 1988. 513 с.
11. Анискин В.И., Окунь Г.С. Технологические основы оценки работы зерносушильных установок. М.: ВИМ, 2003. 167 с.
12. Сажин Б.С. Основы техники сушки. М.: Химия, 1984. 320 с.

REFERENCES

1. Ptitsyn S.D. The grain dryers. Technological bases, thermal conditions and designs. Moscow: Mechanical engineering, 1966: 39-40. (In Russian).
2. Avdeev A.V. Development and industrial development of a typical size range of high-performance complete block-modular mine grain dryers of open design // *Modern energy-saving thermal technologies (Drying and heat-and-moisture treatment of materials): Proceedings of conf. 4*. М.: МГАУ, 2002. 20-29. (In Russian).
3. Agafonov E.Y. The influence of artificial drying on seed quality of wheat // *Soviet agronomy*. М.: Selhozgiz, 1940: 12. (In Russian).
4. Aniskin V.I., Perch G.S., Chizhikov A.G. Hygroscopic properties of grains of different crops // *Elevator industry*. М.: CINTI State-kosuga USSR, 1967: 29-35. (In Russian).
5. Kelermann C. Das verschneiden von feuchtem und trockenem getreide bei der satztrocknung // *Wissenschaftliche berichte der landwirtschaftlichen fakultät der universität Bonn*. 1964; 12: 17-19.
6. Ginsburg A.S. Drying technology of food products //

- Food Industry. М.: 1976: 246. (in Russian).
7. Larina E.I., Rezchikov, V.A., Molodtsova E.M. Experimental study of the heat transfer process of recirculation in grain drying // *Proceedings of VNIIME*. М.: 1967: 34-46. (In Russian).
8. Lyuboshitz I.L. Investigation of a complex heating-cooling in recycled dryers with oscillating mode // *Heat and mass transfer in drying and thermal processes: Collection of articles*. Minsk: Nauka i tekhnika, 1966: 19-25. (In Russian).
9. Rezchikov V.A. Contact moisture exchange in grain // *Moisture in grain*. М.: Kolos. 1969: 224. (In Russian).
10. Rezchikov V.A. Thermophysical and technological methods of increasing the efficiency of grain drying: Diss. ... doctor. tech. sciences'. М.: МТИП. 1988: 513. (In Russian).
11. Aniskin V.I., Okun G.S. Technological basis for the evaluation of the work of grain drying installations. М.: VIM. 2003: 167. (In Russian).
12. Sazhin B.C. Basics of drying techniques. М.: Chemistry, 1984: 320. (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Исследование ударного воздействия механического устройства на семена озимой пшеницы

Виктор Петрович Забродин, доктор технических наук, профессор, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, г. Зерноград, Российская Федерация;
Александр Федорович Бутенко, кандидат технических наук, доцент, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, г. Зерноград, Российская Федерация,
Майя Викторовна Суханова, кандидат технических наук, доцент, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, г. Зерноград, Российская Федерация, e-mail: m_suhanova@list.ru;

Сергей Максимович Чепцов, аспирант, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, г. Зерноград, Российская Федерация

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №17-07-00372, гранта РФФИ N17-01-00323.

Проблемы травмирования семян приобрели острую актуальность в связи с применением машин на всех этапах уборки и обработки зерновых культур. Высокий процент поврежденных при механической обработке семян значительно снижает количество и качество урожая. *(Цель исследования)* Определить ударное воздействие механического устройства на образцы зерновки озимой пшеницы и его влияние на биологический потенциал семян в рамках решения задачи по сохранению целостности зернового материала. *(Материалы и методы)* Выявили степень дробления и микроповреждений зерен при механическом ударе о стальную пластину модельной установки без полимерного покрытия и с ним. Провели эксперимент с помощью специальной упрощенной моделирующей установки, позволяющей создать условия ударного воздействия на исследуемый образец зерновки пшеницы, приближенные к реальным, для получения объективных и научно обоснованных данных. Определили влияние на зерно ударного механического воздействия, характерного для посевных и уборочных работ. Теоретически обосновали способ снижения потерь зернового материала и повышения качества его обработки. *(Результаты и обсуждение)* Установили, что при ударе о стальную поверхность с полимерным покрытием процент дробления зерновок снижается более чем в 7-10 раз, микроповреждения зародыша зерна пшеницы – в 4-5 раз. Подвели теоретическую базу для обоснования полученных экспериментальных результатов. Определили влияние траектории движения зерна на его целостность. Показали, что снижение частоты дробления оболочки зерна и микроповреждений зародыша семян при ударе о стальную пластину с полимерным покрытием обусловлено уменьшением потенциальной энергии деформации семени. *(Выводы)* Получили, что при ударе о стальную поверхность частицы почти вся потенциальная энергия накапливается в ней, так как модуль упругости поверхности в десятки тысяч раз больше модуля упругости частицы (зерна, семени). При ударе о стальную поверхность с полимерным покрытием доля накопленной частицей потенциальной энергии снижается почти в тысячу раз. Таким образом, применение полимерного покрытия будет способствовать снижению потерь зерна при его механической обработке, что в целом должно способствовать повышению качества урожая зерновых культур.

Ключевые слова: механический удар, дробление зерна, микроповреждение оболочки и зародыша семени, полимерное покрытие, сельскохозяйственные машины.

■ **Для цитирования:** Забродин В.П., Бутенко А.Ф., Суханова М.В., Чепцов С.М. Исследование ударного воздействия механического устройства на семена озимой пшеницы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №2. С. 14-18. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-2-14-18

Research of Impact by Mechanical Device on Winter Wheat Seeds

Viktor P. Zabrodin, Dr. Sc. (Eng.), professor, Azov-Black Sea State engineering institute – branch of Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Professional Education (FSBE HPE) “Don State Agrarian University”, Zernograd, Russian Federation;

Aleksandr F. Butenko, PhD (Eng.), associate professor, Azov-Black Sea State engineering institute – branch of Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Professional Education (FSBE HPE) “Don State Agrarian University”, Zernograd, Russian Federation;

Maya V. Sukhanova, PhD (Eng.), associate professor, Azov-Black Sea State engineering institute – branch of Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Professional Education (FSBE HPE) “Don State Agrarian University”, Zernograd, Russian Federation;

Sergey M. Cheptsov, PhD Student, Azov-Black Sea State engineering institute – branch of Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Professional Education (FSBE HPE) “Don State Agrarian University”, Zernograd, Russian Federation

This work was supported by RFBR (RFFI) grants, 17-07-00372, 17-01-00323.

Problems of seed damage have become important in connection with the use of machines at all stages of harvesting and processing of crops. The high percentage of damaged seeds in machining significantly reduces the quantity and quality of the crop harvest. (*Purpose of the study*) The impact of the mechanical device on the samples of winter wheat grains and its impact on the biological potential of seeds were studied in solving the problem of preserving the integrity of the grain material. (*Materials and methods*) The degree of crushing and micro-damage of grains under mechanical impact on the steel plate of the model plant without and with a polymer coating was revealed. The experiment was carried out with the help of simulation system, which allows to create conditions of impact on the studied sample of wheat grains, close to the real one, to obtain objective and scientifically based data. The influence of mechanical impact typical for sowing and harvesting operations on grain was determined. A way to reduce losses of grain material and improve the quality of its processing was theoretically proved. (*Results and discussion*) It was found that when hitting the steel surface with a polymer coating, the percentage of grain crushing is reduced by more than 7-10 times, the micro – damage of the wheat germ is reduced 4-5 times. We summed up the theoretical basis for substantiation of the obtained experimental results. The influence of the trajectory of the grain on its integrity was determined. It was shown that the decrease in the frequency of crushing of the grain shell and micro-injuries of the seed embryo when hitting the steel plate with a polymer coating is due to a decrease in the potential energy of deformation of the seed. (*Conclusions*) It was found that almost all the potential energy accumulates in the steel surface of the particle, as the modulus of elasticity of the surface is tens of thousands of times greater than the modulus of elasticity of the particle (grain, seed). Upon impact on the steel surface with a polymer coating, the proportion of accumulated particle potential energy is reduced by almost a thousand times. Thus, the use of a polymer coating will reduce the loss of grain during its machining, which in general should improve the quality of the crop.

Keywords: Mechanical blow, Shock influence, Crushing of seeds, Microdamages of seeds, Polymeric covering, Farm vehicles.

For citation: Zabrodin V.P., Butenko A.F., Sukhanova M.V., Cheptsov S.M. Research of impact by mechanical device on winter wheat seeds. *Selskokhosyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2018; Vol. 12; 2: 14-18. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-2-14-18. (In Russian).

В процессе уборки и послеуборочной обработки, а также при подготовке зерновых культур к посеву семена подвергаются механическому воздействию со стороны рабочих органов машин. Вследствие этого нарушается целостность оболочки зерна или его зародыша, что приводит к изменению биоэнергетического потенциала семян [1, 2, 6].

Исследованиями доказано, что реакция биосистемы в зависимости от степени внешнего воздействия может сопровождаться как снижением, так и ростом биоэнергетического потенциала [3, 4].

Цель исследования – определить влияние механического удара на целостность семян зерновых культур и, как следствие, их биоэнергетический потенциал.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Для оценки влияния скорости удара на свойства семян зерновых культур использована авторская экспериментальная моделирующая установка, состоящая из блока питания 1 с манометром и датчиками скорости, трубопровода 3, по которому потоком воздуха, нагнетаемым компрессором 2, зерно перемещается к металлической пластине, закрепленной на блоке регистра-

ции 4 импульсного ударного взаимодействия ударяемого зерна и рабочей поверхности (рис. 1).

В качестве испытуемого материала были отобраны пробы семян озимой пшеницы сорта Адель, предварительно не подвергавшиеся механическому воздействию.

В ходе исследования была поставлена задача

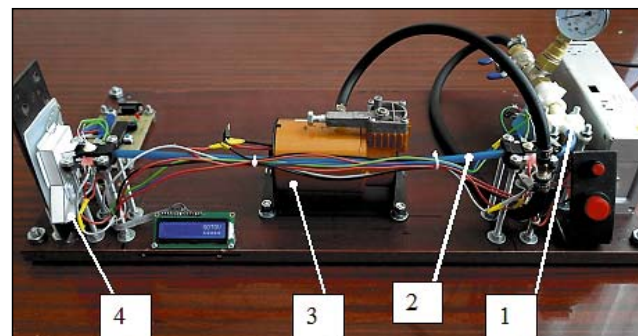


Рис. 1. Имитационный стенд для определения импульсного ударного воздействия поверхностей различной жесткости на зерно

Fig. 1. Simulation stand for determination of pulsed impact on grain by surfaces of different hardness

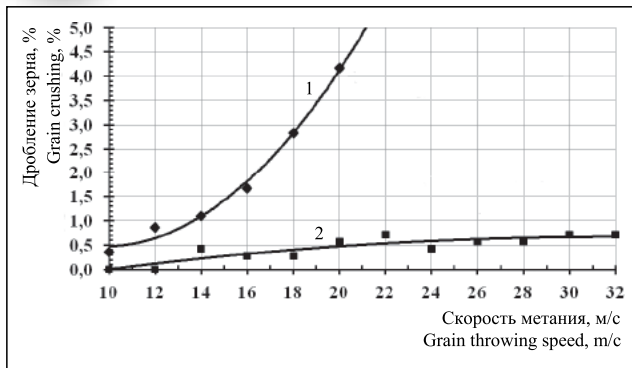


Рис. 2. Зависимость дробления зерна от скорости метания при ударе о стальную пластину без полимерного покрытия (1) и с полимерным покрытием (2)
 Fig. 2. Dependence of the crushing of grain on the speed of the throwing when hitting a steel plate without a polymer coating (1) and polymer coating (2)

определить влияние степени дробления и микроповреждений семян на изменение биоэнергетического потенциала семян [7-10]. Показатели дробления частиц и всхожести образцов зерновки определяли по стандартным методикам. Биоэнергетический потенциал испытуемого материала оценивали по показателю всхожести проращиваемой пробы в лабораторных условиях. В качестве отражающих поверхностей использовали стальную пластину с полимерным покрытием и без него.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. График зависимости дробления зерна от скорости метания при столкновении с металлической поверхностью без полимерного покрытия и с ним приведен на *рисунке 2*.

Анализ зависимости дробления зерна от скорости метания позволяет заключить, что на целостность семян значительное влияние оказывает материал отражающей поверхности.

График зависимости роста микроповреждений зародыша зерновок от скорости метания, приведенный на *рисунке 3*, построен на основании статистической обработки экспериментальных данных из 700 повторностей. В ходе эксперимента получили, что при ударе о стальную пластину со скоростью метания зерна 20 м/с максимальный показатель дробления частиц составил 4,2%, а при ударе о стальную пластину с полимерным покрытием с той же скоростью не превысил 0,6%, то есть во втором случае процент микротравмирования зерн в 7 раз ниже.

На *рисунке 3* приведены графики зависимости увеличения микроповреждения зародыша зерновок по сравнению с исходным материалом по данным 200 повторностей.

Анализ зависимостей, представленных на *рисунке 3*, показал, что процент микроповреждений зародыша зерна пшеницы при ударе о стальную пластину без покрытия в 4-5 раз выше по сравне-

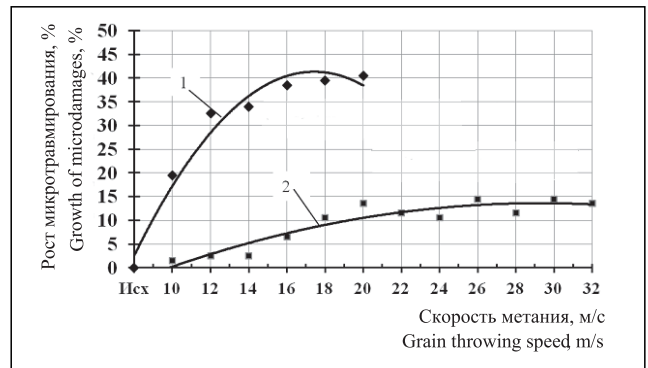


Рис. 3. Зависимость роста микроповреждений зародыша зерновок от скорости метания о стальную отражающую пластину без покрытия (1) и о пластину с покрытием (2)
 Fig. 3. Dependence of micro-damages growth of a grain germ in comparison with initial material from speed throwing a steel plate without a polymer coating (1) and polymer coating (2)

нию с аналогичным показателем при ударе о стальную пластину с полимерным покрытием. При этом дальнейшее увеличение скорости удара семени о пластину с полимерным покрытием до 32 м/с не оказывает значительного влияния на показатель дробления частиц.

Снижение степени дробления частиц и микроповреждений зародыша зерна при ударе о стальную пластину с полимерным покрытием обусловлено уменьшением потенциальной энергии деформации. При ударе часть кинетической энергии частицы, движущейся со скоростью $V_{ч}$, преобразуется в потенциальную энергию деформации, а часть кинетической энергии возвращается частице после отражения. Уравнение энергетического баланса имеет вид:

$$U = T_{п} - T_{от}, \quad (1)$$

где U – потенциальная энергия деформации частицы и отражающей поверхности, Дж; $T_{п}$ – кинетическая энергия падения, или кинетическая энергия частицы до удара, Дж; $T_{от}$ – кинетическая энергия отражения, или кинетическая энергия частицы после удара, Дж.

Потенциальная энергия деформации частицы и отражающей поверхности U определится по известным зависимостям механики деформируемого тела:

$$U_{ч} = \frac{P_{д} \Delta l_{ч}}{2}, \quad U_{п} = \frac{P_{д} \Delta l_{п}}{2}, \quad (2)$$

где $U_{ч}$ – потенциальная энергия деформации частицы, Дж; $U_{п}$ – потенциальная энергия деформации поверхности, Дж; $P_{д}$ – сила динамического воздействия на частицу и поверхность, Н; $\Delta l_{ч}$ – абсолютная деформация частицы, мм; $\Delta l_{п}$ – абсолютная деформация поверхности, мм.

Абсолютные значения деформации частицы $\Delta l_{ч}$ и деформации поверхности $\Delta l_{п}$ связаны с размера-



ми и коэффициентом жесткости частицы и материала выражениями, согласно теории механики деформируемого тела:

$$\Delta l_{\text{ч}} = \frac{P_{\text{д}} c}{E_{\text{ч}} F_{\text{ч}}}, \quad \Delta l_{\text{п}} = \frac{P_{\text{д}} \Delta_{\text{п}}}{E_{\text{п}} F_{\text{п}}}, \quad (3)$$

где c – толщина зерновки, мм; $E_{\text{ч}}, E_{\text{п}}$ – модули Юнга частицы и поверхности соответственно, МПа; $F_{\text{ч}}, F_{\text{п}}$ – площади деформированной поверхности частицы и отражающей поверхности, мм²; $\Delta_{\text{п}}$ – толщина деформированной поверхности, мм.

Подставив абсолютные значения деформации (3) в выражения потенциальной энергии (2), получим:

$$U_{\text{ч}} = \frac{P_{\text{д}}^2 c}{2 E_{\text{ч}} F_{\text{ч}}}, \quad U_{\text{п}} = \frac{P_{\text{д}}^2 \Delta_{\text{п}}}{2 E_{\text{п}} F_{\text{п}}}. \quad (4)$$

Кинетическая энергия, накопленная частицей в момент удара, примет вид:

$$T_{\text{ч}} = \frac{m_{\text{ч}} v_{\text{y}}^2}{2}, \quad (5)$$

где $m_{\text{ч}}$ – масса частицы, г; v_{y} – скорость частицы в момент удара, м/с.

По мнению исследователей, вся кинетическая энергия расходуется на деформацию частицы и отражающей поверхности, то есть $T_{\text{от}} = 0$ [1, 2].

Однако часть кинетической энергии возвращается частице после отражения от поверхности. Учитывая, что скорость отражения связана со скоростью удара v_{y} соотношением:

$$v_{\text{от}} = v_{\text{y}} k_{\text{в}}, \quad (6)$$

где $k_{\text{в}}$ – коэффициент восстановления.

Кинетическая энергия частицы после отражения будет равна:

$$T_{\text{от}} = \frac{m v_{\text{y}}^2 k_{\text{в}}^2}{2}. \quad (7)$$

Преобразовав выражения (7) и (1), получим формулу расчета потенциальной энергии, накопленной частицей и отражающей поверхностью:

$$U = \frac{m v_{\text{y}}^2}{2} (1 - k_{\text{в}}^2). \quad (8)$$

Приравнявая правые части выражений (4) и (8),

при $U = U_{\text{ч}} + U_{\text{п}}$, получим:

$$m v_{\text{y}}^2 (1 - k_{\text{в}}^2) = P_{\text{д}}^2 \left(\frac{c}{E_{\text{ч}} F_{\text{ч}}} + \frac{\Delta_{\text{п}}}{E_{\text{п}} F_{\text{п}}} \right). \quad (9)$$

Проанализируем содержимое в скобках правой части выражения (9). Первое слагаемое характеризует часть потенциальной энергии, накопленную частицей, а второе – часть энергии, отражаемой поверхностью. Определим долю потенциальной энергии, накопленную частицей при ударе об отражающую поверхность:

$$\left(\frac{c}{E_{\text{ч}} F_{\text{ч}}} / \frac{\Delta_{\text{п}}}{E_{\text{п}} F_{\text{п}}} \right) = \frac{E_{\text{п}} F_{\text{п}} c}{E_{\text{ч}} F_{\text{ч}} \Delta_{\text{п}}}. \quad (10)$$

На долю накопленной потенциальной энергии частицей наибольшее влияние оказывает материал отражающей поверхности.

По данным, модуль Юнга для частиц зерна находится в пределах (10-40) МПа. Модуль Юнга отражающей поверхности зависит от ее материала: для стали в среднем он составляет $2 \cdot 10^5$ МПа, а для полимерного покрытия – $(2-3) \cdot 10^2$ МПа [5].

При ударе частицы о стальную поверхность почти вся потенциальная энергия накапливается в частице, так как отношение модуля Юнга поверхности $E_{\text{п}}$ к модулю Юнга частицы $E_{\text{ч}}$ составляет $(0,5-2) \cdot 10^4$.

При ударе частицы о стальную поверхность с полимерным покрытием доля накопленной частицей потенциальной энергии снижается почти в тысячу раз.

Кроме этого, доля накопленной частицей потенциальной энергии зависит от толщины полимерного покрытия и снижается пропорционально толщине $\Delta_{\text{п}}$ покрытия.

Выводы

Исследование влияния ударного воздействия на семена зерновых культур показало, что использование полимерных материалов в качестве покрытия поверхностей рабочих органов сельскохозяйственных машин позволяет уменьшить накопленную потенциальную энергию и, как следствие, снизить дробление зерновок более чем в 7-10 раз, а также уменьшить микрповреждения зародышей семян зерновых культур.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Руских В. Уменьшаем травмирование зерна, повышаем его урожайность // *Комбикорма*. 2010. №7. С. 417-420.
2. Бутенко А.Ф., Максименко В.А. Анализ травмирования семян зерновых культур // *Исследования и разработка эффективных технологий и технических средств для животноводства*: Сборник. зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 2004. С. 75-83.
3. Нефедьева Е.Э. Давление как фактор регуляции у рас-

- тений: монография. М.-Берлин: Директ-Медиа, 2015. 133 с.
4. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Развитие производств техники для селекции и семеноводства – одна из приоритетных задач сельскохозяйственного машиностроения // *Состояние и развитие регионального машиностроения*. М.: 2010. С. 96-103.
5. Hongze L., Konglai Z. Ecological agriculture comprehensive efficiency evaluation Index system and assessment method,

China Forestry Economy, 2007, 9: 19-22.

6. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Система технологий и машин для инновационного развития АПК России // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России: Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики академика В.П. Горячкина. М.: ВИМ, 2013. С. 7-10.

7. Суханова М.В., Суханов А.В. Предпосылки создания гибридной нечеткодинамической модели слабо формализованных эластичных систем смешивания // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире: Материалы Международной научно-практической

конференции, 30 сентября 2014 г., Россия, Санкт-Петербург. С. 45-50.

8. Иванов А.П. Динамика систем с механическими соударениями. М.: Международная программа образования, 2017. 336 с.

9. Kovalev S., Sukhanov A., Sukhanova M., Sokolov S. Adaptive approach for anomaly detection in temporal data based on immune double-plasticity principle // Proceedings of the Second International Scientific Conference «Intelligent Information Technologies for Industry». 2017; 1: 234-243.

10. Cooper W.W., Seiford L.M., Zhu J. Handbook on data envelopment analysis. 2nd ed. New York, USA: Springer, 2011: 497.

REFERENCES

1. Ruskikh V. Reduce grain damage, we raise its productivity / Compound feed N7, Moscow. 2010: 417-420.

2. Butenko A.F., Maximenko V. A. Analysis of seed damages of grain crops. Researches and development of effective technologies and technical means for livestock production. Collection of scientific works of. FSBSI NCSRIMEA Zernograd, 2004: 75-83. (In Russian).

3. Nefedyeva E.E. Pressure as a regulation factor at plants: monograph / Moscow – Berlin: Direkt-media, 2015: 133. (In Russian).

4. Izmailov A.Yu., Lobachevsky Ya.P. Development of machinery production for breeding and seed growing is one of priority tasks of agricultural engineering // The State and development of regional engineering scientific publication. Moscow, 2010: 96-103. (In Russian).

5. Hongze L., Konglai Z. Ecological agriculture comprehensive efficiency evaluation Index system and assessment method, China Forestry Economy, 2007, 9: 19-22, 38.

6. Izmailov A.Yu., Lobachevsky Ya.P. System of technologies and machinery for innovative development of agroindustrial complex of Russia // System of technologies and machinery for innovative development of agroindustrial complex of Russia.

Collection of scientific reports of the International scientific conference devoted to the 145 anniversary of the birth of the founder of agricultural mechanics academician V.P. Goryachkin. All-Russian Research Institute of Mechanization of Agriculture. 2013: 7-10. (In Russian).

7. Sukhanova M.V., A.V. Sukhanov. The background of a hybrid fuzzy dynamic model of poorly formalized flexible mixing systems. *Fundamental and applied research in the modern world*: Materials of the International scientific and practical conference held on 30 September 2014, Russia, St. Petersburg: 45-50. (In Russian).

8. Ivanov A.P. The dynamics of systems with mechanical collisions. М.: International Education Program, 2017: 336. (In Russian).

9. Kovalev S., Sukhanov A., Sukhanova M., Sokolov S. Adaptive approach for anomaly detection in temporal data based on immune double-plasticity principle. Proceedings of the Second International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry”. 2017: 1. 234-243. (In Russian).

10. Cooper W.W., Seiford L.M., Zhu J. Handbook on data envelopment analysis. 2nd ed. New York, USA: Springer, 2011: 497. (In English).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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



Результаты исследований влияния биоэнергетических факторов на повышение урожайности в растениеводстве

Александр Петрович Гришин, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация, e-mail: 5145411@mail.ru;
Андрей Александрович Гришин, кандидат экономических наук, заведующий лабораторией, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;
Владимир Александрович Гришин, младший научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Приведены предпосылки и результаты фундаментальных исследований, подтверждающие две гипотезы, касающиеся процесса формирования урожая и транспирации как основного биоэнергетического фактора плодородия. Транспирация есть термодинамический процесс в открытой самоорганизующейся системе, носящий диссипативный случайный характер. На транспирацию расходуется около 95 процентов потребляемой растением воды. (*Цель исследования*) Получить результаты, подтверждающие две гипотезы, согласно которым эффективность процесса формирования урожая обусловлена: транспирацией как биоэнергетическим фактором плодородия, фотосинтезной эксергией и тепловой эксергией. (*Методы и материалы*) Рассмотрены основные принципы самоорганизации термодинамических систем, а также методы экспериментальных исследований принципа подчинения параметру порядка, при котором переменная управления системы подчинена параметру порядка. Определили связь параметра порядка (тепловая эксергия солнечного излучения (СИ)) и переменной управления (транспирация). Значения коэффициентов корреляции этих двух процессов имеют величину, близкую к единице. Это подтверждает, что транспирация есть диссипативный самоорганизующийся процесс, лежащий в основе механизма транспирационного орошения. Выявили фрактальную размерность временного ряда транспирации огурца при естественном освещении, картофеля – при искусственном, а также их вероятностные характеристики: матожидание, среднее квадратическое отклонение и дисперсия. (*Результаты и обсуждение*) Получили подтверждение научной гипотезы о влиянии лимитирующих климатических факторов на теоретический предел продуктивности растений и фрактальной размерности транспирации как индикатора продукционных процессов в растениеводстве. (*Выводы*) Дополнили научную гипотезу о влиянии лимитирующих климатических факторов на теоретический предел продуктивности растений. Показали, что при искусственном интенсивном освещении всходов картофеля фрактальная размерность равна 1,1, а дисперсия временного случайного ряда транспирации снизилась более чем в 6 раз по сравнению с аналогичным временным рядом при естественном освещении СИ.

Ключевые слова: урожайность, растениеводство, плодородие, биоэнергетика, климатические условия, транспирация, эксергия, самоорганизация.

■ **Для цитирования:** Гришин А.П., Гришин А.А., Гришин В.А. Результаты исследований влияния биоэнергетических факторов на повышение урожайности в растениеводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №2. С. 19-25. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-2-19-25

Research Results of Bioenergetics Factors Influence on Crop Production Yields Increase

Alexandr Petrovich Grishin, Dr. Sc. (Eng.), leader researcher, Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM, Moscow, Russian Federation, e-mail: 5145411@mail.ru;
Andrey Alexandrovich Grishin, Ph. D. (Econ), head of laboratory, Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM, Moscow, Russian Federation;
Vladimir Alexandrovich Grishin, junior researcher, Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

The results of a fundamental research is presented confirming two hypotheses concerning the process of a crop harvest forming and transpiration as the two main bio-energetic factors of fertility. Transpiration is a thermodynamic process in an open self-organizing system, which has a dissipative random character. Transpiration consumes about 95 percent of the water consumed by the plant. (*Purpose of research*) The research objective is to obtain results confirming two hypotheses,

according to which the efficiency of the process of crop formation is due to transpiration as a bio-energy factor of fertility and its components: photosynthetic exergy and thermal exergy. (*Methods and materials*) The basic principles of thermodynamic systems self-organization, as well as methods of experimental studies of the principle of subordination to the parameter of the order in which the system control variable is dependent on parameter of the order. The relation of the order parameter (thermal exergy of solar radiation (SR)) and the variable control (transpiration) was determined. The values of the correlation coefficients of these two processes have a value close to one. This confirms that transpiration is a dissipative self-organizing process underlying the transpiration irrigation mechanism. It is revealed that a fractal dimension of a time series of transpiration of cucumber with natural light, a potato is artificial, and their probability characteristics: the mathematical expectation, standard deviation and variance. (*Results and discussion*) We received confirmation of the scientific hypothesis about the influence of limiting climatic factors on the theoretical limit of plant productivity and fractal dimension of transpiration as an indicator of production processes in crop production. (*Conclusions*) We put forward supplemental scientific hypothesis about the influence of limiting climatic factors on the theoretical limit of plant productivity. It was showed that under artificial light intensity of shoots of potatoes fractal dimension is equal to 1.1, and the variance of the temporary random number of transpiration series decreased more than 6 times compared to the same time series under natural light of SR.

Keywords: Yield, Crop production, Fertility, Bioenergy, Climatic conditions, Transpiration, Exergy, self-Organization.

■ **For citation:** Grishin A.P., Grishin A.A., Grishin V.A. Results of researches of influence of bioenergy factors in higher yields in crop production. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12; 2: 19-25. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-2-19-25. (In Russian).

Основным источником энергии, обеспечивающим формирование биомассы, в том числе урожая растений, является солнечная энергия E . Величина суммарной энергии, приходящей в средних широтах на 1 га за вегетационный период, составляет более $20 \cdot 10^6$ МДж. Однако большая ее часть (35%) уходит на транспирацию и нагрев растений (14%), тогда как в процессе фотосинтеза аккумулируется лишь около 1% [1].

В системе формирования продуктивности растения за переменную порядка принят приток к растению энергии солнечного излучения (СИ) (точнее, ее часть, потенциально пригодная для фотосинтеза Δe_{ϕ} и затрачиваемая растением на формирование продуктивности) – эксергия солнечного излучения. Эта величина представляет собой теоретический предел продуктивности растений и плодородия земельного угодья. Фотосинтезную эксергию солнечного излучения Δe_{ϕ} упрощенно можно представить в виде выражения: $\Delta e_{\phi} = 0,2\Delta\tau E$ (где $\Delta\tau$ [τ_1, τ_2] – исследуемый промежуток времени), согласно которому предел продуктивности растений составляет 20% [2].

Полнота использования растениями эксергии солнечного излучения в процессе фотосинтеза и формирования продуктивности урожая во многом зависит от динамики изменения различных факторов и благоприятности сочетания их во времени. Каждому виду растений присуща своя восприимчивость к воздействию внешних факторов, а значит, и зависимость скорости фотосинтеза и формирования урожая от климатических условий, свойств почв и других лимитирующих факторов, таких как облачность, ограничивающая приход СИ, или лимит действия устьичного аппарата растения и др.

Некоторые факторы (физико-механический состав почвы, температура и т.п.) сложно изменить

техническими средствами, к тому же для этого требуются значительные затраты, в связи с чем их относят к типу неуправляемых. На другие, напротив, можно повлиять с помощью широко применяемых способов (например, на влагообеспеченность – поливом, на содержание макро- и микроэлементов в почве – внесением удобрений). Такие факторы относят к мелиорируемым.

Все факторы условно можно разделить на четыре группы:

- климатические неуправляемые;
- почвенные неуправляемые;
- климатические мелиорируемые;
- почвенные мелиорируемые.

К первым относят, например, приход энергии солнечного излучения, потенциально пригодной для использования растениями на проведение фотосинтеза (фотосинтезная эксергия) E_{ϕ} , и температуру воздуха; к последним – тепловую составляющую энергии солнечного излучения (тепловая эксергия E_m), влажность воздуха [2].

Очевидно, что при отсутствии или сокращении влияния лимитирующих воздействий продуктивность растений будет сокращаться.

Немаловажную роль в процессе химической реакции фотосинтеза играет тепловая составляющая СИ, обеспечивающая температурный оптимум реакции. И фотосинтезная эксергия, и тепловая составляющая как носители энергии относятся к биоэнергетическим факторам. Причем тепловую составляющую относят еще и к мелиорируемым факторам, поскольку растение само регулирует ее воздействие с помощью транспирации.

Основное назначение транспирации заключается в снижении температуры t_l листа растения, воспринимающего суммарную энергию E солнеч-



ного излучения, за счет испарительного охлаждения и приближении t_n к температурному оптимуму фотосинтеза t_0 . На транспирацию расходуется около 95% потребляемой растением воды [3].

Снижение температуры листа на $\Delta T_0 = t_n - t_0$ обеспечивает увеличение скорости фотосинтеза до максимальной. При этом растение как самоорганизующаяся структура, согласно принципу экстремальной энергетической самоорганизации (ПЭЭС) и следуя закону выживания (ЗВ), производит терморегуляцию листа, чтобы наиболее полно использовать свободную в отношении фотосинтеза часть энергии СИ – фотосинтезную эксергию.

В данной работе приведены результаты фундаментальных исследований, подтверждающие две научные гипотезы, касающиеся процесса транспирации как основного биоэнергетического фактора урожайности:

1. Транспирация есть самоорганизующийся термодинамический диссипативный процесс в открытой системе «растение – окружающая среда», позволяющий наиболее полно использовать фотосинтезную эксергию СИ в формировании урожая.

2. Частичное устранение или полное исключение влияния лимитирующих воздействий на климатические (прежде всего – биоэнергетические) факторы позволяет приблизить продуктивный потенциал растениеводческих культур к их теоретическому пределу и наиболее полно использовать фотосинтезную эксергию в формировании урожая.

Цель исследования – получение результатов, подтверждающих сформулированные выше научные гипотезы относительно процесса транспирации как основного биоэнергетического фактора урожайности и его составляющих: фотосинтезной эксергии и тепловой эксергии.

Методы и материалы. Рассмотрим процесс транспирации с позиций самоорганизации, для чего приведем основные признаки самоорганизации термодинамических систем [4, 5].

Для протекания процесса самоорганизации необходимо, чтобы имели место следующие признаки:

- открытая система должна находиться в сильно неравновесном состоянии;
- между элементами системы должна существовать сильная нелинейная связь, которая определяет коллективность, кооперативность, согласованность движения;
- кооперативность действия элементов системы должна осуществляться согласно принципу подчинения синергетики, при котором параметры управления системы подчинены переменной порядка;
- система должна иметь достаточно высокий уровень флуктуации, склонной к разрастанию и бифуркациям;
- приток энергии к системе должен обеспечить

достижение системой критического состояния (точки бифуркации) с последующим выходом из этого состояния скачком по типу фазового перехода. Скачок характеризует образование новой диссипативной структуры, возникающей под действием термодинамических сил в системе, находящейся далеко от термодинамического равновесия и существующей только в режиме постоянной подпитки.

Важнейшими характеристиками диссипативных структур являются: время жизни, область локализации и фрактальная размерность.

Лист (а в некоторых случаях и растение в целом) является открытой самоорганизующейся структурой, в которой очевиден ряд вышеуказанных признаков.

Транспирацию можно отнести к самоорганизующемуся процессу, протекающему в нелинейной открытой динамической структуре, при наличии двух признаков: принципа подчинения синергетики и фрактальности процесса.

Испарение – это фазовый переход вещества из конденсированной фазы в газообразную на свободной поверхности жидкости в результате теплового движения ее молекул при температуре ниже точки кипения. Такая температура соответствует давлению газовой среды над указанной поверхностью. Это эндотермический процесс, при котором поглощается теплота фазового перехода, затрачиваемая на преодоление сил молекулярного сцепления в жидкой фазе и на работу расширения при превращении жидкости в пар.

Далее жидкость испаряется при постоянной температуре, которая характеризует стационарность неравновесного фазового перехода – испарения в открытой нелинейной динамической структуре транспирационного охлаждения. Здесь тепловая эксергия СИ является переменной порядка самоорганизующегося процесса транспирации и источником энергии внешней среды. При этом расход транспирации q_T служит параметром управления. Математически самоорганизующийся процесс транспирации можно записать в виде взаимосвязи переменной порядка и параметра управления:

$$(t_n - t_0) M_n C_n = E_m \subset q_m r_v, \quad (1)$$

где M_n – общая масса листьев; C_n – удельная теплоемкость массы листьев; E_m – тепловая эксергия СИ; r_v – удельная теплота испарения воды.

Приведенная зависимость определит экстремальную энергетическую целенаправленность самоорганизующегося процесса транспирации.

Нагрев листа в зависимости от прихода суммарной энергии СИ происходит в процессе преобразования в тепловую энергию той ее части, которая представляет собой тепловую эксергию солнечного излучения E_m .

Определим тепловую эксергию СИ, используя

теорию фотометрии, преобразовав величины светоотдачи солнца $CO_{\text{солн}} = 93 \text{ лм/Вт}$ и светового потока СИ – $\Phi_{\text{сол}} = 3,63 \cdot 10^{28} \text{ лм}$.

Тогда мощность нагрева освещенного листа $P_{\text{л}}$ (Вт) рассчитаем как:

$$P_{\text{л}} = \frac{OS_{\text{л}}}{CO_{\text{солн}}}, \quad (2)$$

где O – освещенность листа, лк; $S_{\text{л}}$ – площадь освещенного листа, м^2 ; $CO_{\text{солн}}$ – световая отдача солнца, лм/Вт.

Подставив величину $CO_{\text{солн}}$ в формулу тепловой энергии, получим:

$$\begin{aligned} E_{\text{м}} &= P_{\text{л}} \tau_{\text{осв}} = (O \cdot S_{\text{л}} / CO_{\text{солн}}) \tau_{\text{осв}} = \\ &= 1,1 \cdot 10^{-2} O \cdot S_{\text{л}} \tau_{\text{осв}}, \text{ Дж}, \end{aligned} \quad (3)$$

где $\tau_{\text{осв}}$ – время действия СИ, с.

При расчетах необходимо учитывать ограниченность действия и неравномерность СИ в течение суток. В этой связи примем время действия СИ для июля с 4 до 20, а неравномерность учтем через коэффициент 0,28, равный среднеинтегральной плотности действия СИ в течение суток [6].

Тогда выражение (3) примет вид:

$$E_{\text{м}} = 1,1 \cdot 10^{-2} OS_{\text{л}} \tau_{\text{осв}} = 17,0 \cdot 10^{-2} OS_{\text{л}}, \text{ кДж}. \quad (4)$$

Проведя расчеты, получим величину тепловой эксергии, скомпенсированной в процессе транспирационного испарения воды с поверхности листа и снижения температуры на величину ΔT_0 .

Отсюда связь параметра порядка и параметра управления будет выражена как:

$$17,0 \cdot 10^{-2} \cdot OS_{\text{л}} = E_{\text{м}} \subset q_{\text{м}} r_{\text{в}}. \quad (5)$$

Насколько тесна эта связь, а, следовательно, соблюден принцип подчинения, определим через коэффициент корреляции между процессами облучения (получением растением тепловой эксергии) и транспирации как механизма поддержания ΔT_0 у рассады огурца, фасоли и всходов картофеля.

Фрактальность процесса транспирации, представленного временными рядами, определяем для рассады огурца, фасоли и всходов картофеля.

Фрактальную размерность рассчитываем по методике фрактального (R/S)-анализа, или по методу нормированного размаха [7-11].

Из всех лимитированных факторов выберем для исследований приход энергии СИ, потенциально пригодной к использованию растениями для фотосинтеза. Определим зависимости характеристик временного ряда транспирации от внешних воздействующих условий на примере всходов картофеля. Измерим изменения массы растения, площади листового покрова, массы раствора посредством транспирационного испарения в зависимости от прихода эксергии оптического светового излуче-

ния (ОСИ). Проведем два опыта по исследованию процесса транспирации:

– для растения в естественных условиях при периодической облачности и постоянной температуре окружающей среды;

– для растения под искусственным световым излучением с освещенностью 32,5 клк и преобладанием синего и красного частей спектра.

Измерения проводим по авторской методике [7].

Транспирация будет иметь постоянное значение при постоянстве всех лимитированных (подвергшихся лимитирующему воздействию) факторов. И если хотя бы один будет меняться случайно, то и транспирация будет носить переменный случайный характер. Исследуем фрактальную размерность временного ряда транспирации при условии, когда все факторы отвечают естественным условиям, кроме освещенности. При этом процесс транспирации будет оставаться случайным, однако и в меньшей степени.

При искусственном освещении, согласно гипотезе о наиболее полном использовании фотосинтезной эксергии в формировании урожая при исключении влияния лимитирующих воздействий на биоэнергетические факторы, временной ряд транспирации будет иметь более детерминированную природу с минимальными случайными отклонениями. Его фрактальная размерность будет приближаться к 1,0. И наоборот, чем интенсивнее действие лимитирующих факторов, тем более случайный характер будет носить временной ряд транспирации, а его фрактальная размерность будет приближаться к 2,0. Его вероятностные характеристики также будут отличаться: дисперсия временного ряда во втором случае будет выше.

Исследуем случайные временные ряды транспирации при естественном и искусственном освещении и их вероятностные характеристики, для чего выделим детерминированную и случайную составляющие.

Далее исключим воздействие лимитирующих случайных факторов и для этого условия определим транспирацию, для чего учтем изменение расхода воды через растение под влиянием только этого фактора. Транспирация при воздействии искусственного постоянного освещения также постоянна: $T = 1,46 \text{ г/дм}^2\text{ч}$. Опираясь на данные эксперимента, находим коэффициент корреляции между значениями временного ряда с постоянной величиной транспирации и значениями временного ряда роста площади листьев, измеренного в отсутствие случайных факторов. Тем самым определяем, насколько тесная связь между процессом изменения продуктивности растения и процессом транспирации в отсутствие действия лимитирующих факторов.

Для роста растения, исследуемого в экспериментах, характерно изменение его массы, площади ли-



стового покрова, его массы и раствора посредством транспирационного испарения, которое, в свою очередь, обусловлено действием параметра порядка. Все эти процессы носят случайный самоорганизующийся характер. Следовательно, должна существовать связь между параметром порядка – тепловой эксергии E_m и переменной управления транспирацией T . Определим эту связь с помощью коэффициента корреляции между этими двумя процессами (таблица 1).

Table 1		Таблица 1	
КОЭФФИЦИЕНТЫ КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ ПРОЦЕССАМИ НАГРЕВА ЛИСТЬЕВ И ОХЛАДИТЕЛЬНОЙ ТРАНСПИРАЦИИ			
THE CORRELATION COEFFICIENTS BETWEEN THE PROCESS OF HEATING THE LEAVES AND COOLING TRANSPARATION			
Культура Culture	Коэффициент корреляции The correlation coefficient		
Огурцы (рассада) Cucumber seedlings	0,73		
Фасоль (рассада) Planting beans	0,84		
Картофель (всходы) germination of potatoes	0,91		

Фрактальные размерности рассчитаем, используя экспериментальные данные временного ряда транспирации рассады огурца при естественном и всходов картофеля при искусственном освещении.

Отношение разности максимального и минимального значений транспирации R для заданного отрезка времени (длина лага n) к стандартному отклонению $S(\sigma)$, вычисленному для значений транспирации того же лага S , выразим как:

$$(R/S) = cn^H, \tag{6}$$

где c – константа, H – показатель Херста, связанный с фрактальной размерностью D соотношением $D = 2 - H$.

Результаты расчета показателя Херста для исследуемых образцов огурца и картофеля представлены в таблице 2.

Фрактальная размерность во всех случаях близка к 1,0, что свидетельствует о преобладании детерминированной составляющей в структуре слу-

Table 2					Таблица 2				
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЯ ХЕРСТА									
HURST EXPONENT CALCULATION RESULT									
Культура Culture	Формула аппроксимации, $(R/S)_{cp}$ Approximating expression, $(R/S)_{sr}$	Достоверность аппроксимации, R_2 Approximation validity, R_2	Показатель Херста, H Hurst exponent, H	Фрактальная размерность Fractal dimension					
Картофель Potato	$0,4371n^{0,8658}$	0,9954	0,8658	1,13					
Огурец Cucumber	$0,5964n^{0,6506}$	0,9902	0,6506	1,35					

чайного временного ряда, характеризующего процесс транспирации всходов картофеля. На процесс транспирации воздействуют случайные факторы, среди которых могут быть доминирующие. Исследуем случайные временные ряды транспирации при естественном (результаты эксперимента с рассадой огурца с фрактальной размерностью ряда 1,35) и искусственном освещении (результаты эксперимента с всходами картофеля с фрактальной размерностью 1,13) и их вероятностные характеристики, для чего выделим детерминированную и случайную составляющие.

За детерминированную составляющую примем линию тренда временного ряда транспирации. Случайную составляющую найдем вычитанием величин исходного временного ряда из значений тренда этого ряда. Далее определим вероятностные характеристики. Результаты вычислений СКО и дисперсии представлены в таблице 3.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Значения коэффициентов корреляции (таблица 1) близки к 1,0. Следовательно, связь между параметром порядка и переменной управления достаточно высокая, что говорит о кооперативности действия элементов системы, то есть о выполнении третьего признака синергетики – соблюдении принципа подчинения, при котором параметры управления системы подчинены переменной порядка.

Далее рассмотрим фрактальные размерности временных рядов транспирации при естественном и искусственном освещении, таблица 4.

Фрактальная размерность при искусственном освещении близка к 1,0, что говорит о преобладании детерминированной составляющей в структуре случайного временного ряда, характеризующего процесс транспирации всходов картофеля. Проанализируем случайные временные ряды транспирации при естественном и искусственном освещении и их вероятностные характеристики при математическом ожидании, равном нулю, что характерно для централизованных составляющих, таблица 3.

Среднеквадратическое отклонение (СКО) и дисперсия для искусственного освещения, где фрактальная размерность близка к единице, имеют малые значения, что свидетельствует о преобладании детерминированной составляющей в структуре случайного временного ряда. Среднеквадратическое отклонение и дисперсия централизованной случайной составляющей, где размерность значительно отличается от 1,0, имеют большие величины, что говорит о преобладании случайной составляющей в структуре случайного временного ряда транспирации.

Для дальнейших исследований про-

Table 3 Таблица 3

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛУЧАЙНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ТРАНСПИРАЦИИ ПРИ ЕСТЕСТВЕННОМ И ИСКУССТВЕННОМ ОСВЕЩЕНИИ
RANDOM TIME SERIES PROBABILISTIC CHARACTERISTICS OF TRANSPIRATION IN NATURAL AND ARTIFICIAL LIGHTING

Тип освещения, D Type of lighting, D	Центрирование по тренду Trend centering	
	среднеквадратическое отклонение mean square deviation	дисперсия dispersion
Естественное 1,35 Natural	0,70	0,49
Искусственное 1,13 Artificial	0,28	0,08

дукционных процессов в растении исключим воздействие случайных факторов и определим транспирацию, для чего рассчитаем изменение расхода воды через растение под действием освещенности. Транспирация при воздействии искусственного постоянного освещения также постоянна: $T = 1,46 \text{ г/дм}^2\text{ч}$.

Коэффициент корреляции между значениями временного ряда с постоянной величиной транспирации и значениями временного ряда роста площади листьев, измеренного в отсутствие случайных факторов, равен 0,91, что означает высокую степень связи этих двух процессов и достаточно сильное влияние искусственного освещения как постоянного фактора на продукционные процессы в растении.

Другой немаловажный результат проведенных исследований касается связи фрактальной размерности транспирационных процессов и продуктивности растений, то есть коррелирования испарительного охлаждения и роста зеленой массы (табл. 4).

Ограничение воздействия случайных внешних факторов на транспирацию и продукционные процессы может привести к усилению корреляционной связи между транспирационными и продукционными процессами почти в 5 раз.

Выводы

Обнаружено новое свойство транспирации – испарительного охлаждения растения в ходе фотосинтеза: транспирация есть диссипативный случайный по характеру и самоорганизующийся термодинамический процесс в открытой системе. Показано, что существует характерная для процесса самоорганизации кооперативная связь параметра порядка E_m (нагрев листьев под действием тепловой эксергии СИ) и параметра управления T (охлаждающая транспирация). Так, коэффициенты корреляции между временными рядами E_m и T для рассады огурца, фасоли и всходов картофеля соответственно равны 0,73, 0,84 и 0,91, что подтверждает новое свойство процесса транспирации как диссипативного самоорганизующегося процесса, лежащего в основе механизма транспирационного орошения.

Получила дальнейшее развитие научная гипоте-

Table 4 Таблица 4

СВЯЗЬ ТРАНСПИРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ И ПРОДУКТИВНОСТИ РАСТЕНИЙ
TRANSPIRATION PROCESSES AND PLANT PRODUCTIVITY RELATION

Тип освещения Type of lighting	Коэффициент корреляции Correlation coefficient
Естественное Natural light	0,11
Искусственное Artificial light	0,53

за о влиянии лимитирующих климатических факторов на теоретический предел не только продуктивности растений, но и плодородия земельного угодья.

Исследованиями выявлено, что процесс транспирации при сокращении влияния лимитирующих факторов на него как на показатель продукционных процессов будет носить более детерминированный характер. Его фрактальная размерность приближается к 1,0. И наоборот чем интенсивнее действие лимитирующих факторов, тем более случайный характер имеет временной ряд транспирации, и его фрактальная размерность приближается к 1,5.

Так, при искусственном интенсивном освещении всходов картофеля фрактальная размерность равна 1,1, а дисперсия временного случайного ряда транспирации снизилась более чем в 6 раз по сравнению с аналогичным временным рядом при естественном освещении СИ, где присутствуют лимитирующие факторы. Снижение дисперсии отразилось на таком показателе, как рост зеленой массы растения.

Ограничение воздействия случайных внешних лимитирующих факторов на продукционные процессы приводит к усилению корреляционной связи между транспирационными и продукционными процессами почти в 5 раз. Более полное ограничение воздействия случайных внешних лимитирующих факторов на продукционные процессы приводит к усилению корреляционной связи между транспирационными и продукционными процессами и росту последних. Коэффициент корреляции между значениями временного ряда с постоянной величиной транспирации и значениями временного ряда роста площади листьев равен 0,91, что означает высокую степень связи этих двух процессов и достаточно сильное влияние постоянного фактора – искусственного освещения на усиление продукционных процессов в растении.

Учитывая, что фрактальная размерность временного ряда транспирации для случая, когда все факторы будут отвечать естественным условиям кроме освещенности, равна 1,1 против 1,35 при естественном освещении, можно заключить, что фрактальная размерность может служить индикатором продукционных процессов в растении.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жученко А.А. Обеспечение продовольственной безопасности России в XXI веке на основе адаптивной стратегии устойчивого развития АПК (теория и практика) // *Трибуна Академии наук*. Вып. N5. М.: Фонд «Знание им. С.И. Вавилова», 2008. 97 с.
2. Свентицкий И.И. Биоэнергетика в селекции, растениеводстве и биотехнологиях. М.: Высшая школа, 2008. С. 458-482.
3. Мудрик В.А., Свентицкий И.И. Биоэнергетические аспекты оценки влагообеспеченности растений. Пушкино: Пушкинский центр биологических исследований АН СССР, 1981. 23 с.
4. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980. 405 с.
5. Хакен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам. М.: КомКнига, 2005. 248 с.
6. Petela R. Exergy of undiluted thermal radiation "Solar Energy". 2003; 74: 469-488.
7. Grishin A.P., Grishin A.A., Grishin V.A. Vodnyi rezhim rassady ogurca, tomata i fasoli // *News of science and education*, 2017; 5: 53-60.
8. Петерс Э. Фрактальный анализ финансовых рынков. М.: Интернет-трейдинг, 2004. 304 с.
9. Гришин А.П. Целенаправленность действия информации в транспирационном орошении // *Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации государственной программы развития сельского хозяйства: Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции*. Ч. 2. М.: ВИМ, 2015. С. 224-228.
10. Гришин А.П. Энергетические потоки процесса транспирации у растений // *Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации государственной программы развития сельского хозяйства: Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции*. Ч. 2. М.: ВИМ, 2015. С. 210-214.
11. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Сизов О.А., Ахалая Б.Х. Агротехническое и экологическое обоснование эффективности (целесообразности) использования биоактивных технологических способов обработки почвы в системе машинных технологий для обработки залежей и запущенных угодий // *Система технологий в АПК России: Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики академика В.П. Горячкина*. ВИМ, 2013. С. 127-130.

REFERENCES

1. Zhuchenko A.A. Obespechenie prodovol'stvennoj bezopasnosti Rossii v XXI veke na osnove adaptivnoj strategii ustojchivogo razvitiya APK (teoriya i praktika) // *Tribuna Akademii nauk*. Volume. N5. М.: Foundation «Znanie im. S.I. Vavilova», 2008: 97. (In Russian).
2. Sventiczkiy I.I. Bioenergetika v selekcii, rastenievodstve i biotexnologiyax // *Sel'skoxozyajstvennaya biotexnologiya*. М.: Vysshaya shkola, 2008: 458-482. (In Russian).
3. Mudrik V.A., Sventiczkiy I.I. Bioenergeticheskie aspekty ocenki vlagoobespechennosti rastenij. Pushchino: Pushhinskij centr biologicheskix issledovanij AN SSSR, 1981: 23.
4. Haken G. Sinergetika. М.: Mir. 1980: 405. (In Russian).
5. Haken G. Informaciya i samoorganizaciya. Makroskopicheskij podxod k slozhny'm sistemam. М.: KomKniga, 2005: 248. (In Russian).
6. Petela R. Exergy of undiluted thermal radiation "Solar Energy", 74. 2003: 469-488.
7. Grishin A.P., Grishin A.A., Grishin V.A. Vodnyj rezhim rassady ogurca, tomata i fasoli // *News of science and education*, 2017; 5: 53-60. (In English)
8. Peters E. Fraktal'nyi analiz finansovyh rynkov. М.: Internet-trading, 2004: 304. (In Russian).
9. Grishin A.P. Celenapravlennost' dejstviya informacii v transpiracionnom oroshenii // *Intellektual'nye mashinnye tehnologii i tehnika dlya realizacii gosudarstvennoj programmy razvitiya sel'skogo xozyajstva: Sbornik nauchny'x dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj konferencii*. Vol. 2. М.: VIM, 2015; 224-228. (In Russian).
10. Grishin A.P. Energeticheskie potoki processa transpiracii u rastenij // *Intellektual'nye mashinnye tehnologii i tehnika dlya realizacii gosudarstvennoj programmy razvitiya sel'skogo xozyajstva: Sbornik nauchny'x dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj konferencii*. Vol. 2. М.: VIM, 2015: 210-214. (In Russian).
11. Izmailov A.Yu., Lobachevsky Ya.P., Sizov O.A., Akhalaya B. Kh., Agrotechnical and environmental justification of efficiency (expediency) of the use of bioactive technological treatment soil in the system of machine technologies for processing deposits and neglected land // *System of technologies in Russian agro-industry. Collection of scientific reports of the International scientific and technical conference dedicated to the 145 th anniversary of the birth of the founder of agricultural mechanics academician V.P. Goryachkin*. VIM. 2013: 127-130.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Оптимальный профиль передней поверхности чизельного рабочего органа

Яков Петрович Лобачевский, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, первый заместитель директора, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация, e-mail: lobachevsky@yandex.ru;

Сергей Иванович Старовойтов, кандидат технических наук, доцент, Брянский Государственный аграрный университет, с. Кокино, Выгоничский район, Брянская область, Российская Федерация, e-mail: starovoitov.si@mail.ru

Культиваторы для ухода за парами и пропашными культурами снабжаются рабочими органами различных типов, в том числе чизельными долотообразными. К основным конструктивным параметрам долотообразного рыхлительного рабочего органа относят вылет носка, радиус кривизны передней поверхности, угол между касательной к носку и дном борозды. Передняя поверхность составлена из двух участков. Первый участок имеет форму логарифмической спирали, второй представлен прямой линией. Угол между касательной к носку и дном борозды зависит от угла внутреннего трения и находится в интервале 35-40 градусов. Обосновали, что радиус кривизны, определяющий боковую форму долотообразной лапы, в основном зависит от величины внутреннего угла трения деформируемой почвы. (*Цель исследования*) Получить аналитическую зависимость профиля передней поверхности чизельного рабочего органа, позволяющей работать на почвах с различным гранулометрическим составом. (*Материалы и методы*) Предположили, что условие устойчивого скольжения почвенного пласта с различным гранулометрическим составом по поверхности долотообразной рыхлительной лапы выполнимо, если произведение проекций касательных реакций элементарной площадки поверхности на проекции участка траектории движения меньше нуля. Установили, что проекция касательного усилия элементарной площадки поверхности зависит от коэффициента соответствия угла поворота величине заглубления, величины заглубления элементарной площадки, от коэффициента внешнего трения почвы и первой производной функции кривой поверхности. (*Результаты и обсуждение*) Показали, что коэффициент кривой квадратичной параболы, описывающей поверхность долотообразной лапы, определяется с учетом ее плавности и непрерывности при изменении текущего значения вертикальной координаты профиля боковой поверхности долотообразной лапы при фиксированных значениях вылета носка и глубины хода. Определили, что боковой профиль проектируемой долотообразной лапы не зависит от свойств почвы. При этом величина начального угла соответствует требованию, при котором деформации не распространяются ниже носка, а элементарные реакции пересекают дневную поверхность поля. (*Выводы*) Выявили, что угол подъема поверхности бокового профиля рыхлительной лапы составляет 26 градусов 50 минут. Получили, что криволинейная поверхность долотообразной лапы описывается квадратичной параболой, а коэффициент кривой параболы, описывающей профиль поверхности долотообразной лапы, будучи отрицательным, равен отношению вылета лапы к удвоенному параметру глубины хода.

Ключевые слова: почвообработка, почвообрабатывающий чизельный рабочий орган, долотообразная лапа, конструктивные параметры, профиль поверхности.

■ **Для цитирования:** Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И. Оптимальный профиль передней поверхности чизельного рабочего органа // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №2. С. 26-30. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-2-26-30

Optimum Profile of Chisel Front Surface

Yakov P. Lobachevskiy, Dr. Sc. (Eng.), corr. member of RAS, first deputy director, Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM, Moscow, Russian Federation, e-mail: vim@vim.ru;

Sergey I. Starovoytov, Ph. D. (Eng.), associate professor, Bryansk State Agrarian University, vil. Kokino, Vygonichi district, Bryansk region, Russian Federation, e-mail: starovoitov.si@mail.ru

Cultivators for fallow and intertilled crops cultivation have several types of chisel. The key design data of a chisel are a tip overhang, radius of curvature of the front surface, an angle between a tangent to the tip and the furrow bottom. The radius of curvature of the front surface consists of two parts. The first one is in the form of a logarithmic spiral, the another is as a straight line. The angle between the tangent to the top and the furrow bottom depends on the angle of internal friction. It is in an interval of 35-40 degrees. The curvature radius and a lateral form of chisel generally depend on the size of an internal angle of friction of the deformable soil. (*Purpose of research*) To obtain an analytical dependence of the front surface



profile of the chisel working body, which allows to work on soils with different granulometric composition and angle of internal friction. (*Materials and methods*) The authors assumed that the condition of steady sliding of soil layer with various aggregate-size distribution on the chisel surface is feasible if the product of the projections of the tangential reactions of the elemental area of the surface and projections of the movement trajectory is less than zero. The projection of the tangential reactions of the elemental area of the surface depends on the concordance of the rotation angle to the size of digging-in, also on the deepening of the elementary area, the coefficient of external friction of the soil, and the first derivative of the function curve of the surface. The curve coefficient of a quadratic parabola outlining the surface of a chisel was estimated considering its smoothness and continuity. (*Results and discussion*) At the same time the current value of vertical coordinate of chisel lateral surface changed when the fixed values of tip overhang and running depth. The lateral profile of the as-designed chisel does not depend on soil characteristics. The size of the initial angle corresponds to the requirement that the deformation does not extend below the tip, and elementary reactions cross the surface of the field. (*Summary*) The angle of grade of the lateral profile surface of the chisel makes 26 degrees and 50 minutes. The curved surface of the wedge-shaped mouldboard is described by the function square parabola. The coefficient of the curve parabola describing a profile of a chisel surface, being negative, is equal to ratio of chisel overhang to the doubled parameter of the running depth.

Keywords: Soil cultivation; Soil-cultivating working tool; Chisel; Design requirements.

For citation: Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I. Optimum profile of chisel front surface. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018; Vol. 12; 2: 26-30. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-1-26-30

Культивацией называют поверхностную обработку почвы для ухода за парами и пропашными культурами. Рыхлительные рабочие органы обеспечивают создание необходимых условий для посева и ухода за полевыми культурами [1-4].

Различают оборотные, копьевидные, долотообразные рабочие органы. К основным конструктивным параметрам долотообразной рыхлительной лапы относят вылет носка, радиус кривизны передней поверхности, угол между касательной к носку и дном борозды (угол подъема). Рыхлительные лапы предназначены для рыхления почвы на глубину до 25 см [5, 6]. Критическая глубина резания долотообразной лапы определяется по формуле [7, 8]:

$$h_{кр} = \frac{b \left[0,1 \frac{\sigma_c}{\sigma_p} (1 + 3tg\psi) \right] - 2,5}{4,2 + ctg\alpha}, \quad (1)$$

где b – ширина долотообразной лапы, м;
 σ_c – предел прочности почвы на сжатие, Па;
 σ_p – предел прочности почвы на растяжение, Па;
 ψ – угол скалывания почвы, рад;
 α – угол подъема, град.

По данным Зеленина А.Н., при углах подъема $\alpha = 25^\circ - 45^\circ$ критическая глубина резания

$$h_{кр} = (2,5...4)b. \quad (2)$$

Радиус кривизны определяет боковую форму рыхлителя. Ее выбор может быть осуществлен теоретическим или экспериментальными методами. Основой теоретических методов служат предположения Березанцева В.Г., где рассчитываются величины пассивного давления на подпорные стенки в условиях предельного равновесия среды [9].

Экспериментальные методы базируются на возможности построения линий скольжения. Линия скольжения перед рабочим органом ограничивает блок по-

чвы, участвовавший в деформации одного цикла. Значительный интерес представляет собой метод Одэ. Он предполагает, что линия скольжения состоит из двух участков: первый имеет форму логарифмической спирали, второй представляет собой прямую линию. В итоге поверхность бокового профиля имеет очертания логарифмической спирали с углом подъема:

$$\alpha = 45^\circ - \frac{\varphi_{внут}}{2}, \quad (3)$$

где $\varphi_{внут}$ – величина внутреннего угла трения, град.

Данная величина начального угла способствует тому, что деформации не распространяются ниже носка, элементарные реакции пересекают дневную поверхность поля, что способствует наилучшему качеству крошения [4].

Вылет носка лапы:

$$L = h_{кр} \left(tg \Theta_H + \frac{\cos \varphi_{внут}}{e^{\Theta_H \times tg \varphi_{внут}} e^{\Theta_H} \cos \Theta_H} \right), \quad (4)$$

где Θ_H – величина текущего полярного угла нижней кромки профиля, град.;

Θ_v – величина полярного угла для определения верхней кромки бокового профиля рабочего органа, град.

Величину текущего полярного угла нижней кромки бокового профиля определяют по формуле:

$$\Theta_H = \frac{3}{2} \varphi_{внут} - 45^\circ. \quad (5)$$

Величина полярного угла для определения верхней кромки бокового профиля рабочего органа равна:

$$\Theta_v = 90^\circ - \varphi_{внут}. \quad (6)$$

Таким образом, радиус кривизны, определяющий боковую форму долотообразной лапы, в основном зависит от величины внутреннего угла трения деформируемой почвы. А для практических целей важно то обстоятельство, что долотообразная лапа должна работать на почвах, отличающихся

по гранулометрическому составу и, соответственно, величине внутреннего угла трения [10].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ – получение аналитической зависимости профиля передней поверхности доло-тообразной лапы, позволяющей работать на почвах с различным гранулометрическим составом и, соответственно, углом внутреннего трения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Известно выражение для определения работы при внедрении рабочего органа чизельного культиватора [11]:

$$A = \sigma \int_0^{x_0} dx \int_{h(x)}^H \varphi(x; h) dh, \quad (7)$$

где σ – нормальное напряжение на поверхности кривой рабочего органа, Н/м;

x_0 – горизонтальная координата исследуемой кривой, м;

H – максимальная величина заглабления, м;

$h(x)$ – глубина, при которой элементарная площадка кривой рабочего органа вступит в контакт с почвой, м.

Функция φ равна:

$$\varphi(x; h) = dN_x dl_x + dN_y dl_y + dT_x dl_x + dT_y dl_y, \quad (8)$$

где dN_x , dN_y – проекции нормальных усилий элементарной площадки кривой рабочего органа на оси координат, Н;

dT_x , dT_y – проекции касательных усилий элементарной площадки кривой рабочего органа на оси координат, Н;

dl_x , dl_y – проекции участка траектории движения площадки кривой рабочего органа на оси координат, м.

Коэффициент квадратичной параболы, описывающей профиль передней поверхности доло-тообразной лапы, должен обеспечивать устойчивое скольжение почвенного пласта от режущей кромки к вершине. Это будет в случае, если векторы $d\vec{T}$ и $d\vec{l}$ в любой точке поверхности рабочего органа и при любом заглаблении составляют между собой тупой угол. При этом соблюдается следующее условие:

$$dTdl < 0, \quad (9)$$

или же в развернутой форме:

$$dT_x dl_x + dT_y dl_y < 0. \quad (10)$$

Начальные условия для пассивных рабочих органов следующие: рабочий орган заглабился в почву полностью – $h(x) = 0$; поворот при его заглаблении отсутствует – $k = 0$; вдоль траектории заглабления рабочий орган не перемещается – $a(h) = const$; $a'(h) = 0$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Рассмотрим выражение (10) с учетом представленных выше начальных условий. Проекция касательного усилия элементарной площадки кривой рабочего органа на ось x равна:

$$dT_x = f_{внеш} [\cos(kh) - f'(x) \sin(kh)], \quad (11)$$

где k – коэффициент соответствия угла поворота величине заглабления, рад/м;

h – величина заглабления элементарной площадки кривой поверхности, м;

$f_{внеш}$ – коэффициент внешнего трения почвы;

$f'(x)$ – первая производная функции кривой поверхности. Следовательно:

$$dT_x = f_{внеш} [\cos(0 \cdot h) - f'(x) \sin(0 \cdot h)];$$

$$dT_x = f_{внеш} \cdot f'(x).$$

Проекция касательного усилия элементарной площадки кривой рабочего органа на ось y :

$$dT_y = f_{внеш} [\sin(kh) + f'(x) \cos(kh)];$$

$$dT_y = f_{внеш} [\sin(0 \cdot h) + f'(x) \cos(0 \cdot h)]; \quad (12)$$

$$dT_y = f_{внеш} \cdot f'(x).$$

Проекция участка траектории движения площадки кривой рабочего органа на ось x :

$$dl_x = [-k(x \sin(kh) + f(x) \cos(kh)) + a'(h)], \quad (13)$$

где $a'(h)$ – первая производная функции кривой заглабления:

$$dl_x = [0 \cdot (x \sin(0 \cdot h) + 0 \cdot \cos(0 \cdot h)) + 0];$$

$$dl_x = 0.$$

Проекция участка траектории движения площадки кривой рабочего органа на ось y :

$$dl_y = [k(\cos(kh) - f(x) \sin(kh)) - 1];$$

$$dl_y = [0 \cdot (x \cos(0 \cdot h) - 0 \cdot \sin(0 \cdot h)) - 1]; \quad (14)$$

$$dl_y = -1.$$

Таким образом, реализация условия (10) имеет следующий вид:

$$f_{внеш} \cdot f'(x) = 0.$$

Функция $y = f(x)$ представлена следующим выражением:

$$y = a_1 x^2 - a_1 x_0 x + \frac{y_0}{x_0} x, \quad (15)$$

где a_1 – коэффициент кривой параболы, описывающей профиль поверхности доло-тообразной лапы;

x – вертикальная координата профиля боковой поверхности доло-тообразной лапы;

x_0 – величина заглабления лапы;

y_0 – вылет носка лапы.

Выбор представления функции квадратичной параболой возможен, так как и в теории устойчивости стержневых систем условие Лагранжа – Дирихле описывает форму стержня квадратичной параболой [12].

Тогда первая производная выражения (15) имеет вид:

$$f'(x) = 2a_1 x - a_1 x_0 + \frac{y_0}{x_0}.$$

Следовательно,



Table Таблица										
К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРА y ПРИ РАЗНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ x И a_1 TO DETERMINATION OF PARAMETER y AT DIFFERENT VALUES x AND a_1										
x	Коэффициент a_1 , Coefficient a_1									
	-51,25	-25,63	-17,08	-12,81	-10,25	-8,54	-7,32	-6,41	-5,69	-5,13
0°	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,01	0,11	0,06	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
0,02	0,21	0,11	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
0,03	0,29	0,16	0,12	0,10	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06
0,04	0,37	0,21	0,15	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07
0,05	0,44	0,24	0,18	0,15	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,09
0,06	0,49	0,28	0,20	0,17	0,15	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10
0,07	0,54	0,30	0,23	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12
0,08	0,57	0,33	0,25	0,20	0,18	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13
0,09	0,60	0,35	0,26	0,22	0,19	0,18	0,16	0,16	0,15	0,14
0,10	0,62	0,36	0,27	0,23	0,21	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15
0,11	0,62	0,37	0,28	0,24	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16
0,12	0,62	0,37	0,29	0,25	0,22	0,20	0,19	0,18	0,18	0,17
0,13	0,60	0,37	0,29	0,25	0,23	0,21	0,20	0,19	0,19	0,18
0,14	0,57	0,36	0,29	0,25	0,23	0,22	0,20	0,20	0,19	0,19
0,15	0,54	0,35	0,28	0,25	0,23	0,22	0,21	0,20	0,20	0,19
0,16	0,49	0,33	0,27	0,25	0,23	0,22	0,21	0,21	0,20	0,20
0,17	0,44	0,30	0,26	0,24	0,23	0,22	0,21	0,21	0,20	0,20
0,18	0,37	0,28	0,25	0,23	0,22	0,22	0,21	0,21	0,20	0,20
0,19	0,29	0,24	0,23	0,22	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,20
0,20	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21

$$f_{\text{внеш}} \left(2a_1x - a_1x_0 + \frac{y_0}{x_0} \right) = 0.$$

Коэффициент внешнего трения по определению не равен нулю, поэтому нулевое значение будет иметь выражение в скобках:

$$2a_1x - a_1x_0 + \frac{y_0}{x_0} = 0.$$

Преобразуем полученное выражение:

$$a_1(2x - x_0) + \frac{y_0}{x_0} = 0.$$

Искомый коэффициент равен:

$$a_1 = -\frac{y_0}{x_0(2x - x_0)}. \tag{16}$$

Параметр x_0 соответствует величине заглубления долотообразной лапы, параметр y_0 – вылету носка (рисунк). В качестве примера принимаем $x_0 = 0,2$ м; $y_0 = 0,2$ м.

Для определения значения a_1 зададим параметр x в интервале $0 \leq x \leq x_0$ с шагом 0,01.

Предпочтение отдаем отрицательному значению a_1 .

На рисунке представлена геометрия боковой поверхности долотообразной рыхлительной лапы с учетом $a_1 = -5,13$; $x_0 = 0,2$ м; $y_0 = 0,21$ м.

В последующих столбцах таблицы представлены расчетные значения параметра y по выраже-

нию (15) при отрицательной величине a_1 .

Выполнению условия плавности и непрерывности $y \leq y_0$ соответствует значение $a_1 = -5,13$. Данное значение может быть получено по формуле:

$$a_1 = -\frac{y_0}{x_0^2}. \tag{17}$$

Угол подъема α составляет $26^\circ 50'$. Величина соответствует предъявляемым условиям.

Выводы

1. Боковой профиль разработанного долотообразного чизельного рабочего органа оптимален для обработки почвы различного гранулометрического состава.

2. Величина начального угла соответствует требованию, при котором деформации не распространяются ниже носка, а элементарные реакции пересекают дневную поверхность поля.

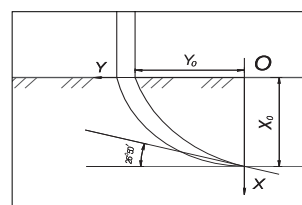


Рис. Боковой профиль проектируемой долотообразной лапы
Fig. Lateral profile of the as-designed chisel

3. Криволинейная поверхность долотообразного рабочего органа описывается функцией: $y = a_1x^2 - a_1xx_0 + (y_0/x_0)x$, а коэффициент кривой пара-

болы, описывающей профиль его передней поверхности a_1 , будучи отрицательным, равен отношению вылета лапы y_0 к удвоенному параметру глубины хода x_0 .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sacun V., Lobachevskii Ya. Langfristige trends in der entwicklung von bodenbearbeitungsgeraten. In: Agrartechnische Berichte. Reports on the section «Agriculture Machinery». 1993: 76-82.
2. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И. Физические аспекты суглинистой почвы: Монография. Брянск: Брянский ГАУ, 2015. 90 с.
3. Резников Л.А., Ещенко В.Т., Дьяченко Г.Н., Сокол Н.А. Основы проектирования и расчет сельскохозяйственных машин. М.: Агропромиздат, 1991. 102 с.
4. Лобачевский Я.П. Современные почвообрабатывающие технологии. М.: МГАУ, 1999. 40 с.
5. Турбин Б.Г., Лурье А.Б., Григорьев С.М., Иванович Э.М., Мельников С.В. Сельскохозяйственные машины. Теория и технологический расчет. Ленинград: Машиностроение, 1967. 92 с.
6. Ксеневиц И.П., Варламов Г.П., Колчин Н.Н. и др. Машиностроение. Энциклопедия. Сельскохозяйственные машины и оборудование. Т. IV. М.: Машиностроение, 1998. 157 с.
7. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И. Теоретические и технологические аспекты работы рыхлительного рабочего органа // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2016. N5. С. 17-23.

8. Shmulevich I., Asaf Z. Rubinstein D. Interaction between soil and a wide cutting blade using the discrete element method. *Soil & Tillage Research*. 2007; 97: 37-50.
9. Бауков А.В., Кушнарев А.С. Использование методов механики сплошных сред при проектировании рыхлительных рабочих органов культиваторов // *Вопросы механизации сельского хозяйства*. Т. XVII. Мелитополь: Мелитопольский НИИСХ, 1971. 17 с.
10. Izmailov A., Liskin I., Lobachevskii Ya., Sidorov S., Khoroshenkov V., Mironova A., Luzhnova E. Simulation of soil-cutting blade wear in an artificial abrasive environment based on the similarity theory. *Russian Agricultural Sciences*. 2017. Vol. 43. N1. 71-74.
11. Старовойтов С.И. Исследование процесса и разработка чизельного культиватора для работы в плодово-ягодных насаждениях: Дисс. ... канд. техн. наук. М.: ВТИИСП, 1994. 82 с.
12. Ibrahmi A., Bentaher H., Hbaieb M., Maalej A., Mouazen A.M. Study the effect of tool geometry and operational conditions on mouldboard plough forces and energy requirement: Part 1. Finite element simulation. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2015; 117: 258-267.

REFERENCES

1. Sacun V., Lobachevskii Ya. Langfristige trends in der entwicklung von bodenbearbeitungsgeraten. In: Agrartechnische Berichte. Reports on the section «Agriculture Machinery». 1993: 76-82. (In German).
2. Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I. Fizicheskie aspekty suglinistoy pochvy: Monografiya [Physical aspects of the loamy soil: Monograph]. Bryansk: Bryanskiy GAU, 2015: 90. (In Russian).
3. Reznikov L.A., Eshchenko V.T., D'yachenko G.N., Sokol N.A. Osnovy proektirovaniya i raschet sel'skokhozyaystvennykh mashin [Principles of design and calculation of agricultural machinery]. M.: Agropromizdat, 1991: 102. (In Russian).
4. Lobachevskiy Ya.P. Sovremennyye pochvoobrabatyvayushchie tekhnologii [Modern soil-cultivating technologies]. M.: MGAU, 1999: 39. (In Russian).
5. Turbin B.G., Lur'e A.B., Grigor'ev S.M., Ivanovich E.M., Mel'nikov S.V. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny. Teoriya i tekhnologicheskyy raschet [Agricultural machinery. Theory and process design]. Leningrad: Mashinostroenie, 1967: 92. (In Russian).
6. Ksenevich I.P., Varlamov G.P., Kolchin N.N. i dr. Mashinostroenie. Entsiklopediya. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i oborudovanie [Machine Engineering. Encyclopedia. Agricultural machinery and equipment]. Vol. IV. M.: Mashinostroenie, 1998: 157. (In Russian).
7. Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I. Theoretical and techno-

- logical aspects of ripper working tool operation. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016; 5: 17-23. (In Russian).
8. Shmulevich I., Asaf Z. Rubinstein D. Interaction between soil and a wide cutting blade using the discrete element method. *Soil & Tillage Research*. 2007; 97: 37-50. (In English).
9. Baukov A.V., Kushnarev A.S. Using methods of continuum mechanics in the design of cultivating working bodies of the mouldboards. *Voprosy mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva*. T. XVII. Melitopol': Melitopol'skiy NIISKh, 1971: 17. (In Russian).
10. Izmailov A., Liskin I., Lobachevskii Ya., Sidorov S., Khoroshenkov V., Mironova A., Luzhnova E. Simulation of soil-cutting blade wear in an artificial abrasive environment based on the similarity theory. *Russian Agricultural Sciences*. 2017. Vol. 43; 1: 71-74. (In Russian).
11. Starovoytov S.I. Issledovanie protsessa i razrabotka chizel'nogo kul'tivatora dlya raboty v plodovo-yagodnykh nasazhdeniyakh [Research of process and development of chisel cultivator for operation in fruit and berry plantations]: Diss. ... kand. tekhn. nauk. Moscow: VTIISP, 1994: 82. (In Russian).
12. Ibrahmi A., Bentaher H., Hbaieb M., Maalej A., Mouazen A.M. Study the effect of tool geometry and operational conditions on mouldboard plough forces and energy requirement: Part 1. Finite element simulation. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2015; 117: 258-267. (In English).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Широкозахватный опрыскиватель с гибким отводом и летательными аппаратами для обработки посевов риса

Рашидхан Давлетгереевич Умаров, инженер, Дагестанский государственный аграрный университет имени М.М. Джамбулатова, г. Махачкала, Российская Федерация;

Фахретдин Магомедович Магомедов, доктор технических наук, профессор, Дагестанский государственный аграрный университет имени М.М. Джамбулатова, г. Махачкала, Российская Федерация;

Иззет Мелукович Меликов, кандидат технических наук, доцент, Дагестанский государственный аграрный университет имени М.М. Джамбулатова, г. Махачкала, Российская Федерация;

Джаминат Абдурахмановна Салатова, инженер, Дагестанский государственный аграрный университет имени М.М. Джамбулатова, г. Махачкала, Российская Федерация;

Сергей Евгеньевич Сенькевич, кандидат технических наук, доцент, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация, e-mail: vim@vim.ru

Приведен краткий анализ существующих технических решений для поверхностного внесения жидких растворов – опрыскивания, в процессе которого вносится до 75 процентов применяемых в сельскохозяйственном производстве ядохимикатов с целью сохранения урожая от вредителей, болезней и сорной растительности. (*Цель исследований*) Разработать широкозахватный опрыскиватель для посевов риса с расширенными эксплуатационно-технологическими возможностями. (*Материалы и методы*) Отметили, что основным критерием, отвечающим современным требованиям по созданию технических средств для опрыскивания, служит снижение норм расхода рабочей жидкости и уровня загрязнения окружающей среды ядохимикатами. Показали, что поступающие на рынок отечественные машины данного назначения имеют низкие технико-эксплуатационные показатели и недостаточную надежность. (*Результат и обсуждение*) Предложили конструкцию нового широкозахватного опрыскивателя для риса с расширенными эксплуатационно-технологическими возможностями, с гибким отводом и летательными аппаратами. В конструкцию включены два движителя (один с генератором тока, другой – с емкостью для раствора и напорным трубопроводом). Они оснащены рамами с натяжителями и кинематически связаны между собой гибким остовом, на котором размещены летательные аппараты и подвесные узлы растворопровода с распылителями. Подтвердили целесообразность обработки рисовых полей летательными аппаратами для обеспечения существенного сокращения потерь урожая от заболеваний растений. Предложили конструкцию широкозахватного опрыскивателя, отвечающего современным требованиям к опрыскивателям данного вида и предназначенного для применения в средних и крупных рисоводческих хозяйствах при использовании новых химических веществ с небольшими нормами расхода и усиленной биологической активностью. (*Выводы*) Провели теоретические расчеты, позволяющие обосновать конструктивно-технологические параметры разрабатываемого широкозахватного опрыскивателя, учитывающие основные факторы, оказывающие влияние на качество процесса опрыскивания. Показали, что использование представленного широкозахватного опрыскивателя позволит в рисоводческих хозяйствах применить интенсивную технологию возделывания риса, что существенно повысит эффективность защитных мероприятий и сократит нормы расхода химикатов, а также снизит затраты на транспортировку и внесение жидких рабочих растворов.

Ключевые слова: опрыскиватель, остов гибкий, летательный аппарат, рис.

■ **Для цитирования:** Умаров Р.Д., Магомедов Ф.М., Меликов И.М., Салатова Д.А., Сенькевич С.Е. Широкозахватный опрыскиватель с гибким отводом и летательными аппаратами для обработки посевов риса // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №2. С. 31-37. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-2-31-37

The Wide-Coverage Sprinkler With the Flexible Tap and Flying Machines for the Rice Sowing

Rashidkhan D. Umarov, engineer, Dagestan state agrarian University named after M.M. Dzhambulatova, Makhachkala, Republic of Dagestan, Russian Federation;

Fakhretdin M. Magomedov, Dr. Sc. (Eng.), Professor, Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov, Makhachkala, Republic of Dagestan, Russian Federation;

Izzet M. Melikov, PhD (Eng.), Associate Professor, Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatova, Makhachkala, Republic of Dagestan, Russian Federation;

Dzhaminat A. Salatova, engineer, Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatova, Makhachkala, Republic of Dagestan, Russian Federation;

Sergey E. Senkevich, PhD (Eng.), Associate Professor, Federal Scientific Agroengineering Center VIM. Moscow, Russian Federation, e-mail: vim@vim.ru

The article presents the brief analysis of existing technical determinations for spraying, the surface injection of liquid solutions, in the course of which about 75 percent of pesticides used in agricultural production are injected in order to preserve the crop from pests, diseases and weeds. (*Purpose of the study*) To develop the wide-coverage sprinkler with extended operational and technological capabilities for the rice sowings. (*Materials and methods*) It has been established that the main criterion for the up-to-date creation of the technical equipment used for spraying is the reduction of norms of the working fluid consumption and the level of environmental pollution by pesticides and also that the domestic machines for this use coming to the market have low technical performance indicators and insufficient reliability. (*Results and discussions*) The design of a new wide-coverage spraying machine with a flexible tap and vehicles for the spraying of rice and with extended operational and technological capabilities, containing two propulsion units (one with a current generator, the other with a solution tank and a pressure pipeline) has been suggested. They are equipped with the frames with tensioners and are kinematically connected to each other by a flexible carcass on which the vehicles and suspended nodes of the mud channel with spraying machines are placed. The spraying of the rice fields by vehicles confirms the expediency of their application in the rice industry for the ensuring of significant reduction in the crop losses from plant diseases. The production of new chemicals with low consumption rates and enhanced biological activity served as the basis for the development of the proposed design of wide-coverage sprinkler to meet modern requirements for sprayers of this type and intended for the use in medium and large rice farms. (*Conclusions*) The use of the presented wide-coverage sprinkler will allow farmers to apply intensive technology of rice cultivation on rice farms, and it will significantly increase the effectiveness of protective measures and reduce the consumption rates of chemicals, as well as reduce haul costs and spraying of working liquid solutions. The adoption of new technologies and technical means of plant protection that meet modern requirements are worthy of continued work on their improvement and, in particular, the creation of new technical means of weed control.

Keywords: Sprinkler, Flexible Carcase, Flying Machine, Rice.

For citation: Umarov R.D., Magomedov F.M., Melikov B.V., Salatova D.A., Senkevich S.E. The wide-coverage sprinkler with the flexible tap and flying machines for the rice sowing. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*, 2018. Vol. 12; 2: 31-37. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-2-31-37

Зерновой рис представляет собой древнейшую и самую широко распространенную продовольственную урожайную культуру с урожайностью 69-80 ц/га и выше.

Рисоводство – важная отрасль сельскохозяйственного производства России, которая вносит ощутимый вклад в обеспечение продовольственной безопасности страны.

О том, что достигнуты определенные успехи, указывают повышение урожайности и валового сбора риса как ценной продовольственной культуры, тем самым способствуя обеспечению страны рисовыми продуктами собственного производства. Но реализация потенциальных возможностей в требуемом объеме ограничивается рядом факторов, главный из которых – это потери урожая от вредных организмов (30% и более) [2].

Применение интенсивных технологий возделывания риса предъявляет жесткие требования к проведению защитных мероприятий против сорняков, вредителей и болезней. Поэтому с каждым годом усиливается внимание к проблемам безопасности

защиты риса, что требует научно обоснованного применения химических средств защиты.

Возделывание риса на одном месте при водном режиме, предусматривающем поддержание на поле меняющегося по глубине постоянного слоя воды с момента появления всходов и до восковой спелости, создает предпосылки для развития специфической сорной растительности. Высокая засоренность посевов снижает урожайность риса до 50%. При длительном возделывании риса наблюдается устойчивая стабилизация сорной растительности. Как отмечает В.Д. Агарков и др., при тридцатилетнем возделывании риса на Кубани в пахотном слое почвы содержалось: семян просянки – 2,95 тыс. шт. на 1 м² клубней камыша – 0,2 тыс. шт.; частухи камыша, сусака и других – 32,52 тыс. шт. [1].

Известно, что главное условие сохранения урожая от вредителей, болезней и сорной растительности заключается в своевременном и качественном проведении защитных мероприятий [7].

Основным методом нанесения средств защиты растений является опрыскивание, с его помощью



вносится около 75% применяемых в сельскохозяйственном производстве ядохимикатов.

Определяющими критериями при создании новых технических средств для опрыскивания служат снижение норм расхода рабочей жидкости и уменьшение уровня загрязнения окружающей среды ядохимикатами [Патент ФРГ N1299163, Кл. 45f 25/08, 1967].

Характеризуя работу средств защиты растений, авторы отмечают, что в большинстве случаев выпускаемая техника не соответствует современным агротехническим, технологическим и экологическим требованиям, а по ряду показателей экономически и экологически ущербна и представляет угрозу для окружающей среды и здоровья человека [Патент РФ на изобретение N2463785] [5].

Снижение потерь пестицидов из-за их сноса при проведении обработок в неблагоприятных погодных условиях отражено в работе [3]. В последние годы ведется определенная работа по разработке средств защиты растений, соответствующих мировому уровню, таких как распылители с открытой камерой, вращающиеся дисковые распылители, защита растений электростатическими частицами, что способствует лучшему осаждению пестицидов и проникновению их в растительный покров [Патент ФРГ N1299163, Кл. 45f 25/08, 1967].

При этом следует отметить, что поступающие на рынок отечественные сельхозмашины имеют низкие технико-эксплуатационные показатели и недостаточную надежность [6].

Наряду с этим стратегией машинно-технологической модернизации АПК страны планируется осуществить следующие предварительные задачи: обеспечить к 2020 г. рост производительности труда – в 4 раза и более; обеспечить российскому агрокомплексу техническую безопасность за счет национального сельхозмашиностроения не менее 80% [4].

Проблема заключается в том, что, во-первых, все создаваемые технические средства, особенно сложные и высокопроизводительные, должны иметь высокую техническую и технологическую надежность; во-вторых, обязательное оснащение сельхозпредприятий системами автоматизации, которые представляют собой базу или нижний уровень в многоуровневой системе интеллектуальной техники; в-третьих, созданные крупные агрегаты должны будут представлять собой эффективную организационно-экономическую базу сельского хозяйства.

В настоящее время существенно расширился ассортимент гербицидов, высокоэффективных в борьбе с сорняками риса, разработаны специальные препаративные формы для применения способа ультрамалообъемного опрыскивания. Основу для уничтожения злаковых и болотных сорняков составляют контактные гербициды, которые применяются по вегетирующим сорнякам. Однако повы-

шенная влажность почвы в чеках, наличие постоянного слоя воды не позволяют широко использовать наземную технику для их внесения, и единственным средством высокопроизводительного применения гербицидов в оптимальные сроки остается сельскохозяйственная авиация.

При этом известно, что производительность технических средств для поверхностного опрыскивания жидкими растворами находится в прямой зависимости от ширины захвата и скорости движения агрегата.

Цель исследований – разработка широкозахватного опрыскивателя для посевов риса с расширенными эксплуатационно-технологическими возможностями.

Материалы и методы. С позиции возможности значительного увеличения ширины захвата определенный интерес представляет установка для поверхностного внесения жидких растворов (патент ФРГ N1299163) и сельскохозяйственная авиация (патент ФРГ N1299163, Кл. 45f 25/08, 1967).

В соответствии с текстом описания и представленной схемой (патент ФРГ N1299163), технологическое решение включает летательный остов, заполненный газом, и снабженный растворопроводом с наконечниками-распылителями. Летательный остов связан с подвижной станцией при помощи телескопической трубы, а сама станция соединена с источником воды.

Летательные аппараты и поддерживаемый ими растворопровод связаны с двумя передвижными станциями посредством полых стоек телескопического вала. Это осложняет четкую ориентацию основного рабочего органа (растворопровода) в пространстве при возникновении естественных помех (боковой ветер, восходящие воздушные потоки). Помехи выводят аппарат из равновесного состояния, что приводит к нарушению технологических требований и ограничивает их технические возможности. Кроме того, несущая часть летательного аппарата, поддерживающая полую трубу, изготовлена из эластичного неметаллического материала, и не позволяет сохранять параллельность растворопровода по отношению к поверхности поля. Это приводит к неравномерности внесения ядохимикатов на единицу площади поверхности поля.

Сельскохозяйственная авиация, используемая в настоящее время, имеет ряд существенных недостатков, из которых следует выделить: высокую стоимость услуг, неравномерное распределение химически активных веществ по всей обрабатываемой площади, загрязнение близлежащих территорий и наличие специальной взлетно-посадочной полосы.

Результаты и обсуждение. Предполагаемый нами вариант решения помогает исправить ряд недостатков существующих аппаратов. Поставленная

в работе цель достигается техническим решением создания аппаратуры, содержащей два двигателя, один из которых снабжен генератором тока, а другой – емкостью для раствора и напорным трубопроводом. При этом оба двигателя оснащены рамами с натяжителями и кинематически связаны между собой гибким остовом, на котором размещены летательные аппараты с возможностью их перемещения и подвесные узлы растворопровода с распылителями.

Устройство (рис. а и b) содержит два двигателя 1, на которых жестко уставлены рамы 2. Гибкий остов 6 через обводной 3 и натяжной 4 ролики (рис. с и d) кинематически связаны с гидроцилиндром 5.

На гибком остове 6 размещены летательные аппараты 7 с возможностью перемещения вдоль его продольной оси. При этом на гибком остове посредством регулируемого подвесного узла 8 размещен растворопровод 9 с распылителями 10. Растворопровод связан с напорным трубопроводом 11, насосом 12 и емкостью 13 для жидкого раствора, который агрегируется с одним из двигателей 1. Другой двигатель оснащен генератором тока 14 и пультом управления 15, связанным посредством токопровода 16 с двигателем летательных аппаратов 7.

Рама с натяжителем (рис. с и d) содержит стойку 17 и балку 18. На балке размещен шарнир 19, связанный с гидроцилиндром 5. Выдвижной шток гидроцилиндра оснащен парой натяжных роликов 4. При этом на полых стойках 20 рамы с натяжителем установлены выдвижные штанги 21 с обводными роликами 3.

Регулируемый подвесной узел растворопровода (рис. е и f) содержит две втулки 22 с фиксирующими винтами 23, при этом втулки жестко связаны между собой поперечиной 24 с продольным пазом «а». Поперечина посредством болта 25 соединена с вертикально расположенной пластиной 26 с продольным пазом «b» и соединительным хомутом 27.

Летательный аппарат (рис. g) оснащен лопастным винтом 28, жестко установленным на валу двигателя 29. Корпус двигателя посредством болтов 30 соединен с плитой 31, размещенной на гибком остове 6 при помощи скоб 32.

Устройство работает следующим образом. Двигатели 1, оснащенные рамами с натяжителями 2, занимают исходную позицию, равную заданной ширине захвата, затем предварительно собранный летательный остов 6 с летательными аппаратами 7 и растворопроводом 9 с распылителями 10 соединяют с механизмом натяжения 2 посредством выдвижных штанг 21 регулируют высоту размещения гибкого остова над поверхностью обрабатываемого участка. При помощи пульта управления 15 приводят в действие летательные аппараты 7.

С помощью гидроцилиндра 5, связанного с на-

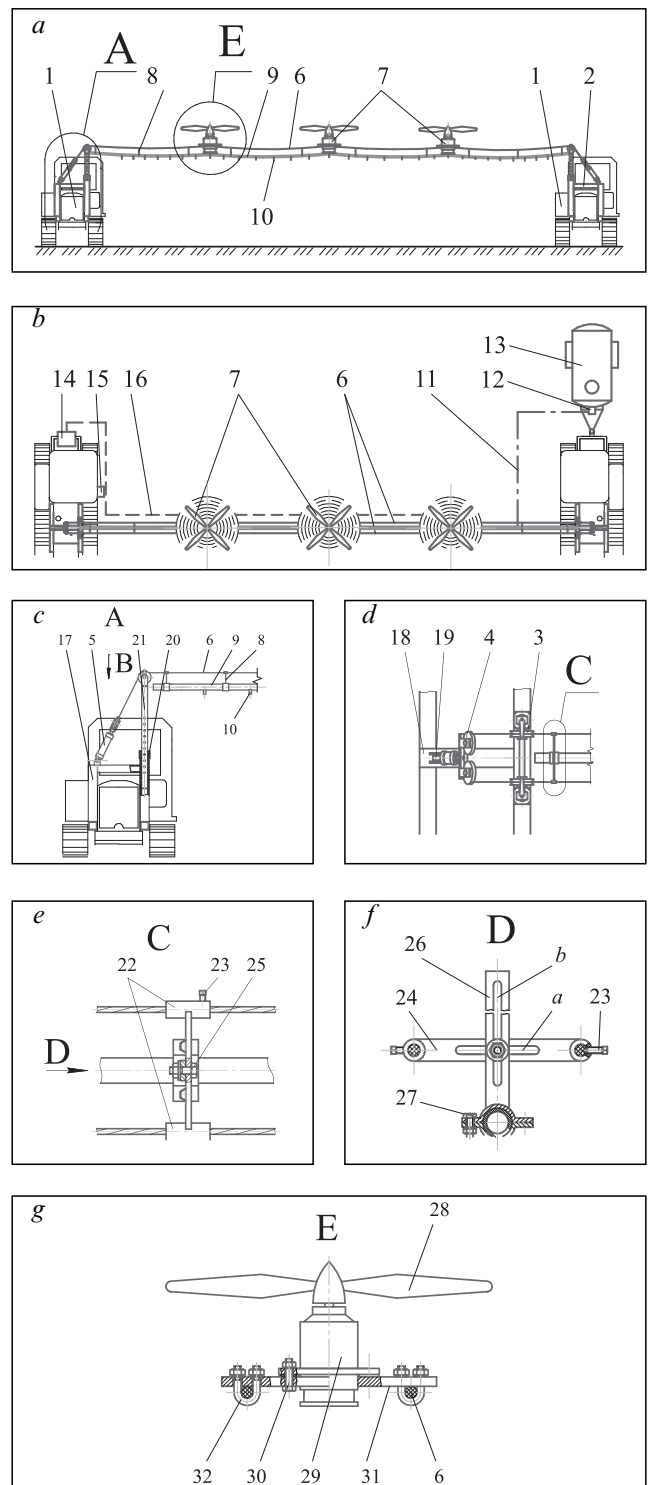


Рис. Устройство с летательными аппаратами для поверхностного внесения жидких растворов: а – вид спереди; б – вид сверху; в – вид А; д – вид В; е – вид С; ф – вид D; г – вид E
 Fig. Device with aircraft for surface application of liquid solutions: a – front view; b – top view; c – view A; d – view B; e – view C; f – view D; g – view E

тяжными роликами 4, осуществляют натяжение тросов гибкого остова 6. Затем происходит ориентация растворопровода 9 с распылителями 10 в трехмерном пространстве за счет перемещения вер-



тикально размещенной пластины 26 по направляющим пазам «а» и «б» и фиксируется болтом 25.

По завершении подготовительных работ приводят в действие насос для подачи жидкого раствора в растворопровод с распылителями. Одновременно с распылением начинается движение передвижных станций в заданном направлении.

Приведем результаты теоретического исследования процесса опрыскивания рабочей жидкостью при ультрамалом объеме опрыскивания посевов риса и рассмотрим конструктивную особенность работы широкозахватного опрыскивателя с гибким отводом и летательными аппаратами.

Исходные капли препарата, подхватываемые воздушным потоком, дополнительно разделяются, образуя капли меньшего диаметра, в виде мелкодисперсного аэрозольного облака, которое оседает на посевы риса.

Качество опрыскивания зависит от правильности выбранных параметров процесса, режимов работы и функциональных возможностей опрыскивателей. Свойства аэрозолей в большей степени зависят от размера частиц. Именно их размером определяются основные свойства частиц, такие как скорость падения, степень инерционного осаждения на обтекаемых препятствиях (коэффициент захвата), степень сноса частиц воздушным потоком, скорость испарения и так далее. В сельском хозяйстве используются аэрозоли с очень широким диапазоном размеров частиц. При этом для достижения одной и той же цели могут применяться как аэрозоли с крупными частицами, так и с более мелкими. До настоящего времени вопрос об оптимальном размере частиц аэрозоля все еще остаётся основным вопросом изучения.

В процессе опрыскивания удаётся регулировать лишь средний размер частиц аэрозоля, при этом наличие мелких, средних и крупных частиц снижает эффективность производственного процесса. По этим причинам необходимо наличие технических средств, позволяющих получить разделение жидкости на капли одинакового размера.

Опрыскивание посевов риса аэрозольным потоком – это частный случай применения аэрозолей и подчинен закономерностям и теоретическим выводам, являющихся общими для широкого класса процессов [8].

К техническим средствам для обработки посевов риса предъявляются следующие основные требования: соблюдение полного покрытия обрабатываемых посевов (достигается обеспечением подачи требуемого количества препарата) и равномерное распределение препарата. Расход жидкости в процессе опрыскивания определяет качество обработки и экономическую целесообразность процесса и остается важнейшей характеристикой ра-

боты опрыскивателя.

Минимальное количество рабочей жидкости, необходимой для обрабатываемой поверхности определяется по формуле [9]:

$$Q_{тр. min} = f(S, \sigma),$$

где S – обрабатываемая площадь, м²;

σ – коэффициент поверхностного натяжения, Н/м.

Теоретический расход рабочей жидкости опрыскивателя $Q_{т.р.ж}$ определяется по формуле:

$$Q_{т.р.ж} = V_{р.ж} n, \tag{1}$$

где $V_{р.ж}$ – объем одной капли рабочей жидкости, поступающий на 1 распылитель, м³;

n – количество распылителей, шт.

Объем одной капли можно записать как [10]:

$$V_{р.ж} = \frac{2\pi d_{ич}^3}{3k_p^2}, \tag{2}$$

где $d_{ич}$ – исходный диаметр частицы, м;

k_p – коэффициент растекания капель на обрабатываемой поверхности.

Диаметр отверстия распылителя для истечения рабочей жидкости определяют с учетом процесса образования капли, медленно вытекающей из отверстия диаметром d_0 под действием силы тяжести. При медленном истечении жидкости из отверстия в процессе формирования капель лежит баланс силы тяжести и силы поверхностного натяжения [11].

Диаметр капли d_k , образующейся в момент отрыва от сопла распылителя, определяют приравняв силу тяжести, действующую на каплю, силе поверхностного натяжения, действующей по периметру сечения отверстия распылителя.

Примем форму капли за шар. Тогда ее масса определится как:

$$m_k = \rho \frac{\pi d_k^3}{6}, \tag{3}$$

где ρ – плотность рабочей жидкости.

Формулы для определения сил тяжести F_T и поверхностного натяжения F_H имеют вид:

$$F_T = \rho g \frac{\pi d_k^3}{6}, F_H = \pi d_0 \sigma. \tag{4}$$

Исходный диаметр капель, $d_{ич}$, вытекающих из распылителя через отверстие диаметром d_0 , определяется по формуле:

$$d_{ич} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot d_0 \cdot \lim_{x \rightarrow \infty} \sigma}{\rho \cdot g}}. \tag{5}$$

Проанализируем формирование капель при разделении большой капли (истекающей из распылителя), передвигающейся потоком воздуха. На каплю действуют внешние аэродинамические силы, которые уравниваются силами поверхностного натяжения (для слабвязких жидкостей).

Наибольшее сечение капли, перпендикулярное скорости надвигающегося потока воздуха U_D , определяется по формуле:

$$S = \frac{\pi d_k^2}{4}. \quad (6)$$

Тогда справедливо равенство аэродинамических сил и сил поверхностного натяжения:

$$\frac{\pi d_k^2}{8} C_D Re U_D^2 \rho = \pi \cdot \sigma \cdot d_k, \quad (7)$$

где C_D – коэффициент сопротивления, зависящий от числа Рейнольдса, Re ;

Равенство рассматривается как начальное условие, при котором капли начинают деформироваться и разделяться.

Значение скорости надвигающегося потока воздуха определяется по формуле:

$$U_D = \sqrt{\frac{8\sigma}{C_D Re d_k \rho}}. \quad (8)$$

Скорость U_D – минимальная скорость воздушного потока, создаваемая лопастным винтом и необходимая для разделения капли диаметром d_k , истекающей из отверстия d_0 распылителя.

Таким образом, по формулам (5) и (8) диаметр капли, влияющей на качество распыла и образующейся при истечении из распылителя, зависит главным образом от диаметра его отверстия и физических параметров рабочей жидкости.

Выводы

Исследованиями по обработке рисовых полей летательными аппаратами установлена целесообразность их применения в отрасли рисоводства, так как существенно сокращаются потери урожая от заболеваний растений.

Появление химических веществ нового поколения

с малыми нормами расхода, но с большей биологической активностью, требует создания принципиально новой высокоточной, экологически и технологически надежной техники, рассчитанной на применение в средних и крупных рисоводческих хозяйствах, так как поставляемая и используемая ими техника для защиты растений не отвечает современным требованиям, предъявляемым к технике данного класса.

Внедрение принципиально новых технологий и технических средств защиты растений позволит значительно повысить эффективность защитных мероприятий и сократить нормы расхода химикатов, уменьшить энергетические затраты, связанные с приготовлением, транспортировкой и внесением рабочих растворов, что, в свою очередь, открывает возможность технического перевооружения всей области защиты растений и перевода ее на качественно новую ступень.

Разработка и производство новой техники для защиты растений должны осуществляться с учетом современных достижений отечественной и зарубежной науки, требований государственных и отраслевых стандартов, технологических и экологических требований.

Проведенные теоретические расчеты, позволяющие обосновать конструктивно-технологические параметры разрабатываемого широкозахватного опрыскивателя учитывают основные факторы, оказывающие влияние на качество процесса опрыскивания. Сотрудниками ДагГАУ продолжается работа по совершенствованию и созданию новых технических средств защиты посевов риса от сорной растительности, которая нацелена на решение данной проблемы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агарков В.Д., Сапелкин В.К., Конохова В.П., Гордейчук Б.К. Борьба с сорняками риса. М.: Колос, 1972. 147 с.
2. Ковалев В.С., Мырзин А.С. Система защиты риса // *Защита и карантин растений*. 2013. N7. С. 48-50.
3. Крук И.С., Послед Е.В., Кот Т.П., Гордеенко О.В., Маркевич А.Е. Снижение потерь пестицидов из-за сноса при проведении обработок в неблагоприятных погодных условиях // *Экология и сельскохозяйственная техника: Материалы 6-й Международной научно-практической конференции*. СПб.: Сев.-Зап. научно-исследовательского института механизации и электрификации сельского хозяйства, 2009. Т. 2. С. 50-57.
4. Фисинин В.И., Лачуга Ю.Ф., Жученко А.А. и др. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России на период до 2020 года. М.: Росинформагротех, 2009. 80 с.
5. Ревякин Е.Л., Краховецкий Н.Н. Машины для химической защиты растений в инновационных технологиях: научно-аналитический обзор. М.: Росинформагротех, 2010. 124 с.
6. Цымбал А.А., Яцков Р.П. Оценка качественных показателей опрыскивателя с электростатической подзарядкой капель // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2003. N2. С. 44-45.
7. Абдулгалимов М.М., Умаров Р.Д., Магомедов Ф.М., Меликов И.М., Сенькевич С.Е. Совершенствование технологии и средств механизации для борьбы с сорной растительностью // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N5. С. 38-42.
8. Дунский В.Ф., Никитин Н.В., Соколов М.С. Монодисперсные аэрозоли. М.: Наука, 1975. 188 с.
9. Нуртдинов Т.И. Теоретические исследования по обоснованию минимально необходимого объема рабочей жидкости для полного покрытия клубней // *Аграрная на-*



ука в инновационном развитии АПК: Материалы Международной научно-практической конференции. Уфа: БашГАУ, 2015. Ч. I.

10. Синайский Э.Г., Лапига Е.Я., Зайцев Ю.В. Сепарация многофазных многокомпонентных систем. М.: «Не-

дра-Бизнес-центр», 2002. 621 с.

11. Ma J., Ma R., Wu W., Lei X., Gou W. Advances in industrialized rice production research // *Academia Journal of Biotechnology*. 2015; N3(6). 117-121.

REFERENCES

1. Agarkov V.D., Sapelkin V.K., Konokhov V.P., Gordey-chuk B.K. Ravage of rice weeds. M.: Kolos, 1972: 147. (In Russian).

2. Kovalev V.S., Myrzin A.S. Rice protection system // Protection and quarantine of plants. 2013; 7: 48-50. (In Russian).

3. Kruk I.S., Posled E.V., Kot T.P., Gordienko O.V., Markevich A.E. Reduction of losses of pesticides from the demolition when carrying out treatments in adverse weather conditions // Ecology and agricultural machinery: proceedings of the 6th International scientific-practical conference. SPb.: Publishing House of North-West Research Institute of Mechanization and Electrification of agriculture, 2009; 2: 50-57. (In Russian).

4. Lachuga Yu. F. The Strategy of machine-technological modernization of agriculture in Russia for the period up to 2020. Moscow: Rosinformagrotekh, 2009: 80. (In Russian).

5. Revyakin E.L., Krakhovetskii N.N. Machines for the chemical protection of plants in innovative technologies: scient. – analyt. review- Moscow: Rosinformagrotekh. 2010: 124. (In Russian).

6. Tsymbal A.A., Yatskov R.P. Assessment of the sprinkler

qualitative index with the electrostatic trickle charging // *Tractors and agricultural machinery*. 2003; 2: 44-45. (In Russian).

7. Abdulgalimov M.M., Umarov R.D., Magomedov F.M., Melikov I.M., Senkevich S.E. Improvement of the technology and mechanical appliances for the weed control // *Agricultural machinery and technologies*. 2017; 5: 38-42. (In Russian).

8. Dunsky V.F., Nikitin N.V., Sokolov M.S. Monodisperse aerosols. M.: Science, 1975: 188. (In Russian).

9. Nurtdinov T.I. Theoretical studies on the reasoning of the minimum required volume of the working fluid for complete coating of tubers / Agrarian science in the innovative development of the agroindustrial complex: materials. Intern. scientific and practical. Conf. Ufa: Publishing House of Bashkir State Agrarian University. 2015: Part I.

10. Sinaisky E.G., Lapiga E.Ya., Zaitsev Yu.V. Separation of the multiphase and multicomponent systems. M.: Nedra-Business Center. 2002: 621. (In Russian).

11. Ma J., Ma R., Wu W., Lei X., Gou W. Advances in industrialized rice production research // *Academia Journal of Biotechnology*. 2015; 3(6): 117-121.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

объявляет набор

на бюджетные и платные места

высшее образование – программа подготовки научно-педагогических кадров

в аспирантуру и магистратуру

на 2018-19 учебный год

Лицензия №2498 от 15.02.2016

Государственная аккредитация №2475 от 19 января 2017 года

Адрес института: 109428, Москва, 1-й Институтский проезд, 5.

Телефон для справок: 8 (499) 709-33-68

Влияние распределения нагрузки по осям машинно-тракторных агрегатов на глубину следа

Иван Николаевич Шило, доктор технических наук, профессор, Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь;

Николай Николаевич Романюк, кандидат технических наук, доцент, Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: romanyuk-nik@tut.by;

Александр Николаевич Орда, доктор технических наук, профессор, Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь);

Саяхат Оразович Нукешев, доктор технических наук, профессор, Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г. Астана, Республика Казахстан

При выполнении различных сельскохозяйственных операций площадь, покрываемая колесами машинно-тракторных агрегатов (МТА), при движении превышает площадь самого поля. (*Цель исследования*) Обосновать закономерности накопления повторных осадок почвы и влияние характера распределения нагрузки по осям машинно-тракторных агрегатов на глубину следа колеса. (*Материалы и методы*) Разработали математический аппарат для описания влияния явлений, связанных с переукладкой частиц почвы при повторных ее нагружениях. Переуплотненные участки почвы создают повышенное сопротивление при последующих ее обработках, что влечет перерасход топлива и снижение производительности МТА. Разрушенная структура почвы полностью не восстанавливается, в результате чего интенсивно обрабатываемый пахотный слой с течением времени деградирует, что ведет к нарушению экологии агроландшафтов. Провели экспериментальные лабораторные исследования влияния свойств почвы и характера нагружения колес на глубину следа. Определили, что закономерности накопления повторных осадок подчиняются зависимости Больцмана, связывающей энтропию процесса и вероятность данного состояния (статистическая интерпретация второго начала термодинамики). Получили зависимости для определения деформации почвы с разными физико-механическими свойствами при различных режимах нагружения ходовых систем машинно-тракторных агрегатов. Рассчитали, что распределение нагрузки по осям ходовой системы влияет на глубину следа. (*Результаты и обсуждение*) Вывели зависимость для описания процесса слеодообразования на дерново-подзолистой супесчаной почве малой влажности (7,1 процента), отвечающую результатам экспериментов. Провели расчеты на основании полученной зависимости, когда осадка колес при повторных проходах осуществляется лишь за счет повышения контактных напряжений. (*Выводы*) Определили закономерность нарастания осадки почвы от деформатора при повторных нагружениях. Выявили, что полученные закономерности позволяют найти степень деформации почвы в зависимости от различных режимов работы и параметров ходовых систем МТА на различных типах почвогрунта.

Ключевые слова: ходовая система, деформация почвы, распределение нагрузки по осям, машинно-тракторный агрегат, глубина следа, контактные напряжения.

■ **Для цитирования:** Шило И.Н., Романюк Н.Н., Орда А.Н. и др. Влияние распределения нагрузки по осям машинно-тракторных агрегатов на глубину следа // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №2. С. 38-43. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-2-38-43

The Influence of Axle Load Distribution of Machine-Tractor Aggregates on the Dip of the Wheel-Track

Ivan N. Shyla, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Republic of Belarus;

Nikolai N. Ramaniuk, PhD. (Eng.), Associate Professor, Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Republic of Belarus;

Aleksandr N. Orda, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Republic of Belarus;

Sayakhat O. Nukeshev, Dr. Sci. (Eng.), Professor, S.Seifullin Kazakh Agro Technical University, Astana, Republic of Kazakhstan



It is defined that while doing some agricultural operations the area covered by the machine-tractor aggregates wheels exceeds the area of the field. (*Purpose of research*) The regularity of repeated accumulation of the soil puddling and the influence of the specificity of axle load distribution of machine-tractor aggregates on the dip of the wheel-track is justified. (*Materials and methods*) The mathematical apparatus to describe the influence of the effects connected with the soil particles reposition while the repeated loading is developed. The over consolidated soil creates some raised resistance while the following tillage which results in increased fuel consumption and lost productivity of machine-tractor aggregates. The modified soil structure is difficult to be restored entirely. As a result the intensive worked tilth top soil degrades with time which creates the ecosystem disbalance of cultivated land. The laboratory experiments of the soil features influence and the specificity of wheel loading on the dip of the wheel-track are performed. The regularity of repeated puddling accumulation being subject to Boltzman correlation which links the process entropy and the probability of this state (statistical interpretation of the principle of entropy increase) is set. (*Results and discussion*) The dependences to determine the deformation of soil with various physical and mechanical properties under different drive system loading conditions of machine-tractor aggregates are obtained. The influence of axle load distribution on the dip of the wheel-track is established. The dependence to describe the process of wheel track formation on the sod-podzolic sandy loam soil of low moisture level which corresponds to the empirical data is obtained. The calculations from the dependence obtained are performed. While doing repeated passes the wheel sinkage is provided only by the increase of contact stresses. (*Conclusions*) The regularity of the soil puddling rise from the deformer while the repeated loading is set. The regularity obtained makes possible to define the soil deformation depending on the different operating conditions and the drive system parameters of machine-tractor aggregates on different types of soil.

Keywords: Drive system, Deformation of soil, Axle load distribution, Machine-tractor aggregate, Dip of the wheel-track, Contact stresses.

For citation: Shilo I.N., Romanyuk N.N., Orda A.N. etc. The Influence of load distribution on the axles of tractor units to a depth of a trace. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12; 2: 38-43. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-2-38-43 (In Russian).

Уплотнение почвы под воздействием ходовых систем машинно-тракторных агрегатов (МТА) ведет к снижению урожайности сельскохозяйственных культур. Так, в следах тракторов урожайность зерновых снижается на 10-15%, а корнеклубнеплодов – на 20-30%. Повышение плотности почвы, вызванное воздействием движителей тракторов и сельскохозяйственных машин, привело к увеличению твердости пахотного слоя в 2-3 раза, из-за чего удельное сопротивление почвы при пахоте повысилось после прохода тракторов на 15-65%, а после транспортных средств и комбайнов – на 60-90% [1-3].

В результате техногенного воздействия ходовых систем МТА на почву происходит ее деформация, на интенсивность которой влияют режим эксплуатации техники, физико-механические свойства почвы (влажность, состав, тип и др.), специфика агрофона, сезонный период в году.

Цель исследования – обоснование закономерностей накопления повторных осадков почвы и определение влияния характера распределения нагрузки по осям машинно-тракторных агрегатов на глубину следа колеса; определение условий, при которых глубина следа будет наименьшей.

Материалы и методы. На процесс слеодообразования многоосными ходовыми системами влияют как реологические факторы, так и факторы, связанные с переукладкой частиц почвы при ее повторных нагружениях.

С помощью экспериментальной модели многоосной ходовой системы провели опыты на разных

типах слабо и сильно упрочняющихся почв (дерново-подзолистая супесчаная, суглинистая) для исследования формирования колесного следа и воздействия его на уплотнение почвенного грунта.

Результаты и обсуждение. Теоретическое обоснование и физико-математические основы расчетов. Энтропия процесса деформации почвы пропорциональна логарифму вероятности данного состояния (статистическая интерпретация второго начала термодинамики). При повторных деформациях вероятность данного состояния увеличивается с ростом числа нагружений n , величину которых удобно рассчитать, используя зависимость Больцмана ($S = c_1 \ln n + c_2$, где c_1 и c_2 – величины постоянные).

Энтропия процесса деформации почвы пропорциональна совершаемой при этом работе A_n ($S = c A_n$, где c – коэффициент пропорциональности) [4].

Работа деформации почвы состоит из суммы работ упругой и необратимой деформаций. Работа внешних сил, затраченная на упругую деформацию почвы, накапливается в ней за счет преобразования кинетической энергии в потенциальную. Эта энергия возвращается при восстановлении упругой деформации.

Энергия, затрачиваемая на необратимую деформацию почвы, не накапливается в ней, а полностью рассеивается, превращаясь во внутреннюю энергию хаотического (теплового) движения частиц.

Внутреннюю энергию почвы E представим как сумму свободной F и связанной энергий: $E = F + TS$ (где T – абсолютная температура, K ; S – энтропия

процесса деформации почвы, Дж/К) [4]. Свободная энергия F может быть превращена во внешнюю работу при обратимом изотермическом процессе. Связанная энергия TS может быть получена лишь в виде тепла. Энтропия системы служит мерой связанной энергии и возрастает только при необратимых процессах. Для вычисления удельной работы A_n найдем значение определенного интеграла:

$$A_n = \int_0^{h_n} \sigma(h) dh, \quad (1)$$

где h_n – глубина деформации почвы после n нагружений, м; $\sigma(h)$ – функциональная зависимость между напряжением σ (Па) и глубиной деформации почвы h (м).

Эксперименты показали, что зависимость при повторных нагружениях сохраняет непрерывность только для сильно упрочняющихся почв [5].

На *рисунке 1* показан график зависимости напряжения от деформации почвы при повторных нагружениях сильно упрочняющихся почв.

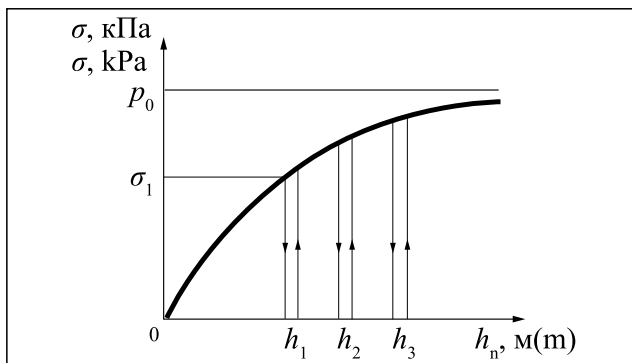


Рис. 1. График зависимости напряжения σ от деформации h для сильно упрочняющихся почв: h_1, h_2, h_3, h_n – глубина деформации почвы при (1, 2, 3...n) – нагружениях, м; p_0 – предел прочности почвы, кПа; σ_1 – напряжение почвы при первом нагружении, кПа

Fig. 1. The dependency diagram of the stress σ from the deformation h for high work-hardening soil: h_1, h_2, h_3, h_n – deformation dip of the soil while (1, 2, 3...n) wheel loading, m; p_0 – ultimate bearing soil stress, kPa; σ_1 – soil stress while the first wheel loading, kPa

Особенность деформации сильно упрочняющихся почв состоит в том, что при каждом последующем их нагружении повышается напряжение в зоне контакта с колесом по сравнению с предыдущим. Это сопровождается увеличением интенсивности нагружения при повторных деформациях, в частности из-за уменьшения площади контакта колеса с почвой при повторном проходе по следу.

Зависимость между напряжением и осадкой подчиняется функции гиперболического тангенса [6]:

$$\sigma = p_0 th \left(\frac{k}{p_0} h \right), \quad (2)$$

где p_0 – предел несущей способности почвы, Па; k – коэффициент объемного смятия почвы, Н/м³.

Подставив зависимость (2) в подинтегральное выражение (1):

$$A_n = \frac{p_0^2}{k} \ln ch \left(\frac{k}{p_0} h \right),$$

получаем формулу энтропии процесса деформации почвы:

$$S = c \frac{p_0^2}{k} \ln ch \left(\frac{k}{p_0} h \right).$$

После преобразования вышеперечисленных выражений выведем закономерность накопления повторных осадок для сильно упрочняющихся почв:

$$h_n = \frac{p_0}{k} \operatorname{Arch} \left(\frac{n^{\frac{b-k}{2}}}{\sqrt{1 - \sigma_1^2 / p_0^2}} \right), \quad (3)$$

где σ_1 – напряжение почвы при первом нагружении, кПа.

Найдем зависимость между сопротивлением и осадкой слабо упрочняющихся почв (суглинистые и глинистые высокой влажности). Характер процесса деформации слабо упрочняющихся почв показан на *рисунке 2*.

При повторных нагружениях слабо упрочняющихся почв с одинаковой по глубине плотностью рост напряжения от цикла к циклу незначителен, а нарастание глубины следа колеса весьма ощутимо. Нарастание глубины следа на таких почвах при повторных нагружениях деформатором подчиня-

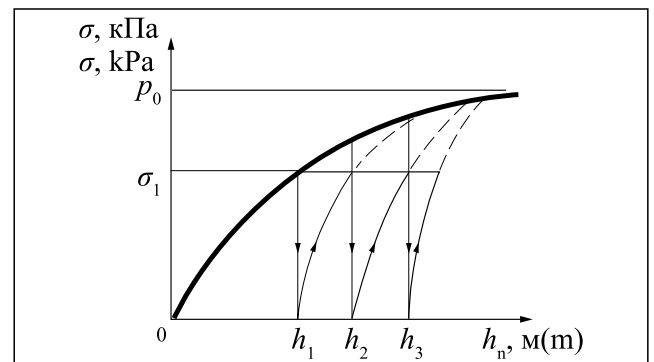


Рис. 2. График зависимости напряжения от деформации слабо упрочняющихся почв

Fig. 2. The dependency diagram of the stress from the deformation for low work-hardening soil

ется зависимости, выраженной как $h_n = h_1(1 + k_n \lg n)$ (где k_n – коэффициент интенсивности накопления необратимой деформации) [7].

Преобразовав данную зависимость и выражение (2), выведем закономерность нарастания глубины следа для слабо упрочняющихся почв:



$$h_n = \frac{P_0}{k} (1 + k_u \lg n) \text{Arch} \left(\frac{\sigma}{P_0} \right). \quad (4)$$

Зависимость между напряжением и повторными деформациями для слабо упрочняющихся почв может быть выражена кусочно-непрерывной функцией $\sigma = f(h)$, которая при каждом повторном нагружении подчиняется зависимости гиперболического тангенса.

Рассмотрим, чему равны при этом константы p_0 и k .

Сопrotивление повторным деформациям влажных почв возрастает лишь в начале каждого последующего нагружения. Когда давление будет приближаться к величине несущей способности почвы, различие сопротивлений почвы при первом приложении нагрузки и последующих нагружениях исчезнет. Поэтому можно принять, что несущая способность слабо упрочняющихся почв не зависит от количества нагружений. Увеличение сопротивления почвенного слоя в начале каждого его повторного нагружения примем как коэффициент объемного смятия почвенного слоя, или условный коэффициент объемного смятия при n -м нагружении, который зависит от интенсивности начальной деформации почвы. Выразим зависимость между напряжением и деформацией почвенного слоя при n -м нагружении:

$$\sigma_n = p_0 th \left(\frac{k_{yn}}{P_0} \Delta h_n \right), \quad (5)$$

где Δh_n – приращение осадки при n -м цикле (м). Рассчитаем k_{yn} – условный коэффициент объемного смятия

$$\left(k_{yn} = \frac{k}{k_u \lg(n/(n-1))} \right).$$

Представим зависимость между напряжением и деформацией при n -м нагружении как:

$$\sigma_n = p_0 th \left(\frac{k}{p_0 k_u \lg(n/(n-1))} \Delta h_n \right). \quad (6)$$

Описание эксперимента и расчет нарастания осадки почвы при повторных нагружениях ее деформатором. Для выявления влияния свойств почвы и характера нагружения колес на глубину следа проведены экспериментальные исследования в почвенном канале на разных типах почвенного грунта.

При проведении исследований с использованием модельной установки многоосной ходовой системы (рис. 3) напряжение и осадку почвы определяли с помощью мессдоз и индукционного следемера.

При проведении опытов на дерново-подзолистой супесчаной почве малой влажности ($W=7,1\%$) установлено, что с нарастанием глубины следа увеличиваются значения контактных напряжений (рис. 4). Для расчетов процесса следеобразования на почвах указанного типа рекомендуется приве-

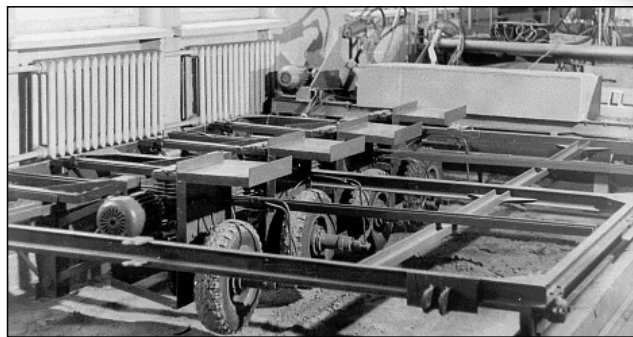


Рис. 3. Экспериментальная модель многоосной ходовой системы

Fig. 3. The experiment model of multi-axis drive system

денное выше выражение (3). При повторных проходах осадка колес происходит только за счет повышения контактных напряжений.

На суглинистой почве (влажность $W = 17,2\%$) повторные деформации не влияли на повышение напряжений в контакте колеса МТА с почвой (рис. 5). Для такого типа почв зависимость накопления повторных деформаций (4) хорошо согласуется с опытными данными.

Изучая образование ходовыми системами МТА в почве следов, необходимо учитывать коэффициент неравномерной нагрузки по осям, обусловленный закономерностью нарастания деформации почвы при повторных воздействиях различной по величине нагрузкой.

Для исследования влияния повторных проходов колес на деформацию почвы при различном распределении нагрузки по осям воспользуемся предпосылками [8-10]. При нарастании повторной нагрузки до предшествующей ей величины осадка колеса будет такой же, как и при повторном деформировании одинаковой нагрузкой.

Дальнейший рост повторной нагрузки вызывает деформацию более глубоких слоев почв; при этом осадка будет либо такой же, как и при первом нагружении, либо несколько меньшей из-за уплотнения верхнего слоя почвы. Уменьшение воздействия

оценивают коэффициентом $k_L = 1 - \left(\frac{q_i}{q_{i+1}} \right)^{n'}$,

где q_i и q_{i+1} – величина давлений при i -м и $(i+1)$ -м нагружениях, Па; ($n' = 2$ – коэффициент, полученный в результате проведения эксперимента) [8].

Тогда зависимость глубины осадки h_2 от давлений колес двухосного хода на сильно упрочняющихся почвах равна:

$$h_2 = \frac{P_0}{k} \text{Arch} \frac{2^{b(k/P_0^2)}}{\sqrt{1 - q_1^2/P_0^2}} + \frac{P_0}{k} \left(\text{Arch} \frac{q_2}{P_0} - \text{Arch} \frac{q_1}{P_0} \right) k_L. \quad (7)$$

Первый член правой части зависимости (7) включает осадку от прохода первого колеса и приращение осадки от второго колеса при достижении им

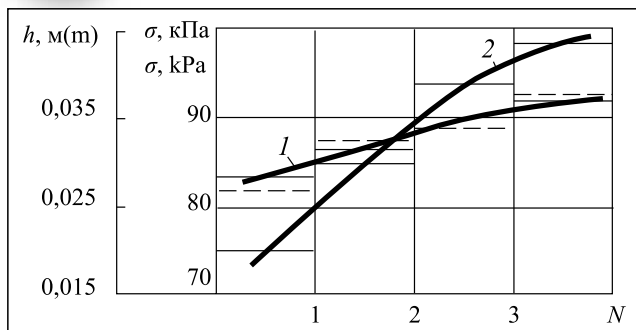


Рис. 4. Нарастание глубины следа и контактных напряжений под воздействием многоосной ходовой системы для сильно упрочняющейся почвы: 1 – глубина следа h , м; 2 – контактные напряжения σ , кПа; — теоретическая зависимость; - - - экспериментальная зависимость

Fig. 4. The rise of the dip of the wheel-track and the contact stresses with a multi-axis drive system for high work-hardening soil: 1- wheel-track dip, h , m; 2 – contact stresses σ , kPa; —theoretical dependence; - - - experimental dependence

давления, развиваемого первым колесом, а второй член равен дополнительной осадке от прохода второго колеса за счет повышения давления по сравнению с первым проходом.

При каждом последующем нарастающем нагружении дополнительная осадка будет равна:

$$\Delta h_n = \frac{p_0}{k} \left[\text{Arch} \frac{n^{b(k/p_0^2)}}{\sqrt{1 - q_{n-1}^2/p_0^2}} - \text{Arch} \frac{(n-1)^{b(k/p_0^2)}}{\sqrt{1 - q_{n-1}^2/p_0^2}} \right] + \frac{p_0}{k} \left(\text{Arch} \frac{q_n}{p_0} - \text{Arch} \frac{q_{n-1}}{p_0} \right) k_L, \quad (8)$$

где q_{n-1} и q_n – давление колес на почву при $(n-1)$ -м и n -м нагружениях соответственно, Па.

Первый член правой части зависимости (8) равен приращению осадки от повторного прохода при достижении давлением величины предыдущего нагружения, а второй член представляет собой дополнительную осадку от увеличения давления при последующем нагружении.

С учетом зависимостей (7) и (8) деформация сильно упрочняющейся почвы при возрастании последующих нагрузок n -осного колесного хода будет равна:

$$h_n = \frac{p_0}{k} \left[\text{Arch} \frac{2^{b(k/p_0^2)}}{\sqrt{1 - \frac{q_1^2}{p_0^2}}} + \sum_{i=3}^n \left(\text{Arch} \frac{i^{b(k/p_0^2)}}{\sqrt{1 - \frac{q_{i-1}^2}{p_0^2}}} - \left[\text{Arch} \frac{(i-1)^{b(k/p_0^2)}}{\sqrt{1 - \frac{q_{i-1}^2}{p_0^2}}} + \sum_{i=2}^n \left(\text{Arch} \frac{q_i}{p_0} - \text{Arch} \frac{q_{i-1}}{p_0} \right) k_L \right] \right) \right]. \quad (9)$$

При убывании нагрузки от прохода к проходу глубина следа сильно упрочняющейся почвы опре-

делится величиной давления, развиваемого при первом проходе. При небольшом различии давлений $q_1, q_2 \dots q_n$ глубина следа определяется по формуле:

$$h_n = \frac{p_0}{k} \text{Arch} \left(\frac{n^{b(k/p_0^2)}}{\sqrt{1 - q_{cp}^2/p_0^2}} \right), \quad (10)$$

где q_{cp} – среднее давление колес на почву, Па.

На рисунке 6 приведен график зависимости изменения глубины следа от величины давления и распределения давления по осям для сильно упрочняющейся почвы ($p_0=500$ кПа, $k=2500$ кН/м³, $n'=2$). При оценке влияния распределения давлений по колесам рассмотрен случай, когда нарастание или убывание

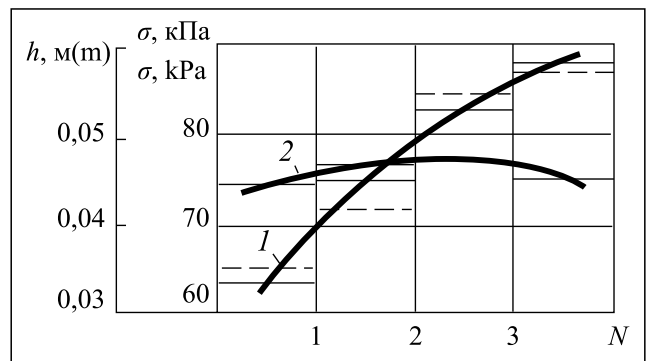


Рис. 5. Нарастание глубины следа (1) и контактных напряжений (2) для слабо упрочняющейся почвы под воздействием многоосной ходовой системы; — теоретическая зависимость; - - - экспериментальная зависимость

Fig. 5. The dependency of the changing of the wheel-track (1) dip from the pressure quantity (2) and the axis pressure distribution; — theoretical dependence; - - - experimental dependence

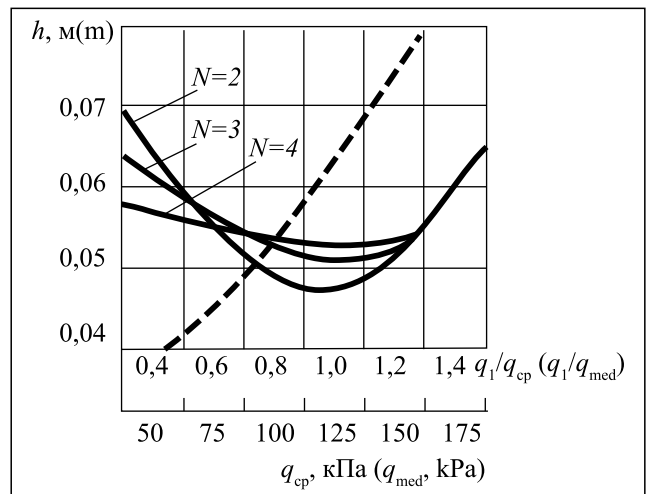


Рис. 6. Зависимость изменения глубины следа от величины давления и распределения давления по осям:

-- от величины давления; — от распределения давления по колесам;

Fig. 6. The changing of the dip of the wheel-track from the pressure quantity and the axis pressure distribution:

-- from the pressure; — from the wheel pressure distribution



давления происходит по линейному закону.

Из рисунка 6 следует, что влияние давления колеса на глубину следа весьма существенно. Зависимость деформации почвы от распределения давления по осям имеет минимум при отношении $q_1/q_{ср}$, близком к 1. Для слабо упрочняющихся почв теоретически и экспериментально получено, что наименьшая глубина следа наблюдается также при равномерном распределении нагрузки по осям.

Выводы. Для определения закономерностей накопления повторных осадок применена зависи-

мость Больцмана, связывающая энтропию процесса и вероятность данного состояния (статистическая интерпретация второго начала термодинамики). Полученные закономерности позволяют определить деформацию почвы в зависимости от различных режимов работы и параметров ходовых систем МТА на различных типах почв. Экспериментальное исследование показало, что наименьшая глубина следа наблюдается при равномерном распределении нагрузки по осям ходовой системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кушнарев А.С., Кочев В.И. Механико-технологические основы обработки почвы. Киев: Урожай, 1989. 144 с.
2. Шило И.Н., Романюк Н.Н., Орда А.Н., Шкляревич В.А., Воробей А.С. Закономерности уплотнения почвы под воздействием колес сельскохозяйственных машин // *Агропанорама*. 2016. №2. С. 2-8.
3. Романюк Н.Н. Снижение уплотняющего воздействия на почву вертикальными вибродинамическими нагрузками пневмоколесных движителей: Дис. ... канд. техн. наук. Минск, 2008. 206 с.
4. Шило И.Н., Орда А.Н., Романюк Н.Н., Нукушев С.О., Кушнир В.Г. Влияние количества осей ходовых систем мобильной сельскохозяйственной техники на глубину следа // *Тракторы и сельхозмашины*. 2016. №4. С. 37-42.
5. Вялов С. С. Реологические основы механики грунтов. М.: Высшая школа, 1978. 447 с.
6. Кацыгин В.В. Основы теории выбора оптимальных параметров мобильных сельскохозяйственных машин и

орудий // *Вопросы сельскохозяйственной механики*. Минск: Ураджай, 1964. Т. 13. С. 5-147.

7. Шило И.Н., Романюк Н.Н., Орда А.Н., Шкляревич В.А., Воробей А.С. Закономерности накопления повторных осадок почвы при воздействии ходовых систем мобильной сельскохозяйственной техники // *Агропанорама*. 2014. №6. С. 2-7.
8. Агейкин Я.С. Вездеходные колесные и комбинированные движители. М.: Машиностроение, 1972. 198 с.
9. Измайлов А.Ю., Кряжков В.М., Антышев Н.М., Елизаров В.П., Лобачевский Я.П., Сорокин Н.Т., Гурылев Г.С., Савельев Г.С., Сизов О.А., Шевцов В.Г. Концепция модернизации сельскохозяйственных тракторов и тракторного парка России на период до 2020 года. М.: 2012. 56 с.
10. Lobachevskii Y., Godzhaev Z., Shevtsov V., Lavrov A., Sizov O., Merzlyakov A. Harmonizing power categories and towing categories of agricultural tractors with series of preferred numbers. SAE Technical Papers. 2017. T. 2017-January. N January. 18-24.

REFERENCES

1. Kushnarev A.S., Kochev V.I. Mekhaniko-tekhnologicheskiye osnovy obrabotki pochvy. Kiev: Urozhay, 1989: 144. (In Russian).
2. Shyla I.M., Ramaniuk M.M., Orda A.M., Nukeshev S.O., Shklyarevich V.A., Varabey A.S. Zakonomernosti uplotneniya pochvy pod vozdeystviyem koles sel'skokhozyaystvennykh mashin // *Agropanorama*. 2016; 2: 2-8. (In Russian).
3. Ramaniuk M.M. Snizheniye uplotnyayushchego vozdeystviya na pochvu vertikal'nymi vibrodinamicheskimi nagruzkami pnevmokolesnykh dvizhiteley: Dis.... kand. tekhn. nauk. Minsk, 2008: 206. (In Russian).
4. Shyla I.M., Orda A.M., Ramaniuk M.M., Nukeshev S.O., Kushnir V.G. Vliyaniye kolichestva osey khodovykh sistem mobil'noy sel'skokhozyaystvennoy tekhniki na glubinu sleda // *Traktory i sel'khomashiny*. 2016; 4: 37-42. (In Russian).
5. Vyalov S.S. Reologicheskiye osnovy mekhaniki gruntov. M.: Vyssh. shkola, 1978: 447. (In Russian).
6. Katsygin V.V. Osnovy teorii vybora optimal'nykh parametrov mobil'nykh sel'skokhozyaystvennykh mashin i

orudiy // *Voprosy sel'skokhozyaystvennoy mekhaniki*. Minsk: Uradzhay, 1964; 13: 5-147. (In Russian).

7. Shyla I.M., Ramaniuk M.M., Orda A.M., Shklyarevich V.A. Zakonomernosti nakopleniya povtornykh osadok pochvy pri vozdeystvii khodovykh sistem mobil'noy sel'skokhozyaystvennoy tekhniki // *Agropanorama*. 2014; 6: 2-7. (In Russian).
8. Ageykin Ya.S. Vezdekhodnyye kolesnyye i kombinirovannyye dvizhiteli. M.: Mashinostroyeniye, 1972: 198. (In Russian).
9. Izmailov A.Yu., Kryazhkov V.M., Antyshev N.M., Elizarov V.P., Lobachevsky Ya.P., Sorokin N.T., Gurylev G.S., Savel'yev G.S., Sizov O.A., Shevtsov V.G. Concept of modernization of agricultural tractors and tractor fleet of Russia for the period up to 2020. M.: 2012. 56. (In Russian).
10. Lobachevskii Y., Godzhaev Z., Shevtsov V., Lavrov A., Sizov O., Merzlyakov A. Harmonizing power categories and towing categories of agricultural tractors with series of preferred numbers. SAE Technical Papers. 2017. 2017-January. January: 18-24. (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Силовые нагрузки, действующие в кинематических парах механизма изменения базы трактора

Адилбек Агабекович Ахметов, доктор технических наук, старший научный сотрудник, унитарное предприятие Специальное конструкторское бюро «Трактор», г. Ташкент, Республика Узбекистан;
Исроил Исакович Усманов, главный конструктор, унитарное предприятие Специальное конструкторское бюро «Трактор», г. Ташкент, Республика Узбекистан, e-mail: skbtz@mail.ru

Для эффективной обработки земельных площадей в условиях горных и предгорных районов, поверхность которых имеет значительные неровности и часто расположена под большим уклоном, важное значение имеют такие параметры трактора, как продольная и поперечная устойчивость, а также маневренность и управляемость. Известно, что для обеспечения устойчивости движения трактора его база должна быть максимальной, а для обеспечения минимального радиуса поворота – минимальной. Однако в конструкции используемых в агропромышленном комплексе Республики Узбекистан 4-колесных универсально-пропашных тракторов механизм изменения колесной базы не предусмотрен. В связи с этим в СКБ «Трактор» разработан 4-колесный универсально-пропашной трактор, снабженный специальным механизмом, обеспечивающим изменение базы трактора на 670 мм. Показали, что надежность работы механизма зависит прежде всего от прочности деталей, на которые приходится максимальная силовая нагрузка. (*Цель исследования*) Исследовать силовые нагрузки, действующие в кинематических парах механизма изменения базы трактора. (*Материалы и методы*) На примере 3D-модели показали возможность изменения параметров базы трактора. Для расчета параметров проектируемого трактора исходили из показателей: вес, приходящийся на переднюю ось; размеры шарнирного параллелограмма по компоновке; радиус, по которому двигался конец штока гидроцилиндра; коэффициент сопротивления перекачиванию передних колес на опорной поверхности бетонного покрытия и др. (*Результаты и обсуждение*) Силовые нагрузки в кинематических парах механизма изменения базы трактора определили на основе общепринятых методик теории механизмов и машин с применением структурного анализа механизма. Величину сил, действующих в каждой кинематической паре механизма изменения базы, рассчитали графоаналитическим методом на основе закона статики с использованием условий равновесия. (*Выводы*) Установили, что значения сил, действующих в шарнирах механизма изменения базы трактора, колеблются в диапазоне от 8816,25 Н до 93255,82 Н. На основании проведенных расчетов представили следующие результаты: наибольшие усилия в звеньях механизма изменения базы трактора действуют в их продольном направлении, что следует учитывать при определении параметров механизма изменения базы трактора и расчетах деталей на прочности.

Ключевые слова: трактор, база, передний мост, лонжерон, брус, звенья, механизм, сила, нагрузка, проходимость, устойчивость, маневренность, радиус поворота, управляемость.

■ **Для цитирования:** Ахметов А.А., Усманов И.И. Силовые нагрузки, действующие в кинематических парах механизма изменения базы трактора // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №2. С. 44-48. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-2-44-48

The Power Load on Kinematic Pairs of Tractor Variable Base Mechanism

Adilbek A. Akhmetov, Dr. Sc. (Eng.), senior researcher, Unitary enterprise Special Design Bureau Tractor, Tashkent, Republic of Uzbekistan;

Isroil I. Usmanov, chief designer, Unitary enterprise Special Design Bureau "Tractor", Tashkent, Republic of Uzbekistan, e-mail: skbtz@mail.ru

Both longitudinal and transverse stability as well as maneuverability and controllability are important parameters of the tractor for efficient processing of land areas in mountainous and foothill areas, which surface has significant irregularities, and are often located under large bias. It is known that in order to ensure the stability of the tractor, its base must be maximum, and to ensure a minimum turning radius – minimum. However, the design used in the agro-industrial complex of the Republic of Uzbekistan 4-wheel universal tractors does not provide a mechanism for changing the wheelbase. In this regard, SDB "Tractor" designed 4-wheeled universal tractor, equipped with a special mechanism that changes the base of the tractor by 670 mm. It is showed that the reliability of the mechanism depends primarily on the strength of the parts, which account for the maximum

power load. (*Purpose of the study*) We investigate the force loads acting in kinematic pairs of the alternation mechanism of the tractor base. (*Materials and methods*) The possibility of changing the parameters of the tractor base is showed on the example of the 3D model. To calculate the parameters of the designed tractor came from the figures: weight per axle; the dimensions of the hinge parallelogram arrangement; the radius at which the moving end of the rod of the hydraulic cylinder; a rolling resistance of the front wheels on the supporting surface of the concrete cover, etc. (*Results and discussion*) Power loads in kinematic pairs of the tractor base change mechanism were determined on the basis of generally accepted methods of the theory of mechanisms and machines with the use of structural analysis of the mechanism. The magnitude of the forces acting at each kinematic pair of mechanism for database changes, calculated by the graphical-analytical method on the basis of the law of statics using conditions of equilibrium. (*Conclusions*) It is found that the values of forces acting in the hinges of the mechanism of changing the base of the tractor range from 8816.25 H to 93255.82 H. On the basis of the calculations presented the following results: the greatest efforts in the links of the mechanism of change of the tractor base act in their longitudinal direction, which should be taken into account when one determines the parameters of the mechanism of change of the tractor base and the calculations of parts for strength.

Keywords: Tractor, Base, Front Axle, Spar, Beam, Links, Mechanism, Force, Load, Permeability, Stability, Maneuverability, Turning Radius, Controllability.

For citation: Akhmetov A.A., Usmanov I.I. The power load on kinematic pairs of variable base mechanism of tractor. *Sel'skokhoyuzystvennye mashiny i tehnologii*. 2018. Vol. 12; 2: 44-48. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-2-44-48 (In Russian).

В Республике Узбекистан значительная часть пахотных земель, пастбищ и сенокосов наряду с богарными землями расположена в горных и предгорных районах. Из-за нехватки специализированной техники, способной выполнять рабочие операции на участках с неровной поверхностью и часто под большим уклоном, пахотные площади на этих территориях освоены не полностью.

Трудности, которые возникают при механизации полевых работ в условиях горной местности и предгорных районов, а также при обработке участков в зоне богарного земледелия, связаны прежде всего с недостаточной продольной и поперечной устойчивостью тракторов, а также с ухудшением маневренности и управляемости.

Для обеспечения устойчивости трактора при движении его база должна быть максимальной, а для минимального радиуса поворота – минимальной [1, 2]. Однако в конструкции 4-колесных универсально-пропашных тракторов, которые используются в агропромышленном комплексе Узбекистана, механизм изменения длины колесной базы не предусмотрен. В связи с этим в СКБ «Трактор» разработана модель 4-колесного универсально-пропашного трактора ТТЗ 1080 с изменяемой базой [3-8].

Надежность работы такого механизма во многом зависит от предела прочности деталей, рассчитанных на высокие силовые нагрузки.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – исследование силовых нагрузок, действующих в кинематических парах механизма изменения базы трактора.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Исследования проводили с применением 3D-модели механизма изменения базы трактора. Значения силовых нагрузок, действующих в кинематических парах механизма изменения базы трактора, определяли на основе общепринятых методик теории механизмов и машин.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Механизм изменения длины базы экспериментального трактора представляет собой параллелограммный механизм (рис. 1), смонтированный между лонжероном 5 и брусом 8 полурамы, соединенной посредством оси 9 с балкой 7 переднего моста и направляющими колесами 1 трактора. Шарнирно соединенные между собой лонжерон, брус 8, передние 3 и задние 6 звенья представляют собой параллелограммный механизм.

Гидравлический привод параллелограммного механизма работает от силового гидроцилиндра (Ц100) 4, шток которого посредством оси 2 принудительно поворачивает переднее звено 3 параллелограммного механизма вокруг шарнира его крепления к лонжерону трактора, изменяя положение всех звеньев параллелограммного механизма, а следовательно, и балки 10 переднего моста трактора.

Надежность и долговечность работы механизма изменения длины базы зависят от конструкционной прочности его деталей, рассчитанных на критические механические нагрузки.

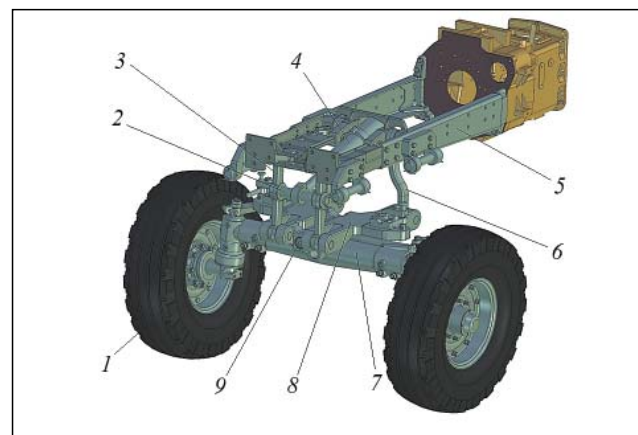


Рис. 1. Механизм изменения базы трактора
Fig. 1. Mechanism of tractor base change

Определим значения действующих нагрузок в каждой кинематической паре механизма. По данным структурного анализа механизма изменения базы трактора, число степеней свободы составит [5, 9-11]:

$$W = 3n - 2p_2 - p_1, \quad (1)$$

где n – число подвижных звеньев; p_1 – число кинематических пар, допускающих движение одного звена относительно другого; p_2 – число вращательных звеньев.

Согласно представленной на рисунке 2 кинематической схеме механизма изменения базы трактора: $W = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 - 0 = 1$. Следовательно, в предложенном механизме обеспечена определенность движения звеньев при одном ведущем звене.

Значения нагрузок, действующих в каждой кинематической паре, определяем графоаналитическим способом по законам статики с использованием условий равновесия, не учитывая при этом трение в кинематических парах и силу тяжести звеньев. Предположим, что перевод с одной базы на другую осуществляют на площадке с бетонным покрытием. Исходные данные для расчетов представлены в таблице.

Для определения составляющих реакции в шарнире K составим условия равновесия звеньев OK (1) и KM (2):

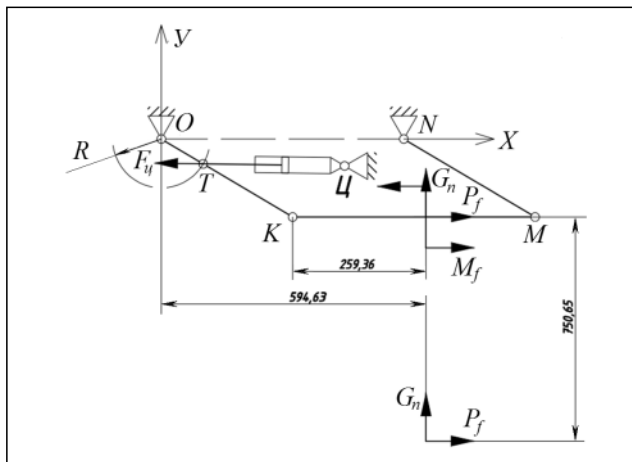


Рис. 2. Кинематическая схема механизма изменения базы трактора

Fig. 2. Kinematic scheme of the change mechanism of the tractor base

$$\left\{ \begin{aligned} \sum M_O &= 0, \\ \sum \bar{F} &= 0; \end{aligned} \right. \quad (2)$$

$$F_H h_{\text{Ц}} - F_{21}^t l_1 = 0; \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \sum M_M &= 0, \\ \sum \bar{F} &= 0; \end{aligned} \right. \quad (4)$$

$$G_n h_2 - F_{12}^t l_2 - M_f = 0, \quad (5)$$

где F_H – толкающее усилие гидроцилиндра, Н (кгс); $h_{\text{Ц}}$ – плечо силы F_H , м; F_{21}^t – сила, перпендикулярно

Исходные данные для расчета параметров проектируемого трактора TTZ 1080 INITIAL DATA FOR CALCULATION OF PARAMETERS OF TRACTOR TTZ 1080 UNDER DESIGN	
Наименование показателя (параметра), размерность Name of indicators	Значение показателя (параметра) Value of indicator
Колесная формула Wheel arrangement	4×2
Вес, приходящийся на переднюю ось, G_n , Н (кгс) The weight exposed on a front axle, G_n , N (kgs)	19384,56 (1976)
Размеры шарнирного параллелограмма OKMN по компоновке, мм: The sizes of a hinged parallelogram of OKMN on configuration, mm: $ OK = MN $ «1», «3» звено «1», «3» link $ KM = ON $ «2» звено «2» link	380 600
Радиус, по которому движется конец штока гидроцилиндра $R_{\text{ц}}$, мм Radius on which the end of a rod of a hydraulic cylinder $R_{\text{ц}}$, mm	170
Коэффициент сопротивления перекатыванию передних колес трактора на опорной поверхности бетонного покрытия, f Coefficient of resistance to rolling of front wheels of the tractor on a supporting surface a concrete covering, f	0,018

действующая в шарнире K на звено OK , Н (кгс); l_1 – рабочая длина звена OK , м; M_f – изгибающий момент, создаваемый силой P_f , Нм (кг·см).

Опираясь на компоновочную схему с учетом (2) и (4) определяем:

$$F_{21}^t = \frac{F_H h_{\text{Ц}}}{l_1} = \frac{12560 \cdot 98,55}{380} = 3257,3, \text{ кгс}; \quad (6)$$

$$F_{12}^t = \frac{G_n h_2 - M_f}{l_2} = \frac{1976 \cdot 340,62 - 35,57 \cdot 750,65}{600} = \quad (7)$$

$$= 1077,3, \text{ кгс}.$$

Согласно расчетной схеме, представленной на рис. 3, в соответствии с равенствами:

$$\bar{F}_{12} = \bar{F}_{12}^t + \bar{F}_{12}^n;$$

$$\bar{F}_{21} = \bar{F}_{21}^t + \bar{F}_{21}^n;$$

$$\bar{F}_{12} = -\bar{F}_{21},$$

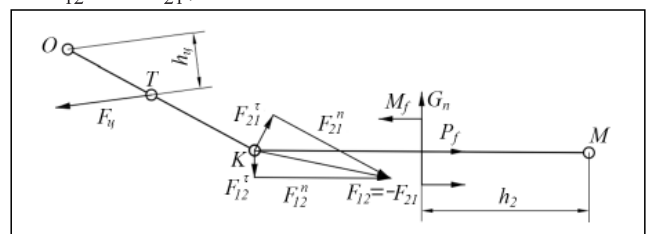


Рис. 3. Схема для определения величины и направления реакции
Fig. 3. Scheme for determining the value of the reaction direction



находим в результате построения планов сил величину и направление реакции:

$$F_{12} = -F_{21} = 9144 \text{ кгс.}$$

По общеизвестной методике определяем составляющие реакции F_{12}^n (кгс) и F_{21}^n (кгс), направленные вдоль звеньев OK и KM :

$$F_{21}^n = \sqrt{(F_{21})^2 - (F_{21}^t)^2} = \sqrt{9144^2 - 3257,3^2} = 8544,2;$$

$$F_{12}^n = \sqrt{(F_{12})^2 - (F_{12}^t)^2} = \sqrt{9144^2 - 1077,3^2} = 9080,3.$$

Определим усилие F_{10}^t (кгс), действующее в шарнире O на звено OK , составив уравнение равновесия:

$$\begin{cases} \sum M_K = 0, \\ \sum \bar{F} = 0; \end{cases} \quad (8)$$

$$F_{10}^t h_{10}' - F_{10}^t l_1 = 0.$$

Отсюда

$$F_{10}^t = \frac{F_{10} h_{10}'}{l_1} = \frac{12560 \cdot 121,48}{380} = 4015,2.$$

Условие равновесия звена OK :

$$\bar{F}_{10} + \bar{F}_{12} + \bar{F}_{23} = 0. \quad (9)$$

Неизвестное по величине и направлению усилие F_{10} получено построением на основе уравнения силового треугольника (рис. 4а), по которому $F_{10} = 4367$ кгс.

Определим составляющую реакцию F_{10}^n (кгс), направленную вдоль звена OK :

$$F_{10}^n = \sqrt{(F_{10})^2 - (F_{10}^t)^2} = \sqrt{4367^2 - 4015,2^2} = 1717,2.$$

Условие равновесия звена KM :

$$\bar{F}_{21} + \bar{G}_{11} + \bar{P}_f + \bar{F}_{23} = 0.$$

Неизвестное по величине и направлению усилие F_{23} (кгс) получено построением из условия силового треугольника (рис. 4б):

$$F_{23} = F_{32} = 9548,6.$$

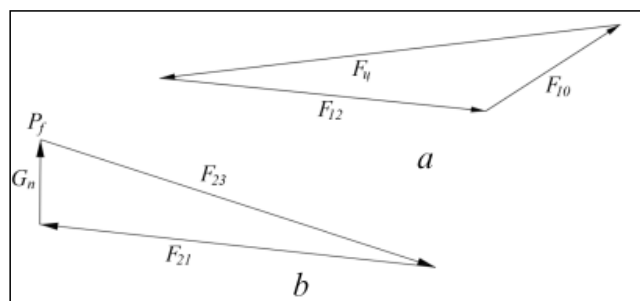


Рис. 4. Расчетные схемы для определения величины и направления усилий F_{10} (а) и F_{23} (б)
Fig. 4. Calculation schemes for determination of size and the direction of forces F_{10} (a) and F_{23} (b)

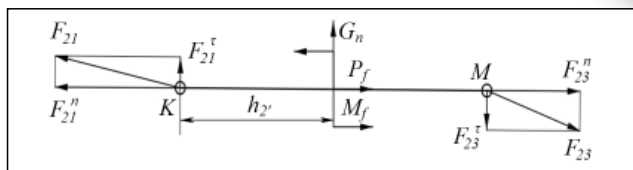


Рис. 5. Расчетная схема для определения величины и направления усилия F_{23}

Fig. 5. The calculation scheme for determination of size and the direction of force F_{23}

Для определения составляющих реакции в шарнире M (рис. 5) составим условия равновесия звена KM :

$$\begin{cases} \sum M_K = 0; \\ \sum \bar{F} = 0. \end{cases} \quad (11)$$

$$-G_{11} h_2' - M_f + F_{32}^t l_2 = 0. \quad (12)$$

Из выражения (11) определяем величину F_{32}^n (кгс):

$$F_{32}^t = \frac{G_{11} h_2' + M_f}{l_2} = \frac{1976 \cdot 259,36 + 35,57 \cdot 750,65}{600} = 898,7.$$

Определим составляющую реакцию F_{32}^n (кгс), направленную вдоль звена MN :

$$F_{32}^n = \sqrt{(F_{32}^t)^2 - (F_{32}^t)^2} = \sqrt{9548,6^2 - 898,7^2} = 9506,2.$$

Исходя из расчетной схемы, представленной на рис. 6, найдем формулу условия равновесия звена MN :

$$\bar{F}_{32} + \bar{F}_{34} = 0. \quad (13)$$

Согласно схеме, представленной на рисунке 6, определяем значения усилий F_{32} , F_{34} (кгс) и их составляющие:

$$F_{32}^n = F_{32} \cos 9^\circ = 9548,6 \cos 9^\circ = 9430,9;$$

$$F_{32}^t = F_{32} \sin 9^\circ = 9548,6 \sin 9^\circ = 1493,7;$$

$$F_{32}^n = -F_{34}^n; F_{32}^t = -F_{34}^t; F_{32} = -F_{34}.$$

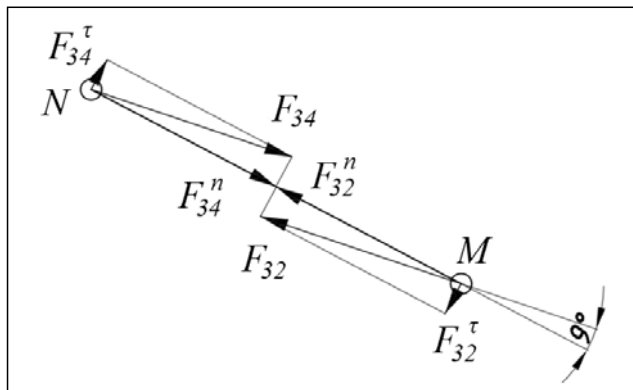


Рис. 6. Расчетная схема для определения величины и направления усилий F_{32} и F_{34}

Fig. 6. Calculation scheme for determining the magnitude and direction of efforts F_{32} и F_{34}

Выводы

Проведенные расчеты показали, что значения сил, действующих в шарнирах механизма изменения базы трактора, колеблются от 898,7 до 9506,2 кгс, или от 8816,25 до 93255,82 Н. При этом наибольшие

усилия в звеньях механизма изменения базы трактора действуют в их продольном направлении, что должно быть учтено при определении параметров механизма изменения базы трактора, а также при расчете деталей на прочность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ахметов А.А. Передние мосты универсально-пропашного трактора хлопкового назначения. Ташкент: Фан, 2014. 176 с.
2. Ахметов А.А., Ахмедов Ш.А., Каримов А.К. Специфические требования к хлопководческим тракторам – основа совершенствования их конструкции // *Международная агроинженерия*. 2016. Вып. 4 (20). С. 29-34.
3. Ахметов А.А., Усманов И.И., Фармонов Э., Асамов С.А. Универсально-пропашной трактор с изменяемой базой // *European Research: X Международная научно-практическая конференция*. Ч. 3. Пенза: Наука и просвещение, 2017. С. 104-107.
4. Анилович В.Я., Водолазченко Ю.Т. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов. М.: Машиностроение, 1976. 456 с.
5. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. М.: Наука, 1988. 640 с.
6. Бурьянов А. И., Дмитриенко А.И. Универсальные технические системы для сельского хозяйства // *Селскостопанска техника*. 2015. Т. 13. N1. С. 27-39.

7. Кленини Н.И., Сакун В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. М.: Колос, 1994. 751 с.
8. Лачуга Ю.Ф. Кряжков В.М., Шевцов В.Г. Тракторный парк – базовый ресурс механизированного сельхозпроизводства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2012. N6. С. 4-11.
9. Измайлов А.Ю., Кряжков В.М., Антышев Н.М., Елизаров В.П., Лобачевский Я.П., Сорокин Н.Т., Гурьев Г.С., Савельев Г.С., Сизов О.А., Шевцов В.Г. Концепция модернизации сельскохозяйственных тракторов и тракторного парка России на период до 2020 года. М.: 2012. 56 с.
10. Lobachevskii Y., Godzhaev Z., Shevtsov V., Lavrov A., Sizov O., Merzlyakov A. Harmonizing power categories and towing categories of agricultural tractors with series of preferred numbers. SAE Technical Papers. 2017. Vol. 2017-January. NJanuary. 18-24.
11. Shevtsov V., Lavrov A., Izmailov A., Lobachevskii Y. Formation of quantitative and age structure of tractor park in the conditions of limitation of resources of agricultural production. SAE Technical Papers. 2015. 1-4.

REFERENCES

1. Akhmetov A. A. Perednie mosty universal'no-propashnogo traktora. Tashkent: Fan, 2014: 176. (In Russian).
2. Akhmetov A. A., Akhmedov Sh. A., Karimov A. K. Specific requirements for cotton-growing tractors-the basis for improving their design // *International Agroengineering*, 2016, Issue. 4 (20): 29-34. (In Russian).
3. Akhmetov A.A., Usmanov I.I., Farmonov E., Asamov S.A. Universal-tilled tractor with variable base // *European Research: The X international scientific-practical conference*. In 3 Parts, 3. Penza: Science and Education, 2017: 104-107. (In Russian).
4. Anilovich V.Ya., Vodolazhchenko Yu.T. Design and analysis of agricultural tractors. Moscow: Mashinostroenie, 1976: 456. (In Russian).
5. Artobolevsky I.I. Theory of mechanisms and machines. Moscow: Science, 1988: 640. (In Russian).
6. Bur'yanov A.I., Dmitrienko A.I., Universal technical system for agriculture // *Celskoslovenska technique*. 2015. 13; 1: 27-39. (In Russian).

7. Klenina N. I., Sakun V. A. Agricultural and melioration machines. Moscow: Kolos, 1994: 751. (In Russian).
8. Lachuga Yu. F., Kryazhkov B. M., Shevtsov V. G. Tractor fleet – the basic resource of mechanized agriculture // *Sel'skokhoyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2012; 6: 4. (In Russian).
9. Izmailov A.Yu., Kryazhkov V.M., Antyshev N.M., Elizarov V.P., Lobachevsky Ya.P., Sorokin N.T., Gurylev G.S., Savel'yev G.S., Sizov O.A., Shevtsov V.G. Concept of modernization of agricultural tractors and tractor fleet of Russia for the period up to 2020. M.: 2012: 56. (In Russian).
10. Lobachevskii Y., Godzhaev Z., Shevtsov V., Lavrov A., Sizov O., Merzlyakov A. Harmonizing power categories and towing categories of agricultural tractors with series of preferred numbers. SAE Technical Papers. 2017. 2017: 18-24.
11. Shevtsov V., Lavrov A., Izmailov A., Lobachevskii Y. Formation of quantitative and age structure of tractor park in the conditions of limitation of resources of agricultural production. SAE Technical Papers. 2015: 1-4.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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