

УДК 631.41

DOI: 10.53083/1996-4277-2024-235-5-89-95

Е.С. Поликутина, Е.Е. Кузнецов, С.В. Щитов,
З.Ф. Кривуца, В.Г. Евдокимов
E.S. Polikutina, E.E. Kuznetsov, S.V. Shchitov,
Z.F. Krivutsa, V.G. Evdokimov

СНИЖЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ХОДОВОЙ ЧАСТИ КОЛЁСНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ НА ПРИКАТЫВАНИИ

REDUCTION OF THE INFLUENCE OF THE UNDERCARRIAGE OF WHEELED POWER VEHICLE ON SOIL PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES AT ROLLING

Ключевые слова: твёрдость, плотность, почва, колёсное энергетическое средство, движитель, ходовая часть, энергозатраты, урожайность.

Снижение отрицательного воздействия на почву ходовых систем колёсных энергетических средств остается актуальным и в настоящее время. Это обосновано тем, что в процессе взаимодействия колёсных движителей с почвой происходит ухудшение её физико-механических характеристик: плотности, твёрдости, структурного состава и т.д. При этом после прохода энергетических средств по полю остаётся глубокая колея, требующая дополнительных операций по её устранению. В качестве объекта исследований выбран процесс прикатывания почвы с использованием машинно-тракторного агрегата (МТА), состоящего из трактора класса 1,4 (МТЗ-80) и прикатывающего агрегата (трёхзвенный каток водоналивной гладкий ЗКВГ). В процессе проведения исследований данный МТА был оборудован устройством, позволяющим перераспределять нагрузку между движителями энергетического средства и рабочими органами прикатывающего агрегата. В качестве объекта сравнения был взят серийный машинно-тракторный агрегат без установленного устройства по перераспределению нагрузки. В результате проведенных исследований было установлено, что использование предлагаемого устройства по перераспределению нагрузки позволяет: снизить нагрузку на задние колёса энергетического средства с 2300 до 1800 Н, уменьшить на 22,8%; увеличить нагрузку, приходящуюся на рабочий орган прикатывающего агрегата, с 12,3 до 25,2 Н на 0,01 м ширины захвата; снизить энергозатраты (прикатывание почвы) на 21,36 МДж/га по сравнению с серийным МТА (без установленного устройства для перераспределения нагрузки); умень-

шить коэффициент уплотнения почвы по следу движителя с 1,23 до 1,14, твёрдость почвы – с 0,83 до 0,71 МПа.

Keywords: hardness, density, soil, wheeled energy means, propeller, chassis, energy costs, yielding capacity.

Reducing the negative impact on the soil of running systems of wheeled power vehicles remains relevant at present. This is justified by the fact that in the process of interaction of wheeled propellers with the soil, its physical and mechanical properties deteriorate: density, hardness, structural composition, etc. At the same time, after the passage of power vehicles across the field, a deep track remains that requires to be eliminated prior to full operations. As the research target, the process of soil rolling using a machine-tractor unit (MTU) consisting of a class 1.4 tractor (MTZ-80) and a rolling unit (three-link smooth water-loading roller 3SWR) was chosen. In the course of research, this MTU was equipped with a device that allowed redistributing the load between the propellers of the power vehicle and the working elements of the rolling unit. The comparison target was a serial machine-tractor unit without an installed device for load redistribution. It was found that the use of the proposed device for load redistribution allowed the following: to reduce the load on the rear wheels of the power vehicle from 2300 N to 1800 N, to reduce by 22.8%; increase the load on the working member of the rolling unit from 12.3 N to 25.2 N per 0.01 m of working width; reduce energy consumption (soil rolling) by 21.36 MJ ha as compared to serial MTU (without an installed load redistribution device); reduce the soil compaction factor along the propulsion track from 1.23 to 1.14, and the soil hardness from 0, 83 MPa to 0.71 MPa.

Поликутина Елена Сергеевна, к.т.н., ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск, Российская Федерация, e-mail: e.polikytina@mail.ru.

Кузнецов Евгений Евгеньевич, д.т.н., доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск, Российская Федерация, e-mail: ji.tor@mail.ru.

Шитов Сергей Васильевич, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск, Российская Федерация, e-mail: shitov.sv1955@mail.ru.

Кривуца Зоя Фёдоровна, д.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск, Российская Федерация, e-mail: zfk20091@mail.ru.

Евдокимов Вячеслав Гензельевич, д.т.н., профессор, Дальневосточное высшее общевойсковое командное училище имени Маршала Советского Союза К.К. Рокоссовского, г. Благовещенск, Российская Федерация, e-mail: evdokimov.dvvku@mail.ru.

Polikutina Elena Sergeevna, Cand. Tech. Sci., Far Eastern State Agricultural University, Blagoveshchensk, Russian Federation, e-mail: e.polikytina@mail.ru.

Kuznetsov Evgeniy Evgenevich, Dr. Tech. Sci., Assoc. Prof., Far Eastern State Agricultural University, Blagoveshchensk, Russian Federation, e-mail: ji.tor@mail.ru.

Shchitov Sergey Vasilevich, Dr. Tech. Sci., Prof., Far Eastern State Agricultural University, Blagoveshchensk, Russian Federation, e-mail: shitov.sv1955@mail.ru.

Krivutsa Zoya Fedorovna, Dr. Tech. Sci., Assoc. Prof., Far Eastern State Agricultural University, Blagoveshchensk, Russian Federation, e-mail: zfk20091@mail.ru.

Evdokimov Vyacheslav Genaelevich, Dr. Tech. Sci., Prof., Far Eastern Higher Combined Command Military School named after Soviet Union Marshal K.K. Rokossovsky, Blagoveshchensk, Russian Federation, e-mail: evdokimov.dvvku@mail.ru.

Введение

Основа будущего урожая во многом определяется качеством подготовки почвы, так как от этого зависят дальнейший рост и развитие сельскохозяйственных культур. Вместе с тем необходимо учитывать, что при проведении любых сельскохозяйственных работ, связанных с выездом энергетических средств на поле, в результате взаимодействия их ходовых систем с почвой происходит изменение ряда показателей [1-3]:

- плодородия почвы, которое определяется водно-ветровой эрозийной характеристикой и агрофизическими свойствами;

- физико-механических свойств почвы, которые непосредственно оказывают влияние на поверхностный и внутренний микрорельеф, а также сопротивление обработки.

Основным источником техногенного воздействия на почву является удельное давление движителей энергетических средств, которое определяется в соответствии с предъявляемыми к ним требованиями [4]. При воздействии ходовых систем энергетических средств с почвой происходит изменение её физических свойств, среди которых можно отметить наиболее значимые: твёрдость, плотность, структурный состав и пористость, которые в дальнейшем напрямую оказывают влияние на плодородие почвы [4-8]. Как отмечается в работе В.А. Русанова [1], интегральным показателем физического состояния почвы является её плотность (объёмная масса), от величины которой напрямую зависит урожайность [9] сельскохозяйственных культур. При проведении сельскохозяйственных

работ почва подвергается многократному воздействию со стороны движителей, что в конечном итоге приводит к её переуплотнению, увеличению величины твёрдости и разрушению структурного состава.

Одной из операций, предусмотренной технологией возделывания сельскохозяйственных культур, является прикатывание почвы, которое проводят как до посева, так и после посева сельскохозяйственных культур. Основная цель, преследуемая до посева, – это выравнивание поверхности участка, а также разрушения больших комков почвы, образовавшихся после воздействия на неё рабочих органов различных сельскохозяйственных орудий. Прикатывание почвы, с использованием прикатывающих агрегатов, проводимое после посева, необходимо для уплотнения верхнего плодородного слоя почвы, улучшения водо- и воздухопроницаемости к семенному материалу, а также лучшего контакта семян с почвой. Для обеспечения вышеперечисленных требований, предъявляемых к процессу прикатывания почвы, используются различные катки, которые классифицируются по технологическому назначению и форме поверхности. Для обеспечения качества выполнения технологической операции по прикатыванию почвы выпускаются катки различных габаритных размеров и массы. Выбор катка зависит от типа почвы, качество уплотнения – от массы рабочего органа прикатывающего агрегата (катка) [10].

Для крестьянско-фермерских хозяйств (КФХ), у которых возделываемая площадь небольшая, иметь в наличии разнообразный состав прикатывающих агрегатов экономически нецелесооб-

разно, в связи с чем чаще всего используются водоналивные катки. В условиях Амурской области использование данных катков вызывает определённые трудности, так как у них в качестве балласта используется вода, а в период проведения ранневесенних полевых работ часто наблюдаются заморозки. При этом необходимо отметить, что плотность поля не везде одинаковая, поэтому необходимо изменять нагрузку на рабочий орган (каток) путём изменения массы воды, что увеличивает в целом трудоёмкость процесса.

Одним из способов решения вышеобозначенной проблемы является автоматическое регулирование нагрузки, приходящейся на рабочий орган прикатывающего агрегата с одновременным снижением нагрузки на ходовую часть энергетического средства путем использования специального устройства [11].

Исходя из вышесказанного, целью исследования является снижение нагрузки на движители энергетического средства за счёт частичного перераспределения её на рабочий орган прикатывающего агрегата (каток).

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести теоретические и экспериментальные исследования по определению эффективности использования предлагаемого устройства;
- осуществить производственную проверку работы МТА на прикатывании почвы с предлагаемым устройством.

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследований был взят процесс перераспределения нагрузки внутри МТА, состоящего из трактора МТЗ-80 (рис. 1) и трёхзвенного катка водоналивного гладкого ЗКВГ-1,4 (рис. 2).



Рис. 1. Трактор МТЗ-80 (фрагмент подготовки к проведению испытаний по перераспределению нагрузки внутри МТА)



Рис. 2. Каток трёхзвенный водоналивной гладкий ЗКВГ

Измерение нагрузки, приходящейся на рабочий орган прикатывающего агрегата и движитель энергетического средства, осуществлялось с помощью использования передвижной лаборатории, размещённой на базе автомобиля ГАЗЕЛЬ ГАЗ-2705 с мобильными (подкладными) весами типа RW-10 (15)P (рис. 3).

Экспериментальные исследования на прикатывании проводились с машинно-тракторным агрегатом и установленным устройством по перераспределению нагрузки между движителями

энергетического средства и рабочим органом прикатывающего агрегата (каток). Применялся метод сравнения экспериментального МТА с серийным МТА, используемым на прикатывании (без установленного устройства по перераспределению нагрузки между движителями энергетического средства и рабочим органом прикатывающего агрегата). При проведении исследований учитывались требования ГОСТ 26955-86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву [4].



Рис. 3. Передвижная лаборатория на базе автомобиля ГАЗЕЛЬ ГАЗ-2705

На основании проведенных теоретических исследований по определению влияния устройства для перераспределения нагрузки внутри машинно-тракторного агрегата были получены следующие результаты:

– нагрузка, приходящаяся на движитель,

$$G_{\text{эт}} = G_{\text{ст}} - (P_{\text{д}} \sin \alpha + K P_{\text{д}} \cos \alpha), \quad (1)$$

где $G_{\text{ст}}$ – нагрузка, приходящаяся на движитель без работы устройства, Н;

$P_{\text{д}}$ – нагрузка, создаваемая устройством, Н;

α – угол приложения нагрузки, град.;

$K_{\text{р}}$ – расстояние между точкой приложения нагрузки и точкой соединения прикатывающего агрегата с энергетическим средством;

– плотность почвы по следу движителя

$$\rho_{\text{э}} = \rho_0 (1 + \beta(G_{\text{с}} - (P_{\text{д}} \sin \alpha + K_{\text{р}} P_{\text{д}} \cos \alpha) e^{-\beta h} / FK_{\text{см}})), \quad (2)$$

где ρ_0 – исходная плотность, кг/м³;

β – коэффициент распространения напряжения, м⁻¹;

$K_{\text{см}}$ – коэффициент объёмного смятия почвы, Н/м³;

F – площадь контакта движителя с почвой, м²;

– твёрдость почвы по следу движителя [1]

$$H_{\text{и}} = -9,507 + 6,584(\rho_0 (1 + \beta(G_{\text{с}} - (P_{\text{д}} \sin \alpha + P_{\text{д}} \cos \alpha K_{\text{р}}) e^{-\beta h} / FK_{\text{см}})))^2; \quad (3)$$

– нагрузка, приходящаяся на рабочий орган прикатывающего агрегата (каток)

$$G_{\text{эк}} = G_{\text{к}} + G_{\text{р}} b/a + P_{\text{д}} K/a \cos \alpha, \quad (4)$$

где $G_{\text{р}}$ – нагрузка, создаваемая рамой катка, Н;

a, b – соответственно, расстояние от центра тяжести прицепного устройства и несущей конструкции катка (рама) прикатывающего агрегата до точки соединения с энергетическим средством, м.

Анализируя полученные теоретические зависимости (1)-(3), можно отметить, что предлагаемое устройство для перераспределения нагрузки внутри МТА снижает уплотнение почвы по следу движителя в соответствии с уравнением (2) и твёрдость почвы – с уравнением (3), за счёт снижения нагрузки на движитель энергетического средства – уравнение (1). На основании полученного уравнения (4) установлено, что за

счёт использования предлагаемого устройства можно регулировать нагрузку на рабочий орган прикатывающего агрегата.

Результаты и обсуждение

Результаты экспериментальных исследований по перераспределению нагрузки внутри машинно-тракторного агрегата с использованием

предлагаемого устройства приведены на рисунках 4 и 5. Изменение нагрузки осуществлялось за счёт усилия, создаваемого дополнительно установленным гидроцилиндром посредством тросовой связи, позволяющей частично разгрузить задние колёса энергетического средства и передавать её на рабочий орган прикатывающего агрегата (каток).

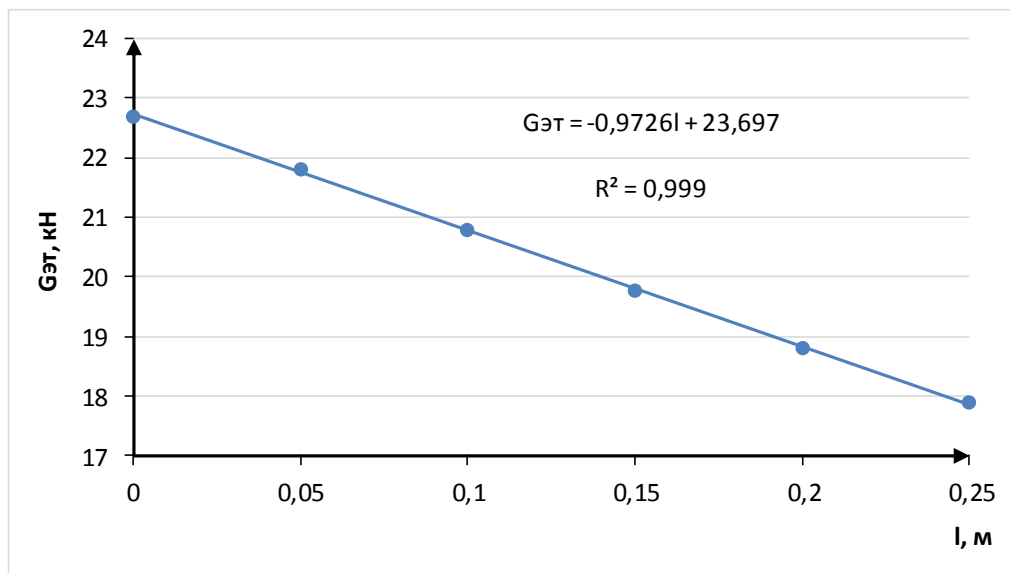


Рис. 4. Зависимость нагрузки, приходящейся на задние колёса энергетического средства, от величины выхода штока гидроцилиндра

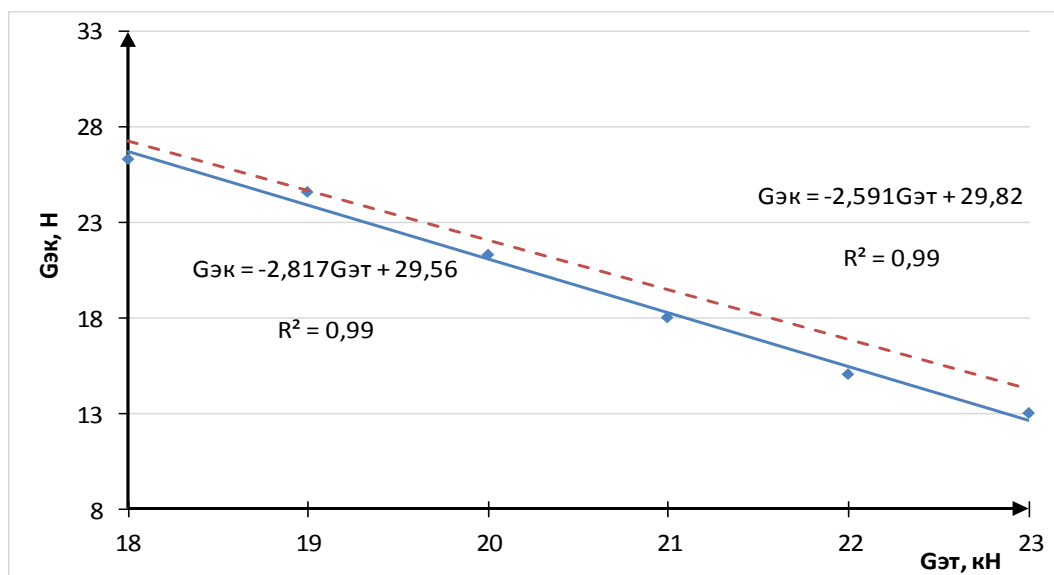


Рис. 5. Зависимость нагрузки (на 0,01 м ширины захвата), приходящейся на рабочий орган (каток), от нагрузки, приходящейся на задние колёса энергетического средства

Анализ полученных данных (рис. 4, 5) позволяет сделать следующие выводы:

– при работе устройства произошла разгрузка задних ведущих колёс энергетического средства с 2300 до 1800 Н, т.е. на 22,8%;

– при работе устройства произошла догрузка, приходящаяся на рабочий орган прикатывающего агрегата, с 12,3 до 25,2 Н на 0,01 м ширины захвата, что составило 51,2%.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований находятся в допустимых пределах, что позволяет утверждать о достоверности проведенных исследований.

Использование МТА, состоящего из трактора МТЗ-80 и катка ЗКВГ, с устройством для перераспределения нагрузки внутри МТА позволило снизить энергозатраты на 21,36 МДж/га по сравнению с серийным МТА (без установленного устройства для перераспределения нагрузки).

В результате перераспределения нагрузки коэффициент уплотнения почвы по следу движителя снизился с 1,19 до 1,14, твердость почвы – 0,83 до 0,71 МПа.

Выводы

Использование предлагаемого устройства для перераспределения нагрузки между движителями энергетического средства и прикатывающим агрегатом позволяет:

- снизить нагрузку, приходящуюся на задние ведущие колеса на 22,8%;

- повысить нагрузку на рабочий орган (каток) на 51,2% за счёт уменьшения нагрузки, приходящейся на задние колеса энергетического средства;

- снизить техногенное воздействие на почву (снижение коэффициента уплотнения на 33,4% и твердости почвы – на 16,9%) по следу движителя;

- повысить эффективность использования МТА на прикатывании почвы за счёт снижения энергозатрат 11,3%.

Библиографический список

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

2. Щитов, С. В. Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур: монография / С. В. Щитов, Е. Е. Кузнецов. – Благовещенск: ДальГАУ, 2017. – 272 с. – Текст: непосредственный.

3. Surin, R., Marshanin, E., Shchitov, S., et al. (2023). Comparative characteristics of undercarriage systems as criteria for selecting a power tool for risky farming zones. *E3S Web of Conferences*. 431. 01002. DOI: 10.1051/e3sconf/202343101002.

4. ГОСТ 26955-86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия дви-

жителей на почву. – Москва: Изд-во стандартов, 1986. – 18 с. – Текст: непосредственный.

5. Алдошин, Н. В. Выбор стратегий качественного выполнения механизированных работ / Н. В. Алдошин, Р. Н. Дидманидзе. – Текст: непосредственный // *Международный технико-экономический журнал*. – 2013. – № 5. – С. 67.

6. Раднаев, Д. Н. Методологические основы разработки технологий и технических средств посева при возделывании зерновых культур в условиях Забайкалья: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Раднаев Даба Нимаевич; Вост.-Сиб. гос. ун-т технологий и упр. – Улан-Удэ, 2013. – 40 с. – Текст: непосредственный.

7. Беляев, В. И. Перспективные агротехнологии производства зерна в Алтайском крае / В. И. Беляев, Л. В. Соколова. – Текст: непосредственный // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. – 2018. – № 4 (162). – С. 5-12.

8. Шишлов, С. А. Теоретические предпосылки повышения эффективности предпосевной подготовки почвы и посева сои на основании оценки совокупных энергозатрат / С. А. Шишлов, А. Н. Шишлов. – Текст: непосредственный // *Роль аграрной науки в развитии лесного и сельского хозяйства Дальнего Востока: сборник материалов: в 3 частях / III национальной (всероссийской) научно-практической конференции. Ч II: Технические и биологические науки*. – Уссурийск, 2019. – С. 153-160.

9. Захарова, Е. Б. Зависимость урожайности сои и агрофизических показателей плодородия от плотности сложения почвы / Е. Б. Захарова. – Текст: непосредственный // *Пути воспроизводства плодородия почв и повышения урожайности сельскохозяйственных культур в Приамурье: сборник научных трудов ДальГАУ*. – Благовещенск, 2003. – Вып. 9. – С. 10-14.

10. Николаев, В. А. Выбор веса катка для прикатывания почвы / В. А. Николаев. – Текст: непосредственный // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. – 2007. – № 3. – С. 28-29.

11. Патент № 2680167 Российская Федерация, МКИ В 60 В 11/02. Догружающее устройство прикатывающего агрегата / Кузнецов Е. Е., Щитов С. В.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет». – № 2017136497; завл.

16.10.2017; опубли. 19.02.2019, Бюл. № 5. – Текст: непосредственный.

References

1. Rusanov V.A. Problema pereuplotneniia pochv dvizhiteliami i effektivnye puti ee resheniia. – Moskva: VIM, 1998. – 368 s.

2. Shchitov S.V., Kuznetsov E.E. Povysenie effektivnosti ispolzovaniia mobilnykh energeticheskikh sredstv v tekhnologii vozdeliyvaniia selskokhoziaistvennykh kultur: monografiia. – Blagoveshchensk: DalGAU, 2017. – 272 s.

3. Surin, R., Marshanin, E., Shchitov, S., et al. (2023). Comparative characteristics of undercarriage systems as criteria for selecting a power tool for risky farming zones. *E3S Web of Conferences*. 431. 01002. DOI: 10.1051/e3sconf/202343101002.

4. GOST 26955-86. Tekhnika selskokhoziaistvennaia mobilnaia. Normy vozdeistviia dvizhitelei na pochvu. – Moskva: Izd-vo standartov, 1986. – 18 s.

5. Aldoshin, N.V. Vybora strategii kachestvennogo vypolneniia mekhanizirovannykh rabot / N.V. Aldoshin, R.N. Didmanidze // *Mezhdunarodnyi tekhniko-ekonomicheskii zhurnal*. – 2013. – No. 5. – S. 67.

6. Radnaev D. N. Metodologicheskie osnovy razrabotki tekhnologii i tekhnicheskikh sredstv poseva pri vozdeliyvanii zernovykh kultur v usloviakh Zabaikalia. avtoreferat dis. ... doktora tekhnicheskikh nauk / Vost.-Sib. gos. un-t tekhnologii i upr. – Ulan-Ude, 2013.

7. Beliaev V.I. Perspektivnye agrotekhnologii proizvodstva zerna v Altaiskom krae / V.I. Beliaev,

L.V. Sokolova // *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – 2018. – No. 4 (162). – S. 5-12.

8. Shishlov, S.A. Teoreticheskie predposylki povysheniia effektivnosti predposevnoi podgotovki pochvy i poseva soi na osnovanii otsenki so-vokupnykh energozatrat / S.A. Shishlov, A.N. Shishlov // *Rol agrarnoi nauki v razvitii lesnogo i selskogo khoziaistva Dalnego Vostoka: materialy III Natsionalnoi (Vserossiiskoi) nauchno-prakticheskoi konferentsii v 3-kh ch.: Ch. II. – Tekhnicheskie i biologicheskie nauki*. – Ussuriisk, 2019. – S. 153-160.

9. Zakharova E.B. Zavisimost urozhainosti soi i agrofizicheskikh pokazatelei plodorodiia ot plotnosti slozheniia pochvy / E.B. Zakharova // *Puti vosproizvodstva plodorodiia pochv i povysheniia urozhainosti selskokhoziaistvennykh kultur v Primure: sb. nauch. tr. DalGAU*. – Blagoveshchensk, 2003. – Vyp. 9. – S.10-14.

10. Nikolaev V.A. Vybora vesa katka dlia pri-katvaniia pochvy / V.A. Nikolaev // *Traktory i s.-kh. mashiny*. – 2007. – No. 3. – S. 28-29.

11. Dogruzhaiushchee ustroistvo pri-katvaiushchego agregata, patent na izobretenie No. 2680167 Ros. Federatsiia, MKI V 60 V 11/02, E.E. Kuznetsov, S.V. Shchitov, zaiavitel i patentoobladatel. federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe obrazovatelnoe uchrezhdeniia vysshego obrazovaniia Dalnevostochnyi gosudarstvennyi agrarnyi universitet, zaiavka No. 2017136497 ot 16.10.2017 Opublikovano 19.02.2019. Biul. No. 5.



УДК 631.362

DOI: 10.53083/1996-4277-2024-235-5-95-102

Н.И. Стрикунов, С.В. Леканов, А.А. Бауер

N.I. Strikunov, S.V. Lekanov, A.A. Bauer

МОДЕЛИРОВАНИЕ БЛОЧНО-МОДУЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ЗЕРНА НА ОСНОВЕ ЦЕНТРОБЕЖНО-РЕШЁТНОГО СЕПАРИРОВАНИЯ

MODELING OF BLOCK-MODULAR GRAIN CLEANING TECHNOLOGY BASED ON CENTRIFUGAL SIEVE SEPARATION

Ключевые слова: зерновой материал, грубые, крупные, аэродинамические лёгкие, мелкие, длинные примеси, кратность очистки, центробежно-решётное сепарирование, воздушное сепарирование, куколетборник, овсюгоотборник.

Keywords: grain material, coarse impurities, large impurities, aerodynamic light impurities, small impurities, long impurities, cleaning frequency, centrifugal screen separation, air separation, cockle separator, wild-oat separator.