

9. **Priporov I.E., Bachu T.N.** Napravleniya sovershenstvovaniya tekhnologij prigotovleniya belkovykh kormov // *Izvestiya Orenburgskogo GAU.* – 2019. – №2 (76). – S. 104-106.
10. **Priporov I.E.** Sistemnye issledovaniya prigotovleniya belkovykh kombikormov // *Traktory i sel'hozmashiny.* – 2019. – №1. – S. 75-81.

УДК 631.333.93:631.826

DOI 10.24411/2078-1318-2019-14228

Доктор техн. наук, профессор **В.В. МОРОЗОВ**
(ФГБОУ ВО «Великолукская государственная
сельскохозяйственная академия», e-mail: rektor@vgsa.ru)
Старший преподаватель **Л.Н. САВЕЛЬЕВА**
(ФГБОУ ВО «Великолукская государственная
сельскохозяйственная академия», e-mail: luida_1978@bk.ru)

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА САПРОПЕЛЕ-МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Максимально возможные урожаи сельскохозяйственных культур можно получить только при совместном применении органических и минеральных удобрений. При этом минеральные удобрения в основном способствуют повышению урожайности. Органические удобрения, помимо повышения урожайности, улучшают структуру и плодородие почвы, способствуя увеличению содержания гумуса, что непременно сказывается на качестве продукции.

Чтобы повысить урожайность и минимизировать дефицит гумуса в почве Нечерноземной зоны РФ с низким естественным плодородием, требуется увеличить внесение органических удобрений на 50% к достигнутому уровню. Одним из важнейших резервов местного органического сырья для производства удобрений являются богатейшие запасы озерных сапропелей [1, 2].

По данным «Торфогеология», на территории России выявлено сапропелевых отложений с общим запасом 230 млрд. м³, в том числе 50 млрд. м³ в Нечерноземной зоне. Мощность, то есть глубина залежи сапропелевых отложений, наиболее часто находится в пределах от 3 до 12 м, а иногда достигает 40 м [3].

Внимание ученых, занимающихся проблемой сапропелей, обращено на сельскохозяйственное использование их в качестве удобрений. Всевозрастающая интенсификация сельского хозяйства требует постоянного наращивания производства минеральных и органических удобрений. Однако практика показывает, что использование только минеральных удобрений приводит к ряду нежелательных факторов. Основными из них являются загрязнение окружающей среды в результате смыва в озера и реки биогенных элементов, пестицидов, а также накопление в почве болезнетворных микроорганизмов, способных вызвать болезни растений. Внесение органических веществ в почву (навоз, торф, сапропель и др.), наряду с обогащением ее многими элементами питания, стимулирует развитие микробиологических процессов, благодаря чему обеспечивается самоочищение почвы и ускоряется процесс разложения гербицидов. Кроме того, органические вещества обладают способностью улучшать структуру почвы, ее водный и воздушный режимы.

Опыт применения сапропелей в сельском хозяйстве подтверждает, что затраты на их добычу окупаются прибавками урожая. При этом действие сапропеля не ограничено одним годом. Агрономическая эффективность и продолжительность действия его во многом зависят от дозы внесения. При внесении сапропеля в количестве 40-80 т/га его улучшающее действие прослеживается в течение 2-3 лет. С повышением нормы внесения эффективность и длительность его воздействия увеличиваются.

Чтобы добиться наиболее эффективного использования сапропеля на удобрение, необходимо знать общий уровень зольности и состав его минеральной части. Результаты полевых испытаний показывают, что использование сапропелевых удобрений в чистом виде обеспечивает вполне удовлетворительные прибавки урожая, а также приводит к снижению актуальной и потенциальной кислотности почвы, улучшается водно-воздушный режим, физические и водно-физические свойства почвы, пополняются запасы гумуса. Для получения таких же прибавок, как и от навоза, его необходимо вносить в 2-3 раза больше.

Эффективность сапропелей как удобрений может быть повышена в результате внесения их совместно с навозом или минеральными удобрениями. Учитывая хорошие связующие свойства и способность при высыхании образовывать прочные гранулы, которые в дальнейшем медленно размягчаются под действием влаги и микроорганизмов, органические сапропели с успехом можно использовать для получения гранулированных органо-минеральных удобрений с добавками NPK и микроэлементов. Скорость выщелачивания минеральных веществ из таких гранул намного меньше, чем скорость растворения отдельно приготовленных гранул из солей, вследствие чего повышается коэффициент использования питательных веществ растениями, снижается опасность загрязнения вод за счет выноса биогенных элементов с грунтовыми водами [4].

Вопросам создания медленно действующих удобрений, повышающих эффективность использования питательных веществ, уделяется достаточно много внимания у нас в стране и за рубежом. На фоне этого большой практический интерес представляют те методы улучшения качества удобрений, которые не усложняют в заметной степени технологический процесс их производства и не требуют использования дефицитных и дорогих реагентов и кондиционирующих добавок. К их числу относятся производство органо-минеральных удобрений, в которых связующее органическое вещество обеспечивает замедленную растворимость минеральных компонентов в воде, а также является дополнительным источником питательных элементов для растений [5].

Таким образом, сапропель является ценным комплексным сырьем для производства удобрений, так как содержит все необходимые для питания растений вещества. Как органо-минеральное удобрение, сапропель равноценен навозу, большой недостаток которого испытывает почва нашей зоны [5]. Сапропель улучшает структуру почвы, благодаря повышенному содержанию кальция, способствует раскислению почвы [4].

В многолетнюю практику использования сапропеля положены идеи с переработкой технологического оборудования для заготовки торфа, внесением в чистом виде или вместе с навозом [6]. Применение сапропелевых удобрений в виде сапропеле-минеральной смеси повышает плодородие почвы, за счет обогащения гумусовыми соединениями, азотом, фосфором, кальцием и микроэлементами. При внесении сапропеле-минеральной смеси активизируются агрономические показатели микрофлоры, повышается подвижность питательных веществ. Однако процесс смешивания сапропеля с минеральными удобрениями недостаточно изучен. В результате в большинстве областей Северо-Западного региона ресурсы сапропеля используются слабо, поэтому совершенствование технологического процесса производства сапропелевых удобрений с улучшением его качества имеет важное научное и народнохозяйственное значение.

Смешивание является одной из наиболее значимых и энергоемких операций в технологии производства сапропеле-минеральных удобрений. Поэтому с целью проведения дальнейших исследований данного процесса следует более подробно рассмотреть известные в настоящее время смесительные устройства и способы смешивания.

В зависимости от физико-механических и гранулометрических свойств перерабатываемых материалов применяют различные способы их смешивания. Ввиду того что в литературе нет конкретных данных о машинах для смешивания сапропеле-минеральных смесей, нами рассмотрены аппараты для смешивания сыпучих материалов, применяемые в различных отраслях народного хозяйства.

Наиболее экономным и эффективным является непрерывный процесс смешивания. В смесителях непрерывного действия поступление компонентов в камеру смешивания и выход из нее готовой смеси происходит непрерывно. Эти смесители представляют собой вращающийся барабан, внутри которого могут быть смонтированы перемешивающие устройства (горизонтальные полосы, параллельные оси барабана), улучшающие смешение в осевом направлении.

Барабанные смесители, в отличие от остальных смесителей, обладают простотой конструкции, надежностью в эксплуатации, меньшей материалоемкостью и энергозатратами. Поэтому в качестве объекта исследования нами был выбран непрерывно действующий смесительный агрегат барабанного типа, обладающий способностью сглаживать флуктуации мгновенных расходов входных потоков за счет направленной организации движения их внутри аппарата.

Цель исследования – обоснование конструктивных и технологических параметров барабанно-лопастного смесителя для производства однородной смеси сапропеле-минеральных удобрений.

Материалы, методы и объекты исследования. Исследования технологических параметров и режимов работы барабанного смесителя с лопастями, расположенными на внутренней стенке барабана под углом по отношению к радиальному направлению, проводили на лабораторной установке (рис. 1). Привод барабанного смесителя осуществляли от электродвигателя постоянного тока 4 типа 2ПН112 МУХЛ4, частоту вращения которого изменяли регулятором оборотов 5 за счет электрической схемы управления.



Рис. 1. Установка для исследования работы барабанно-лопастного смесителя: 1 – барабан; 2 – загрузная воронка; 3 – рама; 4 – электродвигатель привода барабана смесителя; 5 – регулятор оборотов электродвигателя; 6 – транспортер; 7 – дозатор минеральных удобрений; 8 – дозатор сапропеля; 9 – электродвигатель привода транспортера; 10 – электродвигатель привода дозаторов; 11 – выгрузная воронка

Частоту вращения двигателя измеряли электротехометром ТЭ-240, потребляемую мощность определяли при помощи мультиметров при установившемся режиме работы смесителя [2].

Качество смешивания устанавливали по результатам анализа: смесь считается хорошей при $\lambda > 92\%$, удовлетворительной – при $\lambda = 90-92\%$, плохой – при $\lambda < 85\%$.

Для экспериментальных исследований барабанно-лопастного смесителя использовали методику многофакторного эксперимента [9]. Исследования проводили при одновременном варьировании всех факторов, уровни которых принимались по специальным расчетам и определялись опытным путем, при этом число опытов сводилось к минимуму. В качестве математической модели степени однородности нами была выбрана зависимость вида:

$$y = f(x_1, x_2, \dots). \tag{1}$$

В качестве переменных факторов выбирали следующие параметры:

a – количество лопаток на внутренней стенке барабана, шт.;

b – ширина лопатки, мм;

n – частота вращения барабана, об/мин;

ε – угол наклона лопатки, град.

Значения факторов и уровни их варьирования представлены в таблице 1.

Таблица 1. Факторы и уровни варьирования

Фактор и единица измерения	Натуральные обозначения	Кодовое обозначение	Интервал варьирования	Уровни варьирования натуральные			Уровни варьирования кодовые		
				верхний	нулевой	нижний	верхний	нулевой	нижний
Количество лопаток, шт.	a	X ₁	2	8	6	4	+1	0	-1
Ширина лопатки, мм	b	X ₂	30	180	150	120	+1	0	-1
Частота вращения барабана, об/мин	n	X ₃	5	40	35	30	+1	0	-1
Угол наклона лопатки, град.	ε	X ₄	4	20	16	12	+1	0	-1

В качестве критерия оптимизации выбирали:

λ – степень однородности сапропеле-минеральной смеси, %.

При исследовании влияния сапропеле-минеральной смеси на рост и развитие растений, а также на содержание в почве основных элементов.

Объектом исследования являлась сапропеле-минеральная смесь рецептурой, рассчитанной для внесения под зерновые культуры, включающая органический сапропель и минеральные добавки в виде карбамида, двойного суперфосфата и хлористого калия. Данные минеральные компоненты были выбраны исходя из условий смешиваемости [10], которые позволяют смешивать эти виды удобрений за неопределенное время до внесения в почву [8]. В соответствии с рекомендациями [7], соотношение азота, фосфора и калия, равное 1:1:1,2, является оптимальным при внесении данных удобрений в дерново-подзолистые почвы под зерновые культуры.

Результаты исследований. В результате многофакторного регрессионного анализа, выполненного на основе результатов исследований в программе Statistica, получено уравнение регрессии [10] зависимости качества смесеобразования от факторов a, n, ε , b.

$$\lambda = -219,263 + 64,7864 \cdot a - 1,22003 \cdot n + 17,7351 \cdot \varepsilon - 0,0350231 \cdot b + 0,0929688 \cdot a \cdot n - 0,0695312 \cdot a \cdot \varepsilon + 0,0148958 \cdot a \cdot b - 0,00130208 \cdot \varepsilon \cdot b - 5,67679 \cdot a^2 - 0,525446 \cdot \varepsilon^2 \quad (2)$$

Принимая во внимание значения коэффициентов полученной математической модели, анализируя поверхность отклика (рис. 2), отмечаем наилучшее качество перемешивания при количестве лопаток от 5 до 7 штук. Частота вращения барабана при этом находится в пределах 30-40 мин⁻¹, дальнейшее её увеличение влечет нарушение процесса перемешивания, что связано с увеличением влияния центробежной силы, действующей на смешиваемые материалы. При этом процесс осыпания материала с перегородок при вращении барабана нарушается.

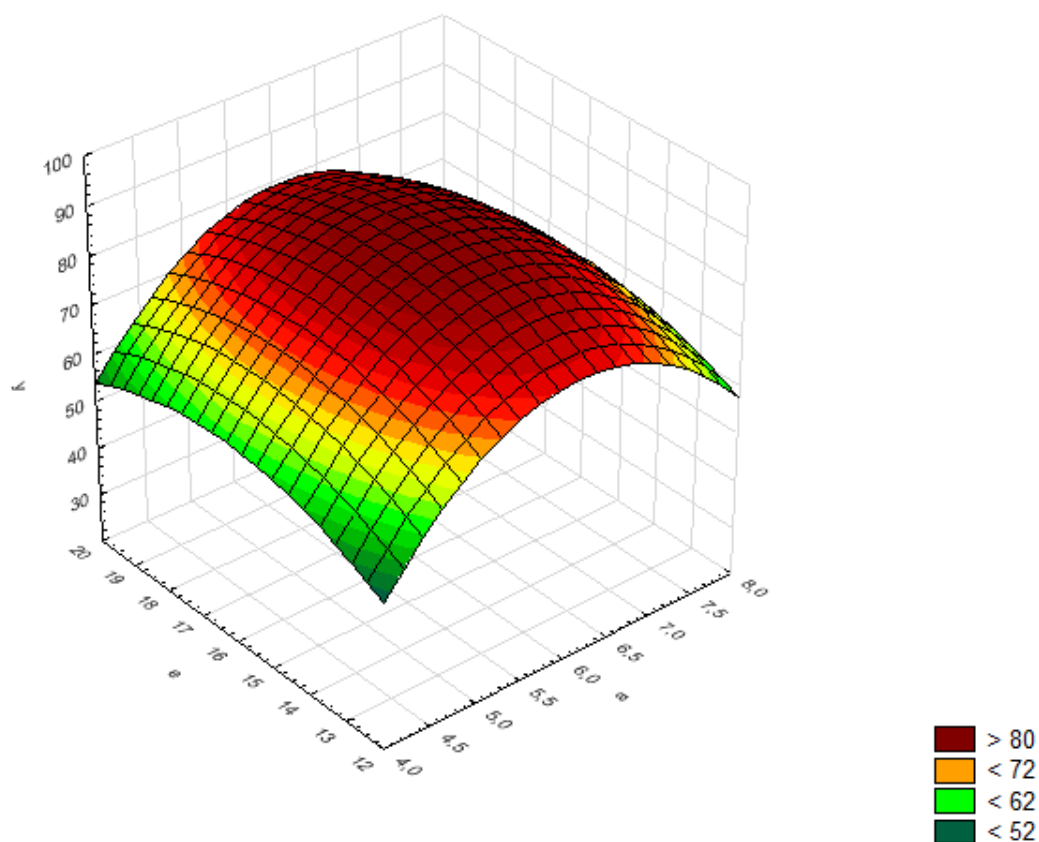


Рис. 2. зависимость качества смеси от частоты вращения и числа лопаток

Наилучшее значение качества смеси λ достигается при количестве лопаток 6 штук и ширине лопатки от 150 до 170 мм, дальнейшее увеличение снижает качество перемешивания за счет того, что материал при вращении не успевает осыпаться с лопатки.

Также были проведены исследования по энергозатратам на процесс смешивания. В результате многофакторного регрессионного анализа, выполненного на основе данных исследований, установлена зависимость энергозатрат на процесс смешивания от факторов a , n , ε , b . После проведения повторного многофакторного регрессионного анализа, без учета незначимых эффектов, было получено уравнение регрессии:

$$N = 4680,02 - 233,963 \cdot a - 27,2365 \cdot n - 155,139 \cdot \varepsilon - 26,1982 \cdot b + 0,174375 \cdot a \cdot n - 0,289063 \cdot a \cdot \varepsilon - 0,106458 \cdot a \cdot b - 0,116875 \cdot n \cdot \varepsilon + 20,7656 \cdot a^2 + 0,468656 \cdot n^2 + 5,01953 \cdot \varepsilon^2 + 0,0907917 \cdot b^2 \quad (3)$$

Принимая во внимание значения коэффициентов полученной математической модели, анализируя поверхность отклика (рис. 3), отмечаем значительное влияние частоты вращения барабана смесителя. Во всем исследуемом диапазоне наблюдается резкое возрастание затрат энергии при увеличении частоты вращения свыше 35 мин⁻¹. Увеличение ширины лопаток свыше 150 мм влечет рост энергозатрат. При ширине лопаток менее 130 мм также наблюдается рост потребления энергии, за счет снижения интенсивности смещения перемешиваемой массы вдоль барабана, накопления её в барабане и, как следствие, увеличения сопротивления вращению барабана. Количество лопаток не изменяет характер при изменении прочих факторов; наименьшие энергозатраты выявлены при их количестве от 5 до 7 штук.

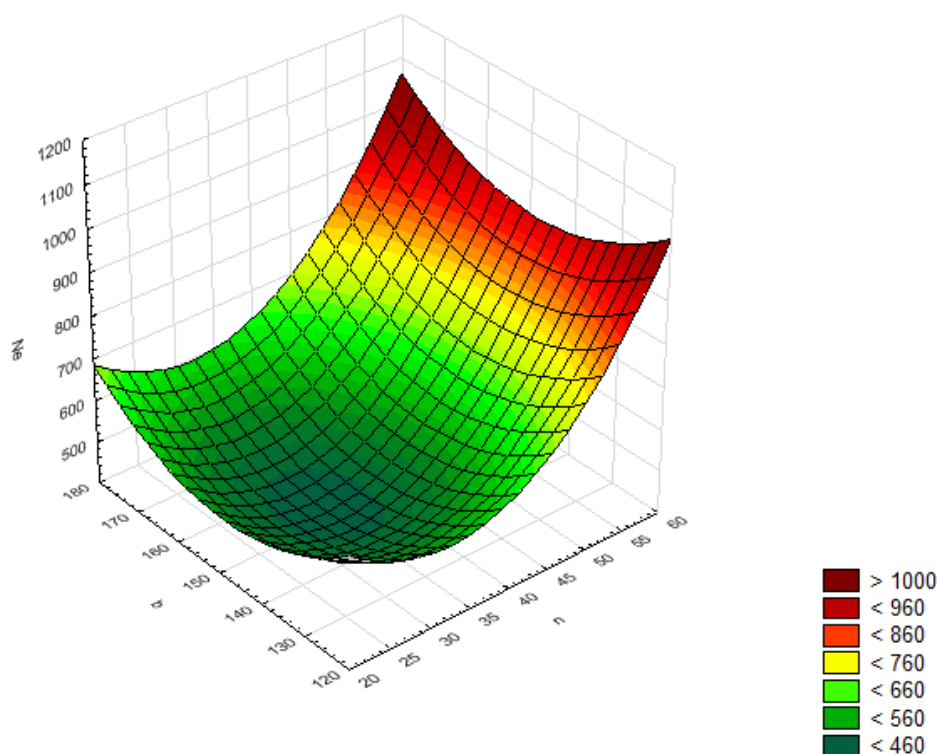


Рис.3. Зависимость мощности барабанно-лопастного смесителя от частоты вращения барабана и ширины лопаток

Угол расположения лопаток ε не оказывает значительного влияния на затраты энергии на работу смесителя.

При исследовании влияния сапропеле-минеральных удобрений на рост и развитие пшеницы и на агрохимические показатели почвы использовали трехвариантную схему: 1. Сапропель 2. NPK в соотношении 1:1:1,2 3. Сапропеле-минеральные удобрения. Повторность каждого варианта была трёхкратной, в течение вегетации растений велись наблюдения и установлено, что растения пшеницы во втором и третьем вариантах при внесении минеральных удобрений и сапропеле-минеральных удобрений развивались быстрее растений, удобренных чистым сапропелем во всех фазах. В фазе кушения было заметно более слабое развитие растений в первом варианте, однако сам процесс кушения их был активнее, что стало причиной образования большего числа колосьев, чем в других вариантах, хотя и меньшего размера. Основные характеристики растений, зафиксированные после их уборки в фазу полной спелости, представлены в табл. 2.

Таблица 2. Влияние различных видов удобрения на основные показатели характеристики растений

Варианты	Средняя высота стебля, мм	Средняя длина колоса, мм	Масса стеблей на один сосуд, г	Масса зерна на один сосуд, г	Урожайность, ц/га
Сапропель	512	65	12,9	10,1	25,3
НПК 1:1:1,2	553	70	13,2	10,6	26,5
СМУ	596	78	14,6	11,5	28,7

Анализируя данные табл. 2, установлено, что сапропеле-минеральные удобрения положительно повлияли на рост и развитие растений и повысили урожайность на 2,2 ц/га.

Исследования, направленные на изучение влияния сапропеле-минеральных удобрений на агрохимические показатели почвы, показали положительное влияние на увеличение содержания легкогидролизуемого азота в 1,66 раза, подвижного фосфора – в 1,26 раза, обменного калия – в 1,14 раза.

Выводы:

1. В результате исследований, в соответствии с требованиями к качеству смеси удобрения, установлены рациональные конструктивные и технологические параметры барабанного смесителя.

2. Установлено положительное влияние сапропеле-минеральных удобрений на агрохимические показатели почвы, а также на рост и развитие растений и повышение урожайности зерновых культур.

Литература

1. Павлов А.Н. Повышение эффективности использования сапропеля естественной влажности на удобрение путем улучшения качественных характеристик и конструкции шнекового нагнетателя: дис... канд. техн. наук. – СПб., 1998. – 187 с.
2. Савельева Л.Н., Евентьева Е.А. Расчетно-теоретические предпосылки к обоснованию технологических параметров барабанного смесителя непрерывного действия // Молодой ученый. – 2008. – №1. – С. 32-36.
3. Малноч А.О. Совершенствование технологического процесса приготовления сапропеле-минеральных гранулированных удобрений путем обоснования конструктивных и технологических параметров прессующего устройства: дис... канд. техн. наук. – В. Луки, 2000. – 187 с.
4. Морозов В.В., Савельева Л.Н. Обоснование параметров барабанного смесителя сапропеле-минеральных удобрений // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. – 2016. – № 22 (27). – С. 15-21.
5. Морозов В.В., Павлов А.Н., Кокунова И.В., Малноч А.О. Сапропель – важнейший источник органических удобрений // Земледелие. – 2001. – №5.
6. Мееровский А.С. Сапропелевые удобрения. – Минск: Наука и техника, 1983. – 120 с.
7. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. – М.: Колос, 1973. – 195 с.
8. Попков А.Н. Создание метода расчета барабанных смесителей сыпучих материалов непрерывного действия с винтовой рабочей поверхностью: дис... канд. техн. наук. – Ярославль, 1990.
9. Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рощин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. – Л.: Колос, 1980. – 168с.
10. Коптев В.В., Богомягих В.А., Трифонова М.Ф. Основы научных исследований и патентования. – М.: Колос, 1993. – 144 с.

Literatura

1. **Pavlov A.N.** Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya sapropelya estestvennoj vlazhnosti na udobrenie putem uluchsheniya kachestvennykh harakteristik i konstrukcii shnekovogo nagnetatelya: dis... kand. tekhn. nauk. – SPb., 1998. – 187 s.
2. **Savel'eva L.N., Event'eva E.A.** Raschetno-teoreticheskie predposylki k obosnovaniyu tekhnologicheskikh parametrov barabannogo smesitelya nepreryvnogo dejstviya // Molodoj uchenyj. – 2008. – №1. – S. 32-36.
3. **Malnoch A.O.** Sovershenstvovanie tekhnologicheskogo processa prigotovleniya sapropele-mineral'nyh granulirovannykh udobrenij putem obosnovaniya konstruktivnykh i tekhnologicheskikh parametrov pressuyushchego ustrojstva: dis... kand. tekhn. nauk. – V. Luki, 2000. – 187 s.
4. **Morozov V.V., Savel'eva L.N.** Obosnovanie parametrov barabannogo smesitelya sapropele-mineral'nyh udobrenij // Vestnik Rossijskogo gosudarstvennogo agrarnogo zaochnogo universiteta. – 2016. – № 22 (27). – S. 15-21.
5. **Morozov V.V., Pavlov A.N., Kokunova I.V., Malnoch A.O.** Sapropel' – vazhnejshij istochnik organicheskikh udobrenij // Zemledelie. – 2001. – №5.
6. **Meerovskij A.S.** Sapropelevye udobreniya. – Minsk: Nauka i tekhnika, 1983. – 120 s.
7. **Vedenyapin G.V.** Obshchaya metodika eksperimental'nogo issledovaniya i obrabotki opytnykh dannyh. – M.: Kolos, 1973. – 195 s.
8. **Popkov A.N.** Sozdanie metoda rascheta barabannykh smesitelej sypuchih materialov nepreryvnogo dejstviya s vintovoj rabochej poverhnost'yu: dis... kand. tekhn. nauk. – YAroslavl', 1990.
9. **Mel'nikov S.V., Aleshkin V.R., Roshchin P.M.** Planirovanie eksperimenta v issledovaniyah sel'skokozyajstvennykh processov. – L.: Kolos, 1980. – 168s.
10. **Koptev V.V., Bogomyagkih V.A., Trifonova M.F.** Osnovy nauchnykh issledovaniy i patentovedeniya. – M.: Kolos, 1993. – 144 s.

УДК 361.362: 004.942

DOI 10.24411/2078-1318-2019-14235

Канд. техн. наук **Н.Н. КУЗНЕЦОВ**
 (ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА, 027781@mail.ru)
 Канд. техн. наук **Р.А. ШУШКОВ**
 (ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА, roma970@mail.ru)
 Канд. техн. наук **В.Н. ВЕРШИНИН**
 (ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА, viknikver@mail.ru)

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЕННОГО ЗЕРНА

Современная технология послеуборочной обработки предполагает сушку всего поступившего семенного зерна в «мягких», энергозатратных тепловых режимах. При этом потенциальная фуражная фракция выделяется только при первичной и вторичной очистках [1, 6].

Технология с применением фракционирования до сушки предполагает разделение зернового вороха на несколько потоков при предварительной очистке. Эти потоки отличаются друг от друга физико-механическими свойствами, составом, назначением, интенсивностью и дальнейшей обработкой каждого потока по оптимальной для него технологии [1].

Реализация модели предполагает практическое использование результатов моделирования для определения пропускной способности технологической линии обработки зернового вороха без выделения и с выделением фуражной фракции до сушки.

Цель исследования – повышение эффективности технологии послеуборочной обработки семенного зерна на основе фракционирования зернового вороха до сушки.