

изобретение Ru, № 2677978 С1, МПК, А01F 29/00, Заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Иркутский ГАУ им. А.А. Ежевского» заявл. 15.11.17; опубликовано 22.01.2019. Бюл. № 3.

5. Карпов В.В. Повышение эффективности технологического процесса подготовки кормовых корнеплодов к скармливанию: дис. ... канд. техн. наук / Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I. – Воронеж, 2018.

6. Шуханов С.Н., Доржиев А.С. Режущий аппарат измельчителя корнеклубнеплодов / Патент на полезную модель Ru, № 186473 U1, МПК, А01F 29/00, В02С 18/06, заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Иркутский ГАУ им. А.А. Ежевского» заявл. 18.10.17; опублик. 22.01.19. Бюл. № 3.

7. Боровиков В. STATISTICA: Искусство анализа данных на компьютере (с CD-ROM). – 2 изд. – Питер, 2003.

8. Вуколов Э.А. Основы статистического анализа: практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов «Statistica» и «Excel». – М.: Форум, 2004. – 464 с.

9. Халафян А. А. «STATISTICA 6. Статический анализ данных. – 3-е изд. М.: ООО «Бином-Пресс», 2007. – 512 с.

eskikh sredstv dlya izmelcheniya korneklubneplodov // Agrarnaya nauka. – 2015. – No. 5. – S. 30-31.

3. Shukhanov S.N., Kuzmin A.V., Sosorov E.V. Sovershenstvovanie tekhnicheskikh sredstv dlya izmelcheniya korneplodov // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – No. 3 (59). – S. 93-95.

4. Khabardin V.N., Shukhanov S.N., Dorzhiev A.S. Izmelchitel korneklubneplodov / Patent na izobretenie Ru, No. 2677978 S1, MPK, A01F 29/00, Zayavitel i patentoobladatel FGBOU VO «Irkutskiy GAU im. A.A. Ezhevskogo» заявл. 15.11.17; опубликовано 22.01.2019. Бюл. No. 3.

5. Karpov V.V. Povyshenie effektivnosti tekhnologicheskogo protsesssa podgotovki kormovykh korneplodov k skarmlivaniyu: dis. ... kand. tekhn. nauk / Voronezhskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet im. Imperatora Petra I. – Voronezh, 2018.

6. Shukhanov S.N., Dorzhiev A.S. Rezhushchiy apparat izmelchitelya korneklubneplodov / Patent na poleznuyu model Ru, No. 186473 U1, MPK, A01F 29/00, B02C 18/06, Zayavitel i patentoobladatel FGBOU VO «Irkutskiy GAU im. A.A. Ezhevskogo» заявл. 18.10.17; опубликовано 22.01.19. Бюл. No. 3.

7. Borovikov V. STATISTICA: Iskusstvo analiza dannykh na kompyutere (s CD-ROM), 2-e izd. Piter, 2003.

8. Vukolov E.A. Osnovy statisticheskogo analiza. Praktikum po statisticheskim metodam i issledovaniyu operatsiy s ispolzovaniem paketov «Statistica» i «Excel». – М.: Forum, 2004. – 464 с.

9. Khalafyan A.A. STATISTICA 6. Statcheskiy analiz dannykh. 3-e izd. – М.: ООО «Binom-Press», 2007. – 512 с.

References

1. Shukhanov S.N., Boloev P.A., Kovalivnich V.D., Garmaev Zh.V. Opytnyy izmelchitel korneklubneplodov // Vestnik APK Verkhnevolzhya. – 2014. – No. 2 (26). – S. 86-87.

2. Shukhanov S.N., Boloev P.A., Kovalivnich V.D., Dorzhiev A.S. Modernizatsiya tekhnich-



УДК 631.363.2

В.Г. Игнатенков, М.Б. Тельпук, В.В. Шлапаков
V.G. Ignatenkov, M.B. Telpuk, V.V. Shlapakov

МАТРИЧНЫЙ СМЕСИТЕЛЬ-ГРАНУЛЯТОР ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОРМОВЫХ ДОБАВОК НА ОСНОВЕ САПРОПЕЛЯ

MATRIX MIXER-PELLETER FOR PRODUCTION OF SAPROPEL-BASED FEED SUPPLEMENTS

Ключевые слова: сапропель, витаминно-кормовая добавка, смеситель-гранулятор, однородность смешивания.

Проведенные исследования показали, что целесообразно использование сапропелекормовой добавки в гранулированной форме для длительного сохранения ее

питательных качеств и точного дозирования при скармливании сельскохозяйственным животным. В качестве агрегата для приготовления сапропелекормовой добавки предложен матричный смеситель-гранулятор с парогенератором нормированной подачи пара в камеру смешивания. Проведены экспериментальные исследования, выявлены рациональные конструктивные параметры

смесителя-гранулятора: частота вращения 300 об/мин.; толщина матрицы 40 мм, диаметр отверстий 5 мм; 2 лопатки смешивания. Определены физико-механические свойства гранул сапропелекормовой добавки для выявления соответствия зоотехническим требованиям. При таких значениях будет высокая удельная производительность $Q = 140$ кг/ч и однородность $\lambda = 93\%$ при снижении затрат мощности до значения $N = 2,5$ кВт.

Keywords: *sapropel, vitaminized feed supplement, mixer-pelleter, mixing homogeneity.*

The studies have shown the feasibility of using sapropel-based feed supplement in pellet form. This ensures long-

term preservation of its nutritional qualities and accurate dosing when fed to farm animals. A matrix mixer-granulator with a steam generator was proposed to prepare sapropel-based feed supplement. Normalized steam is supplied to the mixing chamber. Experimental studies were carried out and rational design parameters of the mixer-pelleter were revealed: rotation frequency of 300 rpm; matrix thickness of 40 mm, diameter of openings of 5 mm; 2 mixing blades. To identify compliance with the animal nutrition requirements, the physicomachanical properties of the sapropel-based feed pellets were determined. In this case, there will be a high specific productivity of $Q = 140$ kg h and uniformity $\lambda = 93\%$ while reducing the power consumption to a value of $N = 2.5$ kW.

Игнатенков Валерий Геннадьевич, к.т.н., доцент каф. «Эксплуатация и ремонт МТП», Великолукская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: well_79@mail.ru.

Тельпук Михаил Борисович, к.т.н., доцент каф. «Эксплуатация и ремонт МТП», Великолукская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: telpook@vgsa.ru.

Шлапак Викор Валерьевич, магистрант, Великолукская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: shlapakov95@bk.ru.

Ignatenkov Valeriy Gennadyevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Machinery and Tractor Fleet Operation and Repair, Velikiye Luki State Agricultural Academy. E-mail: well_79@mail.ru.

Telpuk Mikhail Borisovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Machinery and Tractor Fleet Operation and Repair, Velikiye Luki State Agricultural Academy. E-mail: telpook@vgsa.ru.

Shlapakov Viktor Valeryevich, master's degree student, Velikiye Luki State Agricultural Academy. E-mail: shlapakov95@bk.ru.

Введение

Задача повышения питательности рационов кормления сельскохозяйственных животных в настоящее время является актуальной. Это связано с проблемой интенсификации выпуска продукции животноводства, которая не может быть решена без научно обоснованной организации использования природных ресурсов. В сапропеле содержится большое количество каротина, витаминов группы В, фолиевая кислота, стимуляторы роста, гормоны, антибиотики [1-3]. В то же время использование сапропеля естественной влажности, в качестве минерально-витаминной подкормки для сельскохозяйственных животных без дополнительной подготовки трудоемко и экономически нецелесообразно [4]. Однако проблемой является и длительное хранение кормовых добавок без потери их качественных характеристик. Одно из возможных решений – гранулирование, то есть придание продукту определенной плотности и геометрической формы для длительного хранения.

Материалы и методы исследований

В целях улучшения ситуации необходимо создание новых агрегатов по приготовлению и переработке высокопитательного кормового материала животным с расширением их функциональ-

ных возможностей и внедрение оборудования в поточные линии производства витаминно-кормовых добавок на основе местных природных органических ресурсов, одним из которых является сапропель.

Из анализа работ, проведенных исследователями, можно сделать выводы, что качество производимого витаминно-кормового материала, в большинстве случаев, не удовлетворяет зоотехническим требованиям по гранулометрическому составу и степени однородности, а используемые в технологическом процессе машины энергоемки [5, 6].

Теоретические исследования проводились на основе применения законов и методов классической механики, с использованием известных положений теории планирования эксперимента, математического моделирования и методов математической статистики.

Экспериментальные исследования проводились в производственных условиях по методикам, при разработке которых использовались методы планирования многофакторного эксперимента с применением существующих ГОСТов на испытание сельскохозяйственной техники. Основные расчеты и обработка результатов экспериментов выполнялись с использованием специальных программных продуктов на компьютере.

Результаты исследования

Экспериментальные исследования проводились в условиях лаборатории с использованием разработанного матричного смесителя-гранулятора сапропелекормовых добавок (рис. 1).

Камера смешивания матричного смесителя-гранулятора и механизм прессования разделены, подача через технологическое отверстие осуществляется именно шнеком.

Это сделано для предотвращения забивания фильер матрицы при превышении нормы подачи сапропелекормовой добавки к прессующим роликам и необходимого периода перемешивания компонентов в камере смешивания [7]. Частота вращения вала матричного смесителя-гранулятора изменялась в диапазоне 200-300 об/мин.

Необходимо перемешивание лопатками при получении однородности многокомпонентной смеси. До разработки новой конструкции, предлагаемой нами, перемешивание происходило на

отдельном агрегате-смесителе, т.е. требовалось еще одна машина в линии гранулирования.

Между диаметром отверстий матрицы (решетки) и ее толщиной существует зависимость: чем больше отверстия матрицы, тем больше по толщине должна быть решетка для получения гранул необходимой плотности и твердости.

Параметрами, определяющими работоспособность и эффективность применения матричного смесителя-гранулятора, приняты однородность сапропелекормовой добавки (перед прессованием), мощность, производительность.

В результате многофакторного регрессионного анализа, выполненного на основании результатов экспериментальных исследований, установлена зависимость однородности сапропелекормовой добавки λ от факторов: частота вращения вала, об/мин. (b_1); толщина матрицы, мм (b_2); количество лопаток, шт. (b_3).

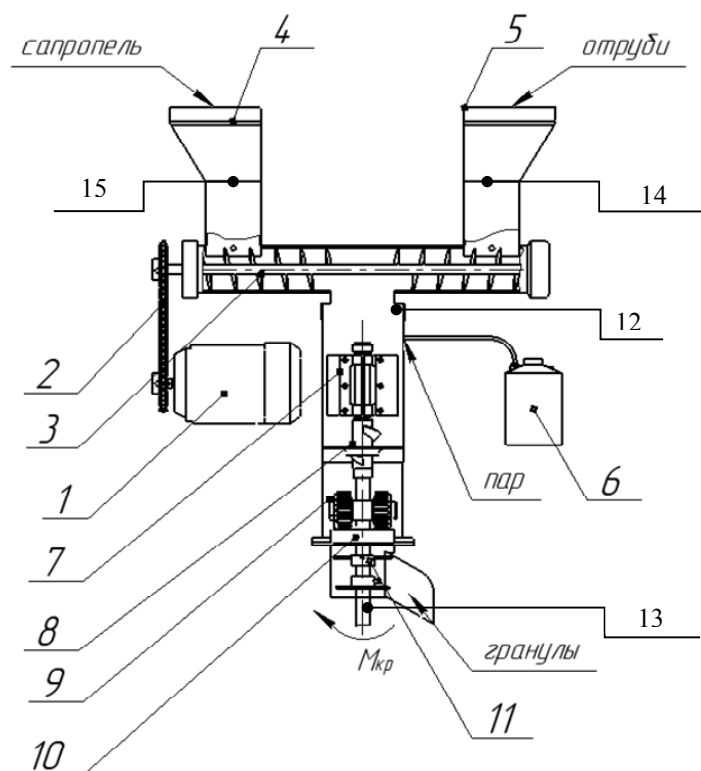
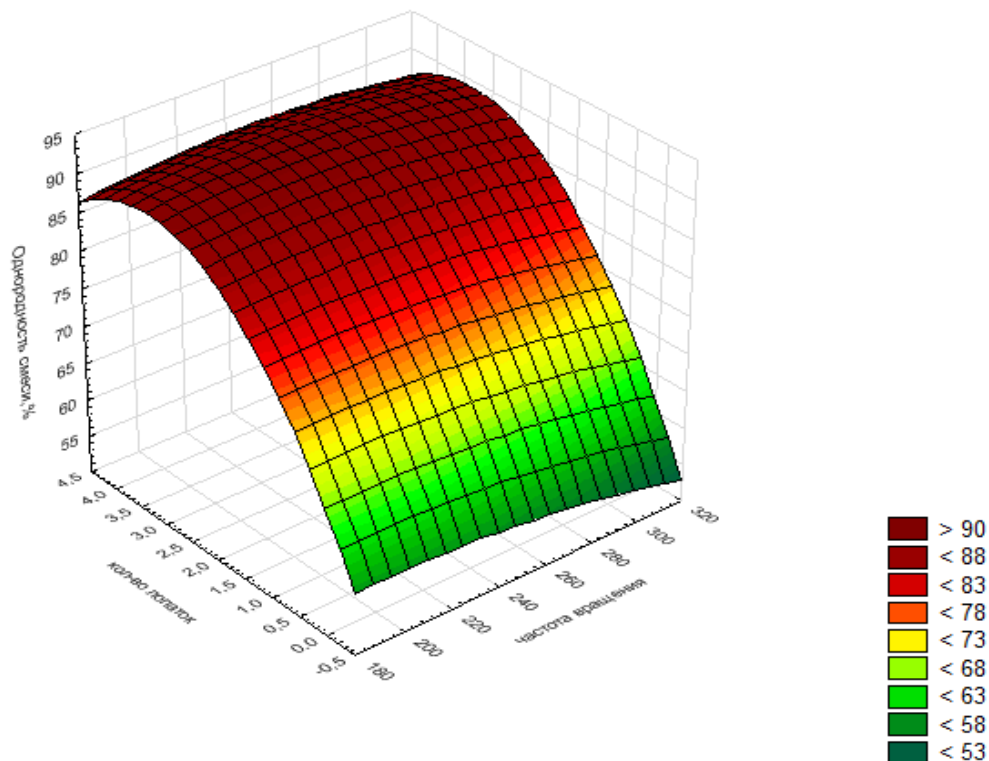


Рис. 1. Конструктивная схема матричного смесителя-гранулятора сапропелекормовых добавок:
 1 – электродвигатель; 2 – цепь привода шнека дозатора; 3 – шнек дозатора; 4 – бункер для сапропеля;
 5 – бункер для отрубей; 6 – парогенератор; 7 – лопатки смешивания;
 8 – шнек для нормированной подачи сапропелекормовой добавки к механизму прессования;
 9 – ролики для прессования сапропелекормовой добавки; 10 – матрица; 11 – нож;
 12 – корпус смесителя-гранулятора; 13 – вал смесителя-гранулятора;
 14 – заслонка бункера для отрубей; 15 – заслонка бункера для сапропеля

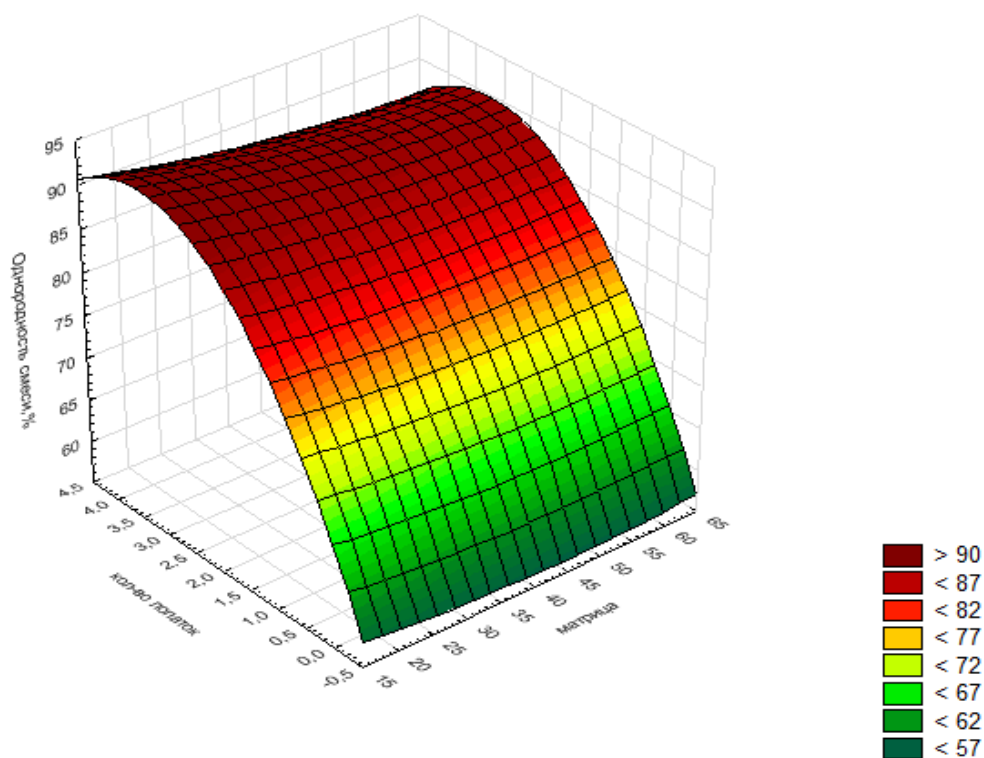
После проведения повторного многофакторного регрессионного анализа было получено уравнение регрессии, описывающее влияние частоты вращения, используемого типа матрицы и количества лопаток на однородность получаемой смеси:

$$\lambda = 67,4 - 0,134 \cdot b_1 - 0,054 \cdot b_2 + 12,455 \cdot b_3 - 0,394 \cdot b_3^2. \quad (1)$$

Поверхности отклика, построенные на основе регрессионного анализа, изображены на рисунке 2.



а



б

Рис. 2. Зависимость однородности:
а – от частоты вращения вала и количества лопаток смешивания;
б – от типа матрицы и количества лопаток смешивания

Принимая во внимание значение коэффициентов получаемой математической модели, анализируя поверхности отклика, отметили: в большей степени на однородность сапропелекормовой добавки влияют частота вращения вала и количество лопаток смешивания, в меньшей – тип матрицы (толщина и размер фильер).

Наибольшая степень однородности наблюдалась при частоте вращения вала 300 мин.⁻¹, толщине матрицы 40 мм и диаметре отверстий 5 мм; 4 лопатках смешивания.

В результате многофакторного регрессионного анализа, выполненного на основании результатов экспериментальных исследований, установлена зависимость производительности сапропелекормовой добавки Q от факторов b₁, b₂, b₃.

В ходе обработки экспериментальных данных было получено уравнение регрессии, описывающее влияние частоты вращения, используемого типа матрицы и количества лопаток на общую производительность матричного смесителя-гранулятора:

$$Q = -6,689 + 0,134 \cdot b_1 + 2,482 \cdot b_2 - 0,894 \cdot b_3. \quad (2)$$

Поверхности отклика, построенные на основе регрессионного анализа, изображены на рисунке 3.

В большей степени на производительность матричного смесителя-гранулятора влияют частота вращения вала и тип матрицы (толщина и размер фильер), в меньшей степени – количество лопаток. Наибольшая производительность наблюдалась при частоте вращения вала 300 мин.⁻¹, толщине матрицы 60 мм и диаметре отверстий 10 мм, 2 лопатках смешивания.

В результате многофакторного регрессионного анализа, выполненного на основании результатов экспериментальных исследований, установлена зависимость мощности необходимой для гранулирования сапропелекормовой добавки от факторов: b₁, b₂, b₃.

После проведения повторного многофакторного регрессионного анализа было получено уравнение регрессии, описывающее влияние частоты вращения, используемого типа матрицы и количества лопаток на затраты мощности на гранулирование сапропелекормовой добавки:

$$N = -4799,96 + 53,750 \cdot b_1 + 46,875 \cdot b_2 + 37,500 \cdot b_3 - 0,062 \cdot b_1 \cdot b_2 - 0,125 \cdot b_1 \cdot b_3 - 0,312 \cdot b_2 \cdot b_3 - 0,102 \cdot b_1^2 - 0,391 \cdot b_2^2 + 0,781 \cdot b_3^2. \quad (3)$$

Поверхности отклика, построенные на основе регрессионного анализа, изображены на рисунке 4.

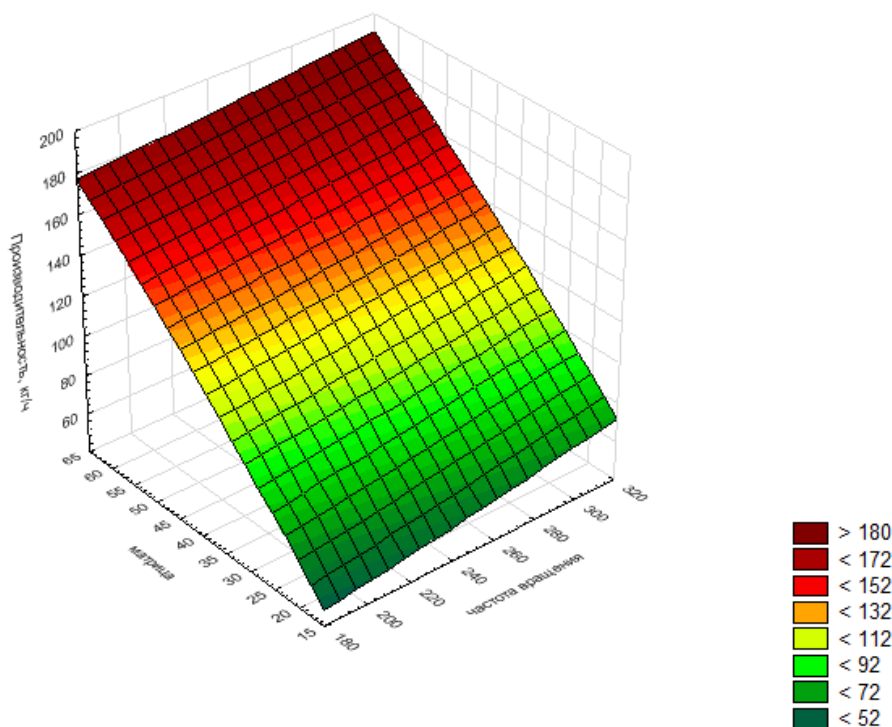
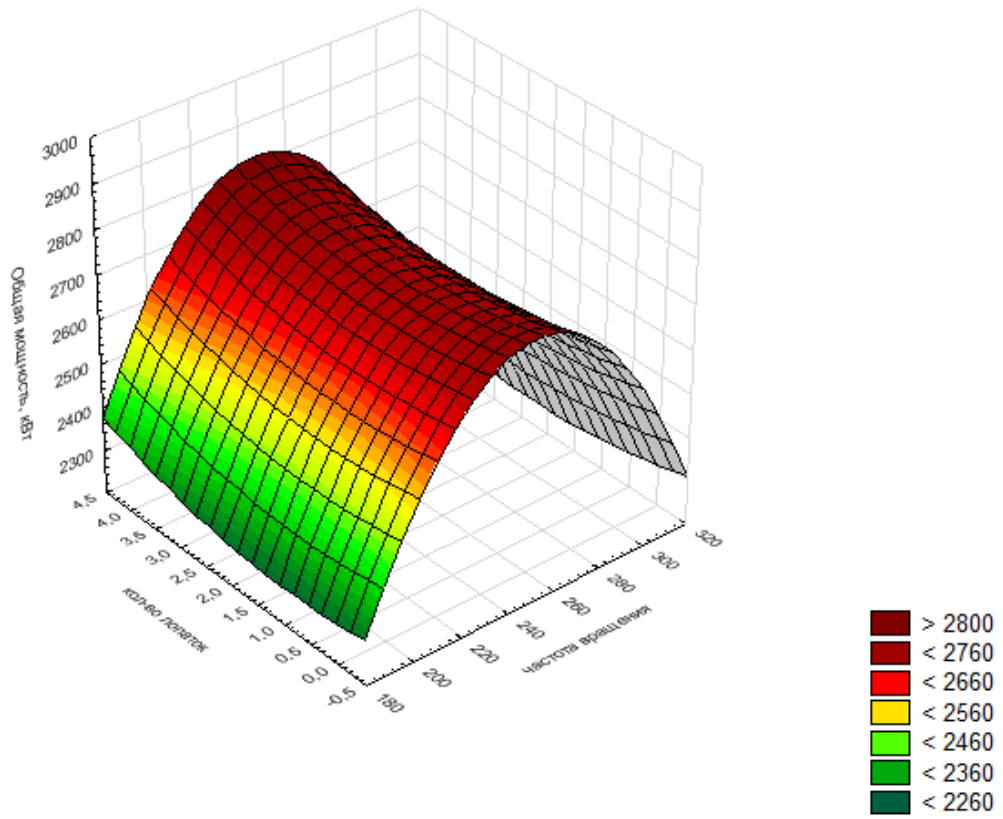
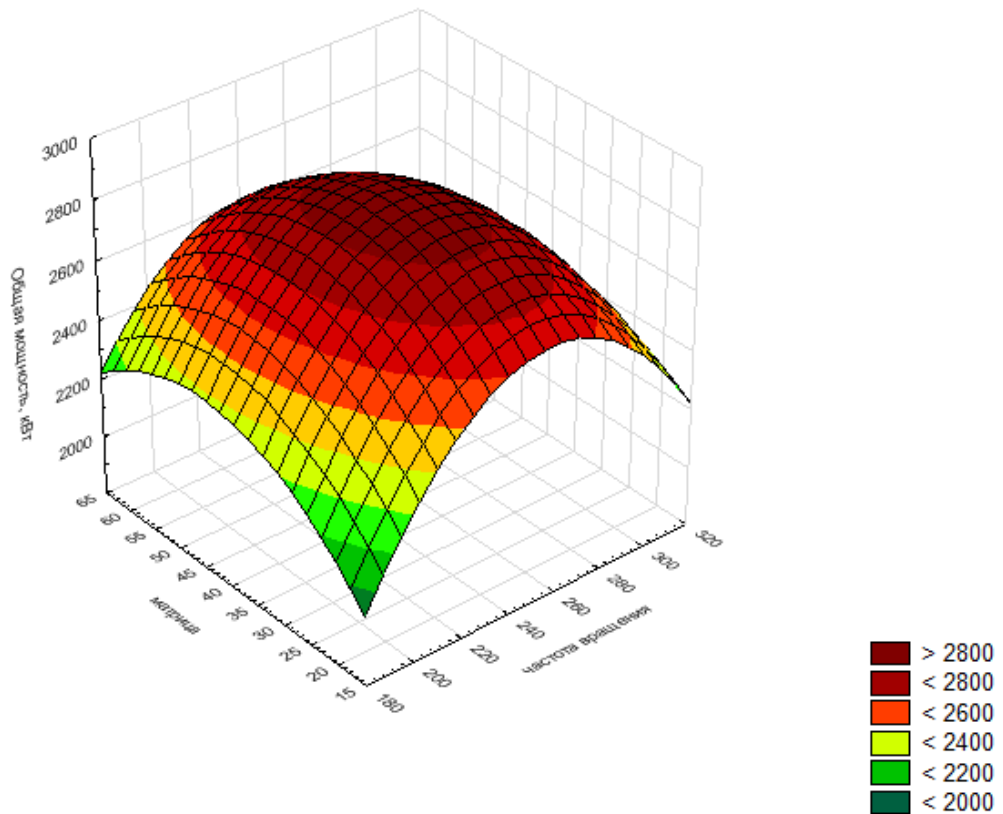


Рис. 3. Зависимость производительности от частоты вращения вала и типа матрицы



а



б

Рис. 4. Зависимость мощности:
а – от количества лопаток и частоты вращения вала;
б – от типа матрицы и частоты вращения вала

Отмечено значительное увеличение затрачиваемой мощности на гранулирование сапропелекормовой добавки при увеличении частоты вращения вала и уменьшении диаметра отверстий матрицы. В меньшей степени на мощность оказывает влияние увеличение количества лопаток. Рациональными значениями конструктивных параметров матричного смесителя-гранулятора для снижения энергозатрат будут: 2 лопатки смешивания; толщина матрицы 60 мм; частота вращения вала 200 мин.⁻¹.

В то же время после анализа всех математических зависимостей и определения рациональных параметров матричного смесителя-гранулятора, в целом, нужно найти правильное соотношение высокой однородности и производительности при минимальных затратах мощности.

Также необходимо учесть обязательную обработку составляющих сапропелекормовой добавки паром для придания липкости перед гранулированием. В случае отсутствия парогенератора прессования сапропелекормовой добавки не происходит.

Выводы

Гранулирование сапропелекормовой добавки дает возможность компактно и длительно храниться при фасовке в разнообразной таре, дозированно подаваться, при скармливании, с применением различных механизированных устройств, что снижает потери самой добавки и ее питательных качеств при перемещении, складировании.

Установлено, что перед прессованием сапропелекормовой добавки для придания смеси липкости и однородности необходимы обработка паром компонентов и перемешивание их лопатками, для чего в конструкции предусмотрен парогенератор с регулируемой подачей пара и лопатки смешивания.

Экспериментальные исследования показали следующие рациональные конструктивные параметры смесителя-гранулятора: частота вращения вала смесителя-гранулятора 300 об/мин.; толщина матрицы 40 мм, диаметр отверстий 5 мм; 2 лопатки смешивания. При таких значениях устанавливаются высокая удельная производительность $Q = 140$ кг/ч и однородность $\lambda = 93\%$ при

снижении затрат мощности до значения $N = 2,5$ кВт.

Физико-механические свойства гранул сапропелекормовой добавки следующие: цвет гранул – светло-коричневый; средний вес гранулы – 0,5 г; длина гранулы – 15 мм; диаметр гранулы – 5 мм; плотность гранулы – 1250 кг/м³; влажность гранулы – 14%; крошимость гранулы – не более 5%.

Библиографический список

1. Игнатенков В.Г., Морозов В.В., Карасев Ю.А., Тельпук М.Б. Рулевое устройство для платформ малой и средней величины, используемых для разработки и добычи сапропеля // Известия Великолукской ГСХА. – 2015. – №4. – 3 с.
2. Морозов В. В. Технология и комплекс машин для послойной разработки сапропеля на удобрения (для условий Северо-Западной зоны РФ): дис. ... докт. техн. наук. – В. Луки, 1995. – 347 с.
3. Егоров И., Чеснокова Н., Присяжная Л. Сапропель в рационах цыплят-бройлеров // Передовой научно-производственный опыт в птицеводстве, экспресс информация. – Сергиев Посад, 1996. – № 1. – С. 28-29.
4. Игнатенков В.Г., Тельпук М.Б., Лаппо Е.Л., Шлапаков В.В., Иванов Е.А. Инерциоид для быстрого обезвоживания сапропеля // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 3. – С. 166-170.
5. Титов В.А., Пикалов Ю.А., Секацкий В.С., Мерзликина Н.В. Грануляторы сырья, состояние и перспективы // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева. – 2012. – № 6 (46). – С. 197-200.
6. Морозов В.В., Игнатенков В.Г. Технология получения и использования витаминно-кормовой добавки на основе сапропеля // Российская школа по проблемам науки и технологий. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – С. 319-321.
7. Булатов И. А. Разработка процесса прессового гранулирования мелкодисперсных сред на примере минеральных порошков и древесных отходов: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2012. – 190 с.

References

1. Ignatenkov V.G., Morozov V.V., Karasev Yu.A., Telpuk M.B. Rulevoe ustroystvo dlya platform maloy i sredney velichiny, ispolzuemykh dlya razrabotki i dobychi sapropelya // Izvestiya Velikolukskoy GSKhA. – 2015. – No. 4. – S. 3.
2. Morozov V.V. Tekhnologiya i kompleks mashin dlya posloynoy razrabotki sapropelya na udobreniya (dlya usloviy Severo-Zapadnoy zony RF): dis. ... dokt. tekhn. nauk. – V. Luki, 1995. – 347 s.
3. Egorov I. Sapropel v ratsionakh tsyplyatbroylеров / I. Egorov, N. Chesnokova, L. Prisyazhnaya // Peredovoy nauchno-proizvodstvennyy opyt v ptitsevodstve, ekspress informatsiya. – Sergiev Posad, 1996. – No. 1. – S. 28-29.
4. Ignatenkov V.G., Telpuk M.B., Lappo E.L., Shlapakov V.V., Ivanov E.A. Inertsioid dlya bystrogo obezvozhivaniya sapropelya // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2019. – No. 3. – S. 166-170.
5. Granulyatory syrya, sostoyanie i perspektivy / V.A. Titov, Yu.A. Pikalov, V.S. Sekatskiy, N.V. Merzlikina // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta imeni akademika M.F. Reshetneva. – 2012. – No. 6 (46). – S. 197-200.
6. Morozov V.V., Ignatenkov V.G. Tekhnologiya polucheniya i ispolzovaniya vitaminno-kormovoy dobavki na osnove sapropelya // Rossiyskaya shkola po problemam nauki i tekhnologiy. – Ekaterinburg: UrO RAN, 2003. – S. 319-321.
7. Bulatov I.A. Razrabotka protsessa pressovogo granulirovaniya melkodus-persnykh sred na primere mineralnykh poroshkov i drevesnykh otkhodov: dis. ... kand. tekhn. nauk. – M., 2012. – 190 s.

