

Вестник Курганской ГСХА. 2022. № 2 (42). С. 36-42  
Vestnik Kurganskoy GSKhA. 2022; (2-42): 36-42

Научная статья  
УДК 674.8  
Код ВАК 4.3.1.

DOI: 10.52463/22274227\_2022\_42\_36  
EDN: ENGQUD

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СМЕСИТЕЛЯ-ГРАНУЛЯТОРА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ

Игорь Борисович Зимин<sup>1</sup>, Валерий Геннадьевич Игнатенков<sup>2</sup>, Максим Александрович Фомичев<sup>3</sup>✉

<sup>1, 2, 3</sup>Великолукская государственная сельскохозяйственная академия, Великие Луки, Россия

<sup>1</sup>igzimin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9892-2948>

<sup>2</sup>well\_79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3266-7750>

<sup>3</sup>fomichev1995@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1003-8091>

**Аннотация.** Цель исследования – повышение эффективности использования твердого биотоплива для объектов сельской теплоэнергетики путем улучшения его качественных характеристик и снижения себестоимости. Такое топливо должно иметь высокие технологические и теплотехнические свойства, иметь низкую себестоимость, быть экологически чистым. Повысить эффективность твердого биотоплива можно путем преобразования низкокачественного топлива в обогащенное, с использованием местных источников сырья. Одними из наиболее распространенных местных источников сырья в Северо-Западном регионе являются древесина и торф. Исследованиями установлено, что замещение традиционных энергоносителей этими видами топлива приводит к снижению себестоимости получения тепловой энергии и экологической нагрузки на окружающую среду. Но с энергетической точки зрения важно не только ввести в топливный баланс относительно недорогие и экологически чистые виды энергоносителей, но и повысить эффективность их использования, чтобы в конечном итоге повысить КПД теплоэнергетического оборудования, работающего с данными видами топлива. Для достижения этой цели необходимо совершенствовать технологию топливоподготовки путем смешивания и прессования компонентов твердого биотоплива с получением конечного продукта – топливных гранул (пеллет). **Методика.** Для изучения процесса получения топливных гранул из двухкомпонентной смеси (древесина-торф) на базе ФГБОУ ВО Великолукская ГСХА сконструировали, изготовили, протестировали и провели экспериментальные исследования смесителя-гранулятора матричного типа. Предлагаемый нами смеситель-гранулятор состоит из двух бункеров, шнека-дозатора, лопаток смешивания, подающего шнека, парогенератора, матрицы, роликов и электро-

привода. **Результаты.** В ходе эксперимента определены рациональные конструктивно-технологические параметры, такие как частота вращения вала смесителя-гранулятора, частота вращения вала шнекового дозатора, количество лопаток смешивания. Были проанализированы выходные параметры технологического процесса работы смесителя-гранулятора, такие как производительность смесителя-гранулятора и мощность, затрачиваемая на привод смесителя-гранулятора. Анализ результатов проведения эксперимента показал, что на производительность матричного смесителя-гранулятора оказывают влияние частота вращения вала смесителя-гранулятора и частота вращения вала шнекового дозатора. Помимо этого установлено, что значительное увеличение затрачиваемой мощности на гранулирование топливной смеси наблюдается при увеличении частоты вращения вала смесителя-гранулятора и увеличении количества лопаток смешивания. **Научная новизна.** Определены параметры и режимы работы смесителя-гранулятора, позволяющие обеспечивать совершенствование технологии получения топливных гранул путем объединения в одном агрегате двух операций – смешивания и прессования компонентов исходного сырья. Это позволяет на этапе производства топливных гранул получать конечный продукт с заданными технологическими и теплотехническими свойствами, при наименьших энергозатратах.

**Ключевые слова:** древесина, торф, топливо, смеситель-гранулятор, топливные гранулы.

**Для цитирования:** Зимин И.Б., Игнатенков В.Г., Фомичев М.А. Результаты экспериментальных исследований смесителя-гранулятора для получения топливных гранул // Вестник Курганской ГСХА. 2022. № 2 (42). С. 36-42. [https://doi.org/10.52463/22274227\\_2022\\_42\\_36](https://doi.org/10.52463/22274227_2022_42_36)

### Scientific article

## THE RESULTS OF THE MIXER-GRANULATOR EXPERIMENTAL STUDIES FOR THE PRODUCTION OF FUEL PELLETS

Igor B. Zimin<sup>1</sup>, Valerij G. Ignatenkov<sup>2</sup>, Maksim A. Fomichev<sup>3</sup>✉

<sup>1, 2, 3</sup>State Agricultural Academy of Velikie Luki, Velikie Luki, Russia

<sup>1</sup>igzimin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9892-2948>

<sup>2</sup>well\_79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3266-7750>

<sup>3</sup>fomichev1995@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1003-8091>

**Abstract.** The purpose of the study is increasing the efficiency of using solid biofuels for rural thermal power facilities by improving its quality characteristics and reducing cost. Such fuel must have high technological and thermal properties, have a low cost, and be environmentally friendly. It is possible to increase the efficiency of solid biofuels

by converting low-quality fuel into refined fuel, using local sources of raw materials. One of the most common local sources of raw materials in the North-Western region are wood and peat. Studies have established that the replacement of the traditional energy carriers with these types of fuels leads to a reduction in the cost of obtaining thermal en-

ergy and the environmental burden on the environment. But from the energy point of view, it is important not only to introduce relatively inexpensive and environmentally friendly types of energy carriers into the fuel balance, but also to increase the efficiency of their use in order to ultimately increase the efficiency of thermal power equipment working with these types of fuels. To achieve this goal, it is necessary to improve the technology of heating by mixing and pressing the components of solid bio-fuel to obtain the final product - fuel pellets. **The methodology.** To study the process of obtaining fuel pellets from a two-component mixture (wood-peat), a matrix-type mixer-granulator was designed, manufactured, tested and carried out experimental studies on the basis of the Velikiye Luki State Agricultural Academy. The mixer-granulator offered by us consists of two bunkers, a metering screw, mixing blades, a feeding screw, a steam generator, a matrix, rollers and an electric drive. **Results.** During the experiment, rational design and technological parameters were determined, such as the rotation frequency of the mixer-granulator shaft, the rotation frequency of the screw dispenser shaft, the number of mixing blades. The output parameters of the technological process of the mixer-granulator were analyzed, such as the productivity of the mixer-granulator and the power spent on the drive of

**Введение.** В настоящее время наблюдается ежегодный рост цен на традиционные виды энергоносителей (уголь, нефть, газ, электрическая энергия). Данная тенденция, как видно, будет продолжаться и сопровождаться дополнительными проблемами, в частности, ухудшением экологической обстановки в агропромышленном комплексе и сельской местности в целом [1].

Для решения рассматриваемых проблем на сегодняшний день весьма важно обеспечить активное вовлечение в топливный баланс альтернативных и возобновляемых источников энергии. Одними из наиболее распространенных местных возобновляемых источников энергии в Северо-Западном регионе являются древесина и торф.

Лидирующие позиции по объемам заготовки и переработки на сегодняшний день занимает древесина [2, 3]. В настоящее время в России масштабы переработки древесины достигли таких размеров, что создали существенные проблемы из-за повсеместного распространения несанкционированных отвалов отходов и их утилизации. При заготовке древесины 65-70% древесных отходов остается на лесосеках или вывозится в отвалы. При переработке не менее 40% древесины превращается в отходы, которые могут в дальнейшем использоваться только как источник энергии [4]. При глубокой переработке древесины еще около 50% пиломатериала переходит в отходы. В целом уровень использования древесины на энергетические нужды оценивается в пределах 30-35%. В этом случае рациональная утилизация отходов преследует две главные цели: эффективное вторичное использование продуктов переработки отходов и исключение загрязнения окружающей среды [5]. Характеризуя древесину как топливо, отметим, что при влажности  $W=20-30\%$  низшая теплота ее сгорания колеблется в пределах  $Q_{\text{н}}=12000-14240$  кДж/кг. До-

the mixer-granulator. Analysis of the results of the experiment showed that the performance of the matrix mixer-granulator is influenced by the rotation frequency of the mixer-granulator shaft and the rotation frequency of the screw dispenser shaft, to a lesser extent the number of mixing blades. In addition, it was found that a significant increase in the power consumed for granulating the fuel mixture is observed with an increase in the speed of rotation of the mixer-granulator shaft and an increase in the number of mixing cycles. **Scientific novelty.** The parameters and operating modes of the mixer-granulator have been determined, which make it possible to ensure the improvement of the technology for producing fuel pellets by combining two operations in one unit - mixing and pressing the components of the feedstock. This makes it possible at the stage of production of fuel pellets to obtain the final product with the specified technological and thermal properties, at the lowest energy consumption.

**Keywords:** wood, peat, fuel, granulator mixer, fuel pellets.

**For citation:** Zimin I.B., Ignatenkov V.G., Fomichev M.A. The results of the mixer-granulator experimental studies for the production of fuel pellets. Vestnik Kurganskoy GSKhA. 2022; (2-42): 36-42. [https://doi.org/10.52463/22274227\\_2022\\_42\\_36](https://doi.org/10.52463/22274227_2022_42_36) (In Russ).

вольно часто влажность древесных отходов при заготовке и переработке древесины достигает  $W=50-60\%$ . В этом случае перед использованием древесных отходов в энергетических целях их необходимо предварительно подсушить.

Вторым местным энергоресурсом, имеющим важное значение для дальнейшего развития энергетики, является торф. Общая площадь торфяников в России составляет около 136,6 млн. га [6]. На территории Северо-Западного региона сосредоточены крупнейшие запасы торфа. Только в Псковской области торфяной фонд насчитывает более 2580 торфяных месторождений площадью более 1 га с запасами воздушно-сухого торфа более 1,8 млрд. т. Наиболее крупные месторождения торфа – это Рдейское (Полистовская низменность), Гальский мох и Татинский мох, Заплюские мхи.

Для энергетических целей используется, как правило, верховой (моховой) торф, который образуется из растений, малотребовательных к наличию минеральных солей (белые мхи, пушица, богульник, малоразвитая низкорослая сосна). Верховой торф имеет низкую зольность (до 5%). Низшая теплота сгорания ( $Q_{\text{н}}$ , кДж/кг) зависит от группы торфа и его влажности ( $W$ , %). Например, при влажности  $W=30\%$  низшая теплота сгорания может колебаться в широких пределах  $Q_{\text{н}}=8800-14600$  кДж/кг.

В настоящее время уровень использования торфа на энергетические нужды оценивается в пределах 20-25%.

Исследованиями установлено, что замещение традиционных энергоносителей (дизельного топлива, газа) такими видами топлива, как древесина и торф приводит к снижению себестоимости получения тепловой энергии и экологической нагрузки на окружающую среду [1, 6, 7]. Но с энергетической точки зрения важно не только

ввести в топливный баланс относительно недорогие и экологически чистые виды энергоносителей, но и повысить эффективность их использования. Это объясняется тем, что прямое сжигание таких местных видов топлива, как древесина и торф сопровождается их невысокой теплотворной способностью и энергетической плотностью, что приводит в конечном итоге к снижению КПД теплоэнергетического оборудования. Решением данной проблемы является преобразование низкокачественного местного топлива в облагороженное, с высокими технологическими и теплотехническими свойствами. Для этой цели топливо прессуют с получением конечного продукта – топливных гранул (пеллет) [8].

Топливные гранулы (пеллеты) – это облагороженное спрессованное биотопливо в форме цилиндров, диаметром 6-12 мм и длиной не более 50 мм. При сравнении топливных гранул с классическими видами биотоплива (кусковой древесиной и торфом) выявляются следующие преимущества:

- универсальность используемого сырья;
- снижение расхода топлива за счет большей теплотворной способности и низкой влажности пеллет (8-10%) по сравнению с кусковой древесиной и торфом;
- возможность создания композитных вариаций при производстве гранул (например, древесина-торф);
- возможность полной автоматизации и контроля процесса подачи, горения топлива и отпуска тепла;
- низкая зольность и экологическая чистота.

Актуальность рассматриваемого нами вида топлива не вызывает сомнений, так как, по прогнозам специалистов, к 2030 году производство топливных гранул (пеллет) в России достигнет 5 млн. тонн в год [9, 10].

**Методика.** С целью получения твердого биотоплива с улучшенными технологическими и теплотехническими свойствами на кафедре «Автомобили, тракторы и сельскохозяйственные машины» ФГБОУ ВО Великолукская ГСХА проведены исследования, на основе которых разработан и изготовлен матричный смеситель-гранулятор, общий вид и схема которого представлены на рисунках 1, 2.

Модернизация предлагаемой конструкции смесителя-гранулятора состоит в установке следующих конструктивных элементов:

1. Бункеры (9, 10) с заслонками (8, 11) и шнек-дозатор с противоположной навивкой витков.

2. Парогенератор (13) для придания липкости мелкодисперсной смеси «древеси-

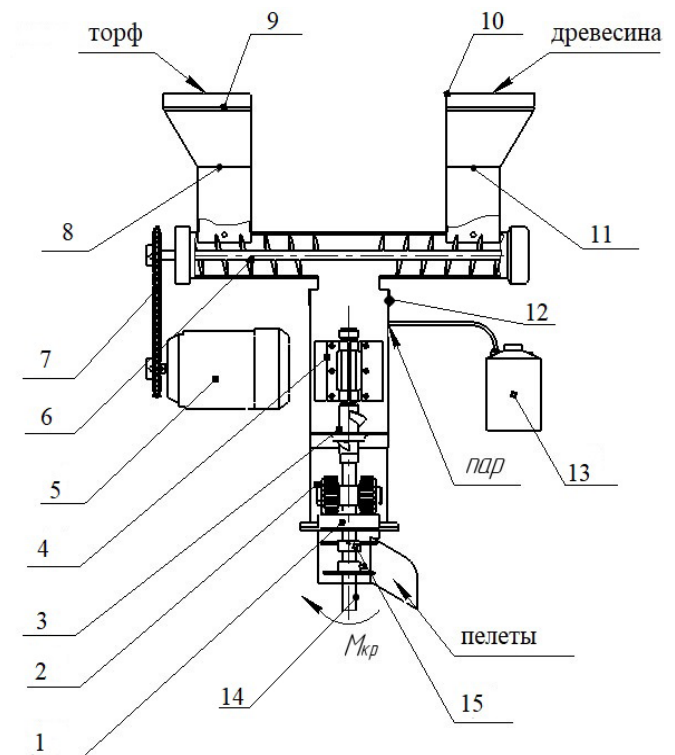
на-торф» перед гранулированием.

3. Лопатки смешивания (4) для получения однородности мелкодисперсной смеси «древесина-торф».

4. Шнек (3) для нормированной подачи мелкодисперсной смеси «древесина-торф» к рабочим органам прессования, что позволяет предотвратить забивание отверстий матрицы и обеспечить выдержку необходимого периода времени на перемешивание лопатками смешивания элементов мелкодисперсной смеси «древесина-торф».

Технологический процесс предлагаемой конструкции смесителя-гранулятора осуществляется следующим образом.

Измельченные и просушенные до влажности 10% древесные отходы, посредством заслонки 8, дозированно подаются из бункера 9 в шнек 6. Одновременно из бункера 10 поступает в шнек 6 торфокрошка, имеющая аналогичную влажность. Исходные компоненты перемещаются шнеком 6 дозатора к камере перемешивания.



1 – матрица; 2 – ролики для прессования мелкодисперсного сырья «древесина-торф»; 3 – шнек для нормированной подачи мелкодисперсного сырья «древесина-торф» к механизму прессования; 4 – лопатки смешивания; 5 – электродвигатель; 6 – шнек дозатора; 7 – цепь привода шнека дозатора; 8 – заслонка бункера для торфа; 9 – бункер для торфа; 10 – бункер для древесины; 11 – заслонка бункера для древесины; 12 – корпус смесителя-гранулятора; 13 – парогенератор; 14 – вал смесителя-гранулятора; 15 – нож

Рисунок 1 – Схема смесителя-гранулятора





Рисунок 2 – Общий вид смесителя-гранулятора

Перемешивание древесных отходов и торфокрошки происходит лопатками смешивания 4 (установленными на валу 14) в непрерывном режиме, что является наиболее целесообразным с позиции энергозатрат [11]. При смешивании топливных компонентов смеси лопатками 4 одновременно происходит дозированная обработка их паром от парогенератора 13 с целью придания липкости и повышения эффективности гранулирования. Прессующие ролики 2 захватывают приготовленную топливную смесь и, вращаясь, вкатывают ее в фильеры (отверстия) плоской неподвижной матрицы 1. В процессе прессования в частицах древесины и торфа происходят структурные изменения. Ряд внутренних компонентов (например, лигнин, битум, смолы) под действием температуры и давления переходит в полужидкое состояние, являясь естественным связующим веществом, обволакивающим частички древесины и торфа и скрепляющим их, при формировании гранулы.

По окончании процесса прессования топливные гранулы, на выходе из фильер матрицы 1, корректируются ножом 15. В итоге получают гранулы нужной влажности (8%), плотности (1200-1400 кг/м<sup>3</sup>) и необходимого размера (диаметр 6мм, длина 50мм) [7].

Для изучения эффективности технологии получения топливных гранул с использованием предлагаемой конструкции смесителя-гранулятора проведены экспериментальные исследования, в ходе которых предполагалось

изменение конструктивно-технологических параметров смесителя-гранулятора.

В соответствии с методикой экспериментальных исследований были выбраны следующие факторы с определенным интервалом варьирования [12]:

$b_1$  – частота вращения вала смесителя-гранулятора, мин<sup>-1</sup> (200 мин<sup>-1</sup>; 250 мин<sup>-1</sup>; 300 мин<sup>-1</sup>);

$b_2$  – частота вращения вала шнекового дозатора, мин<sup>-1</sup> (20 мин<sup>-1</sup>; 25 мин<sup>-1</sup>; 30 мин<sup>-1</sup>);

$b_3$  – количество лопаток смешивания, шт (0; 2; 4).

В качестве выходных величин, для оценки качественных показателей технологического процесса смесителя-гранулятора, были приняты следующие выходные параметры [13]:

$Q$  – производительность смесителя-гранулятора, кг/ч.

$N$  – мощность, затрачиваемая на привод смесителя-гранулятора, Вт.

**Результаты.** В ходе проведения многофакторного регрессионного анализа было получено уравнение регрессии, описывающее влияние частоты вращения вала смесителя-гранулятора, частоты вращения вала шнекового дозатора и количества лопаток смешивания на производительность смесителя-гранулятора:

$$Q = 131,0 - 0,3075 \cdot b_1 + 3,075 \cdot b_2 + 2,125 \cdot b_3 + 0,006 \cdot b_1 \cdot b_2 - 0,0125 \cdot b_1 \cdot b_3 - 0,025 \cdot b_2 \cdot b_3 + 0,0008 \cdot b_1^2 - 0,08 \cdot b_2^2 + 0,1875 \cdot b_3^2 \quad (1)$$

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

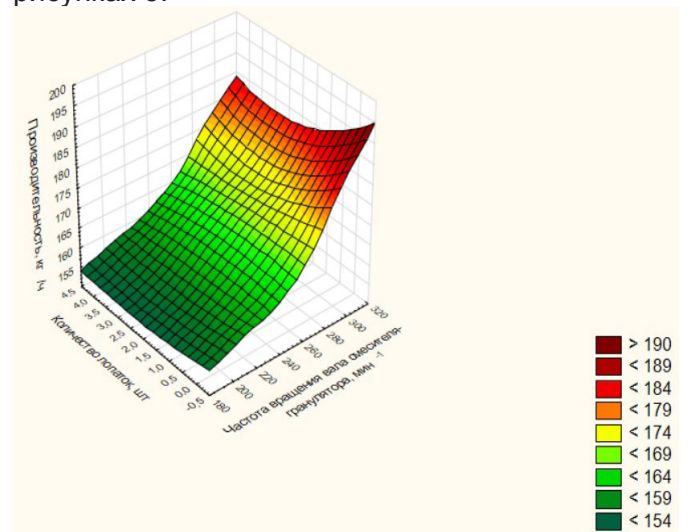


Рисунок 3 (а) – Зависимость производительности смесителя-гранулятора от частоты вращения вала смесителя-гранулятора и количества лопаток

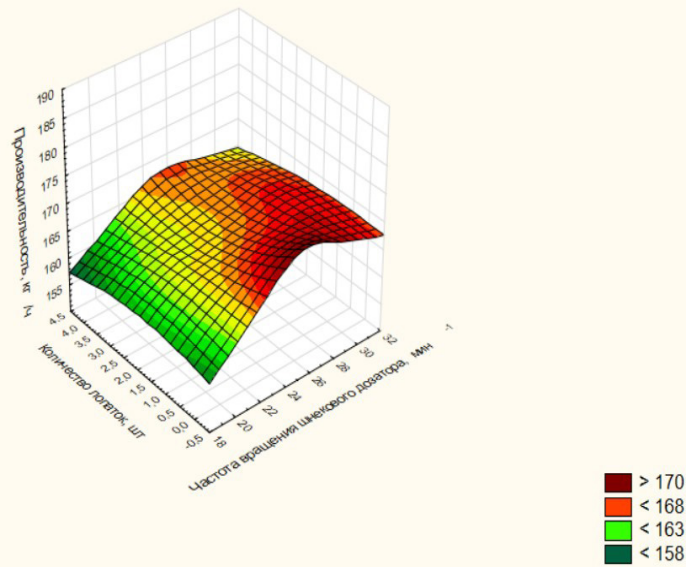


Рисунок 3 (б) – Зависимость производительности смесителя-гранулятора от частоты вращения вала шнекового дозатора и количества лопаток

Принимая во внимание значение коэффициентов полученной математической модели, анализируя поверхности отклика, рисунки 3, установлено, что доминирующее влияние на производительность матричного смесителя-гранулятора оказывают частота вращения вала смесителя-гранулятора и частота вращения вала шнекового дозатора, в меньшей степени – количество лопаток смешивания.

Наибольшая производительность наблюдалась при частоте вращения вала смесителя-гранулятора  $b_1=300$  мин<sup>-1</sup>, частоты вращения шнекового дозатора  $b_2=25$  мин<sup>-1</sup> и при отсутствии лопаток смешивания  $b_3=0$ .

После проведения многофакторного регрессионного анализа было получено уравнение регрессии, описывающее влияние частоты вращения вала смесителя-гранулятора, частоты вращения вала шнекового дозатора и количества лопаток смешивания на затраты мощности на привод смесителя-гранулятора:

$$N = 5347,5 - 4,7875 \cdot b_1 - 170,75 \cdot b_2 - 2,8125 \cdot b_3 + 0,205 \cdot b_1 \cdot b_2 + 0,375 \cdot b_2 \cdot b_3 + +0,001 \cdot b_1^2 + 2,7 \cdot b_2^2 - 0,625 \cdot b_3^2 \quad (2)$$

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

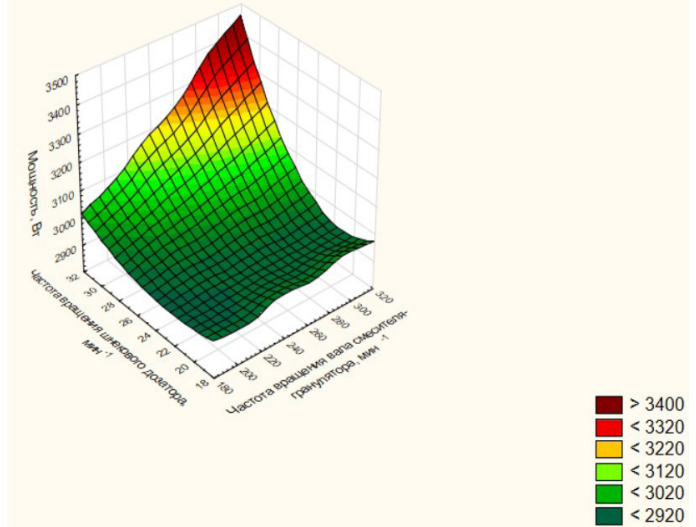


Рисунок 4 (а) – Зависимость мощности от частоты вращения вала смесителя-гранулятора и частоты вращения вала шнекового дозатора

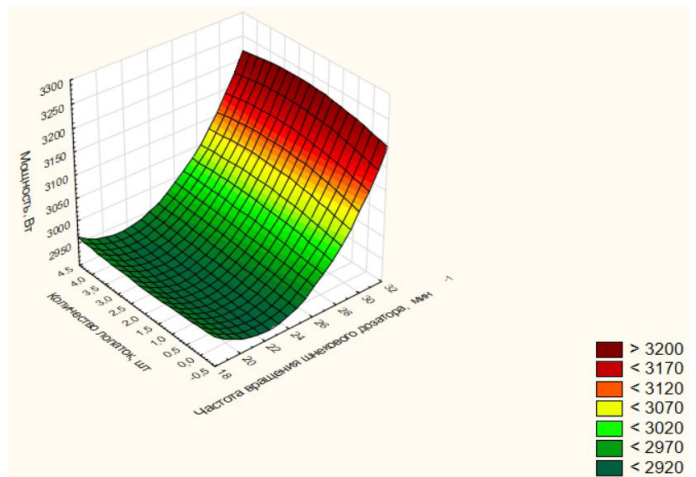


Рисунок 4 (б) – Зависимость мощности от частоты вращения вала шнекового дозатора и количества лопаток

Принимая во внимание значение коэффициентов получаемой математической модели, анализируя поверхности отклика, рисунки 4, отметили: значительное увеличение затрачиваемой мощности на гранулирование топливной смеси наблюдается при увеличении частоты вращения вала смесителя-гранулятора и увеличении количества лопаток смешивания. В меньшей степени на мощность оказывает влияние увеличение частоты вращения вала шнекового дозатора.

Наименьшие энергозатраты фиксируются при частоте вращения вала смесителя-гранулятора  $b_1=200$  мин<sup>-1</sup>, частоте вращения шнекового дозатора  $b_2=20$  мин<sup>-1</sup> и количестве лопаток  $b_3=2$ .

Все модели информационно способны, т.к. коэффициент детерминации параметров достаточно велик – от 0,965 до 0,991. Обнаруже-

ны статистически достоверные (значимые) различия на уровне  $\alpha=0,05$ . Заметной корреляции между опытными данными нет, так как статистика Durbin-Watson (DW) больше, чем 1,4. Таким образом, в ходе эксперимента были получены полные квадратичные модели, адекватно аппроксимирующие результаты эксперимента на уровне значимости  $\alpha=0,05$  [14].

**Выводы.** В результате экспериментальных исследований процесса приготовления топливных гранул с использованием смесителя-гранулятора матричного типа были получены следующие рациональные конструктивно-технологические параметры: частота вращения вала смесителя-гранулятора – 300 мин<sup>-1</sup>; частота вращения вала шнекового дозатора – 25 мин<sup>-1</sup>; количество лопаток смешивания – 4. При таких значениях производительность смесителя-гранулятора составляет  $Q = 177$  кг/ч, а затраты мощности на процесс гранулирования –  $N = 2985$  Вт.

Использование смесителя-гранулятора матричного типа для приготовления топливных гранул на основе местных источников сырья (древесины и торфа) позволяет сократить время на получение конечного продукта путем объединения в одном агрегате двух операций – смешивания и прессования. Полученные топливные гранулы представляют собой дешевое и экологически чистое топливо, способствующее повышению КПД теплогенерирующих установок в сельской местности и на предприятиях аграрного сектора экономики [15].

#### Список источников

1 Повышение энергоэффективности топочных отделений зерносушилок сельскохозяйственного назначения путем рационального использования местных энергоресурсов / И.Б. Зимин [и др.] // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 4 (33). С.17-25.

2 Потенциал использования отходов лесного хозяйства в сельской теплоэнергетике / И.Б. Зимин [и др.] // Современные проблемы агропромышленного комплекса: сборник докладов VI национальной научной конференции (28 ноября 2019 г.). Великие Луки, 2019. С. 14-15.

3 Ставка на древесину // Новое сельское хозяйство. 2017. № 3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nsh.ru/agroenergetika/stavka-na-drevesinu/>, свободный. (дата обращения: 03.01.2022).

4 Энергетическое использование древес-

ной биомассы: учебник / А.Б. Левин [и др.]. М.: ИНФРА-М, 2016. 199 с.

5 Сидоренко О.Д. Биологические системы в переработке вторичных продуктов и отходов АПК. Практическое руководство. М.: ИНФРА-М, 2021. 207 с.

6 Алпеева Е.А., Гончаров М.С. Торфяная промышленность Российской Федерации: проблемы и перспективы // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 3. С. 121-130.

7 Лукаш А.А. Энергетическое использование древесной биомассы: учебное пособие для ВО. СПб.: Лань, 2020. 124 с.

8 Коробко В.И. Перспективы использования древесных топливных гранул в России // Строительство. Экономика и управление. 2019. № 4 (36). С. 12-19.

9 Производство топливных гранул: мощности растут, а рынки сбыта? // Лесной комплекс. 2021. № 6 (52). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://forestcomplex.ru/unikalno/proizvodstvo-toplivnyh-granul-moshhnosti-rastut-a-rynki-sbyta/>, свободный. – (дата обращения: 03.01.2022).

10 Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года: распоряжение Правительства Рос. Федерации от 20.09.2018 № 1989-р. URL: [https://minpromtorg.gov.ru/common/upload/files/docs/Project\\_les2030\\_20102017.pdf](https://minpromtorg.gov.ru/common/upload/files/docs/Project_les2030_20102017.pdf) (дата обращения: 03.01.2022).

11 Исследование процесса смешивания компонентов корма / В.В. Морозов [и др.] // Вестник Курганской ГСХА. 2021. № 4 (40). С.73-80.

12 Основы планирования экспериментов: учебное пособие / К.В. Анисимова [и др.]. Ижевск: Ижевская ГСХА, 2019. 42 с.

13 Результаты экспериментальных исследований шнекового пресса для обезвоживания сапропеля естественной влажности / В.Г. Игнатенков [и др.] // Вестник Курганской ГСХА. 2020. № 2 (34). С. 62-66.

14 Щурин К.В., Копылов О.А., Панин И.Г. Планирование и обработка результатов эксперимента: учебное пособие. Королёв: МГОТУ, 2019. 196 с.

15 «Зеленая» энергетика может быть доступной // Лесной комплекс. 2021. № 6 (52). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://forestcomplex.ru/unikalno/zeljonaya-energetika-mozhet-byt-dostupnoj/>, свободный. – (дата обращения: 03.01.2022).



### Reference

- 1 Zimin I.B. et al. Povyshenie jenergojefektivnosti topochnyh otdelenij zernosushilok sel'sko-hozjajstvennogo naznachenija putem racional'nogo ispol'zovanija mestnyh jenergoresursov [Improving the energy efficiency of the furnace compartments of agricultural grain dryers through the rational use of local energy resources]. *Izvestiya Velikolukskoy State Agricultural Academy*. 2020; (4-33): 17-25. (In Russ).
- 2 Zimin I.B. et al. Potencial ispol'zovanija othodov lesnogo hozjajstva v sel'skoj teplo-jenergetike [The potential for the use of forestry waste in rural heat and power engineering]. Collection of reports of the VI national scientific conference "Modern problems of the agro-industrial complex" (November 28, 2019). Velikiye Luki; 2019: 14-15. (In Russ).
- 3 Stavka na drevesinu [Bet on wood]. No-voe sel'skoe hozjajstvo [Internet]. 2017 [cited 2022 January 03]; (3). Available from: <https://www.nsh.ru/agroenergetika/stavka-na-drevesinu>. (In Russ).
- 4 Levin A.B. et al. Jenergeticheskoe ispol'zovanie drevesnoj biomassy [Energy use of woody biomass]: textbook. Moscow: INFRA-M; 2016. (In Russ).
- 5 Sidorenko O.D. Biologicheskie sistemy v pererabotke vtorichnyh produktov i othodov APK. Prakticheskoe rukovodstvo [Biological systems in the processing of secondary products and agricultural waste. Practical guide]. Moscow: INFRA-M; 2021. (In Russ).
- 6 Alpeeva E.A., Goncharov M.S. Torfjanaja promyshlennost' Rossijskoj Federacii: problemy i perspektivy [Peat industry of the Russian Federation: problems and prospects]. *Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*. 2021; (3): 121-130. (In Russ).
- 7 Lukash A.A. Jenergeticheskoe ispol'zovanie drevesnoj biomassy: uchebnoe posobie dlja VO [Energy use of woody biomass: a textbook for higher education]. St. Petersburg: Lan; 2020. (In Russ).
- 8 Korobko V.I. Perspektivy ispol'zovanija drevesnyh toplivnyh granul v Rossii [Prospects for the use of wood pellets in Russia]. *Stroitel'stvo. Jekonomika i upravlenie*. 2019; (4-36): 12-19. (In Russ).
- 9 Proizvodstvo toplivnyh granul: moshhnosti rastut, a rynki sbyta? [Production of fuel pellets: capacities are growing, and sales markets?]. Forest complex [Internet]. 2021 [cited 2022 January 03]; (6-52). Available from: <https://forestcomplex.ru/unikalno/proizvodstvo-toplivnyh-granul-moshhnosti-rastut-a-rynki-sbyta/>. (In Russ).
- 10 Strategija razvitija lesnogo kompleksa Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda [Strategy for the development of the forest complex of the Russian Federation for the period up to 2030]: Decree of the Government of the Russian Federation dated September 20, 2018 No. 1989-r. [cited 2022 January 03]. Available from: [https://minpromtorg.gov.ru/common/upload/files/docs/Project\\_les2030\\_20102017.pdf/](https://minpromtorg.gov.ru/common/upload/files/docs/Project_les2030_20102017.pdf/) (date of access: 01/03/2022). (In Russ).
- 11 Morozov V.V. et al. Issledovanie procesa smeshivaniya komponentov korma [Study of the process of mixing feed components]. *Vestnik Kurganskoy GSKhA*. 2021; (4-40): 73-80. (In Russ).
- 12 Anisimova K.V. et al. Osnovy planirovaniya jeksperimentov [Fundamentals of planning experiments: textbook]. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy; 2019. (In Russ).
- 13 Ignatenkov V.G. et al. Rezul'taty jeksperimental'nyh issledovanij shnekovogo pressa dlja обезvozhivaniya sapropelja estestvennoj vlazhnosti [Results of experimental studies of a screw press for dehydration of natural moisture sapropel]. *Vestnik Kurganskoy GSKhA*. 2020; (2-34): 62-66. (In Russ).
- 14 Shchurin K.V., Kopylov O.A., Panin I.G. Planirovanie i obrabotka rezul'tatov jeksperimenta [Planning and processing of experimental results]: textbook. Korolev: Moscow State Technical University; 2019. (In Russ).
- 15 «Zelenaja» jenergetika mozhet byt' dostupnoj ["Green" energy can be affordable]. Forest complex [Internet]. 2021 [cited 2022 January 03]; (6-52). Available from: <https://forestcomplex.ru/unikalno/zeljonaya-energetika-mozhet-byt-dostupnoj>

### Информация об авторах

И.Б. Зимин – кандидат технических наук, доцент; AuthorID 327076.

В.Г. Игнатенков – кандидат технических наук, доцент; AuthorID 330396.

М.А. Фомичев – аспирант; AuthorID 1087451.

### Information about the author

I.B. Zimin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; AuthorID 327076.

V.G. Ignatenkov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; AuthorID 330396.

M.A. Fomichev – Postgraduate Student; AuthorID 1087451.

Статья поступила в редакцию 15.01.2022; одобрена после рецензирования 13.03.2022; принята к публикации 26.05.2022.

The article was submitted 15.01.2022; approved after reviewing 13.03.2022; accepted for publication 26.05.2022.