

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭКСТРУДЕРА
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА САПРОПЕЛЕЗЕРНОВОГО КОРМАTHE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF THE EXTRUDER FOR THE PRODUCTION
OF SAPROPEL AND GRAIN FEED

Ключевые слова: экструдер, сапропель, компрессионные кольца, корм, кормоприготовление, шнек экструдера, частота вращения, температура обработки смеси, мощность, производительность.

Для повышения продуктивности животных и снижения себестоимости производства продуктов питания необходимо использовать качественные корма. Авторы работы предлагают использовать в качестве корма для животных экструдированный сапропелезерновой корм, что позволит повысить усвояемость и улучшить хранение корма, а также обеспечить организм животного витаминами и минералами. Установлено, что предлагаемый корм способствует ускоренному росту цыплят-бройлеров. Однако имеющиеся в настоящее время на рынке экструдеры не приспособлены для работы с сапропелем, поэтому необходимо усовершенствовать их конструкцию и установить рациональные конструкционные и технологические параметры рабочих органов экструдера. Для экструдирования сапропелезерновой смеси предлагается экструдер с двухзаходным шнеком с увеличенным шагом в зоне транспортировки. Подобное решение увеличит давление в рабочей части экструдера и температуру обработки, что позволит уменьшить общую длину шнека экструдера. В качестве компрессионных колец предлагается использовать конические компрессионные кольца, что позволит снизить расход энергии на производство сапропелезерновой смеси и уменьшить забиваемость рабочей части экструдера. Авторами произведены экспериментальные исследования влияния конструктивных и технологических параметров экструдера (частота вращения шнека, шаг транспортной зоны шнека и длина компрессионных колец) на температуру обработки смеси, мощности, затрачиваемая на процесс экструдирования и производительности пресс-экструдера. В работе приведены зависимости этих показателей от выбранных факторов. Наиболее оптимальные режимы работы пресс-экструдера с учетом наименьшей потребляемой мощности на экструдирование 1 кг корма и оптимальной температуры обработки смеси наблюдаются при следующих конструктивных и технологических параметрах экструдера: частота вращения вала $n=785$ об/мин; длина компрессионных колец $l=8$

мм; шаг шнека транспортной зоны $T=28$ мм. При этом выходные параметры соответствуют следующим значениям: $Q=164,4$ кг/ч; $N=2,11$ кВт; $T=122,6^\circ\text{C}$.

Keywords: extruder, sapropel, compression rings, feed; feed preparation, screw of extruder, rotation speed, mixture processing temperature, power, productivity.

To increase animal productivity and reduce the cost of food production, high-quality feeds should be used. The authors suggest using extruded sapropel and grain feed as animal feed which will increase feed digestibility and improve feed storage as well as provide the animal body with vitamins and minerals. It has been found that the proposed feed contributes to faster growth of broiler chickens. However, currently available extruders on the market are not adapted to work with sapropel so it is necessary to improve their design and establish rational design and technological parameters of extruder working bodies. For extruding the mixture of sapropel and grain feed, it is proposed to use the extruder with the double-threaded screw with increased pitch in the area of transportation. This solution will increase the pressure in the working part of the extruder and the processing temperature which will reduce the overall length of the screw extruder. As compression rings, it is proposed to use conical compression rings which will reduce the energy consumption for the production of sapropel and grain feed mixture and reduce the clogging of the working part of the extruder. The authors conducted experimental studies of the influence of the design and technological parameters of the extruder (screw rotation speed, screw transport zone pitch and compression ring length) on the processing temperature of the mixture, the power spent on the extrusion process and the productivity of the press extruder. This paper shows the dependencies of these indices on the selected factors. The most optimal modes of operation of the press-extruder, taking into account the lowest power consumption for extrusion of 1 kg of feed and the optimal temperature for processing the mixture, are observed with the following design and technological parameters of the extruder: shaft speed $n = 785$ rpm; length of compression rings $l = 8$ mm; screw pitch of the transport zone $T = 28$ mm. The output parameters correspond to the following values: $Q = 164.4$ kg h; $N = 2.11$ kW; $T = 122.6^\circ\text{C}$.

Морозов Владимир Васильевич, д.т.н., проф., ректор, Великолукская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: priemnaja@vgsa.ru.

Morozov Vladimir Vasilyevich, Dr. Tech. Sci., Prof., Rector, Velikiye Luki State Agricultural Academy. E-mail: priemnaja@vgsa.ru.

Богданов Кирилл Андреевич, аспирант, Великолукская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: kindeib1994@gmail.com.

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

Фомичев Максим Александрович, аспирант, Великолукская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: fomichev1995@yandex.ru.

Bogdanov Kirill Andreevich, post-graduate student, Velikiye Luki State Agricultural Academy. E-mail: kindeib1994@gmail.com.

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.

Fomichev Maksim Aleksandrovich, post-graduate student, Velikiye Luki State Agricultural Academy. E-mail: fomichev1995@yandex.ru.

Введение

В отечественной экономике в настоящее время идет рост санкционных ограничений в сфере продовольствия, что способствует развитию животноводства и его адаптации к современной экономической обстановке [1]. Повысить продуктивность сельскохозяйственных животных и снизить себестоимость производства продуктов питания можно за счет использования качественных кормов и уменьшения стоимости их производства [2]. В настоящее время наиболее перспективным способом предварительной обработки корма является экструдирование. Данный способ позволяет повысить усвояемость и улучшить хранение корма [3]. Для улучшения рациона животных и обеспечения их организма витаминами и минералами в качестве одного из элементов целесообразно добавлять в корм сапропель, богатый витаминами и минеральными веществами [4-6].

По результатам научно-хозяйственного опыта, проведенного с участием авторов данной работы, установлено, что недельный привес 555 г наблюдался у цыплят-бройлеров, получавших экструдированный сапропелезерновой корм. Птица имела на 44,46-80,32 г больше живого веса, чем птица, получающая только полнорационный корм [7].

В настоящее время на рынке представлено много различных конструкций экструдеров, которые активно применяются в химической промышленности для производства изделий из пластмасс, в пищевой промышленности, фармакологии, сельском хозяйстве для производства кормов и карбамидного концентрата. Вопросами экструдирования кормов занимались многие ученые, но в этих работах не рассматривалось экструдирование кормов с добавлением сапропеля [8-10]. Имеющиеся в настоящее время пресс-экструдеры сложны в конструкции, громоздки и имеют высокую стоимость, что увеличивает себестоимость получаемого корма. Применение их для производства небольшого объема кормов нецелесообразно, т.к. для его запуска и прогрева нужно за-

тратить значительное количество корма (который не пройдет процесс экструзии) и значительное количество энергии. На процесс экструдирования тратится значительное количество энергии, поэтому необходимо оптимизировать конструктивные и технологические параметры рабочих органов, при которых будет снижен расход энергии. В настоящее время разработанные экструдеры предназначены для производства кормов без добавления сапропеля. При их проектировании не учитывались физико-механические свойства сапропелезерновой смеси: плотность, вязкость, коэффициент трения, влажность и др. Экструдирование сапропелезерновой смеси не может осуществляться на этих машинах, т.к. процессы, проходящие в рабочих элементах, разрушат полезные свойства смеси, и такой корм не принесет пользу животному.

Цель и задачи: установить рациональные конструкционные и технологические параметры рабочих органов пресс-экструдера, обеспечивающих наименьшие затраты на производство качественного экструдированного сапропелезернового корма.

Объекты и методы исследования

В результате анализа работ по экструдированию кормов и анализа конструкций экструдеров было установлено, что для производства экструдированного сапропелезернового корма нужно усовершенствовать пресс-экструдер, который будет подходить под физико-механические свойства сапропелезерновой смеси (плотность, вязкость, коэффициент трения, влажность и др.) и не разрушать полезные свойства корма. Разрабатываемая машина должна подходить для производства небольших объемов корма и иметь невысокий расход энергии. Конструкция и схема работы экструдера для экструдирования сапропелезерновой смеси показаны на рисунке 1. Сапропелезерновая смесь поступает к шнеку транспортный зоны 5, который перемещает ее к первому ком-

прессионному коническому кольцу 6. При движении между смесью и шнеком происходят трение и нагрев. При прохождении материала через кольцо 6 часть попадает на шнек зоны нагревания 7, а часть через нарезанные канавки в корпусе 2 и 4 возвращается обратно, при этом дополнительно разогреваясь. Шнек зоны нагревания 7 транспортирует смесь ко второму компрессионному кольцу, уплотняя и разогревая материал. В этой зоне происходит разрушение частиц корма под действием напряжений, превышающих предел пластичности. Затем, пройдя через второе компрессионное кольцо, смесь транспортируется шнеком зоны прессования 8. На этом этапе температура смеси продолжает расти и приобретает под действием напряжений, превышающих предел текучести материала, свойства жидкого вещества. Шнек зоны прессования создает необходимое давление для продавливания материала через кольцевое выходное отверстие фильеры 3.

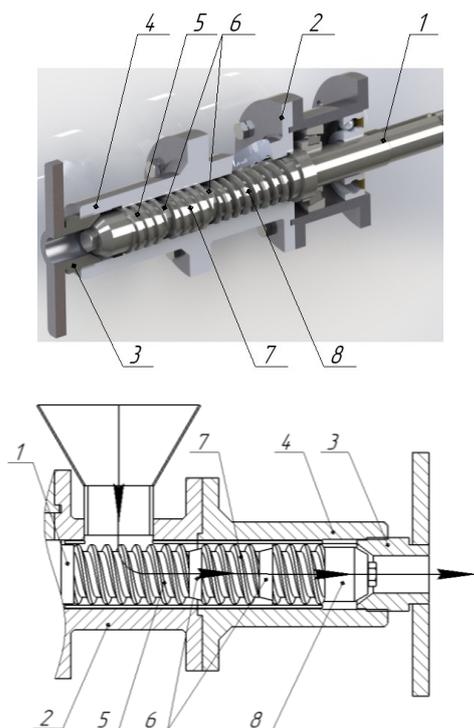


Рис. 1. Конструктивная схема рабочей части экструдера:

- 1 – вал экструдера; 2 – корпус зоны питания;
- 3 – гайка фильеры; 4 – корпус зоны экструдирования; 5 – шнек транспортной зоны;
- 6 – компрессионные кольца;
- 7 – шнек зоны нагревания;
- 8 – шнек зоны прессования

Во всех кормовых экструдерах основным рабочим элементом является шнек. Этот элемент наиболее сильно влияет на процесс экструдиро-

вания, затраты энергии и качество получаемого продукта. Данный элемент выполняет следующие функции: забирает исходную смесь от системы загрузки смеси, перемещает, перемешивает, сжимает, обеспечивает переход смеси в пластическое состояние и экструдировывает. На различных участках шнека происходят разные процессы. Так как процессы, происходящие в каждой зоне экструдера, различны, наиболее целесообразно изготавливать шнек экструдера составным. Благодаря такой конструкции можно добиться изменения геометрии шнека в зависимости от процесса, проходящего в этом месте рабочей части экструдера. Для обеспечения хорошей производительности машины предлагаем сделать увеличенным шаг шнека зоны питания, в конструкции экструдера использовать двухзаходный шнек, что позволит за счет дополнительного гребня на валу увеличить давление почти в 2 раза, а также площадь контакта материала с вращающимися частями рабочих органов экструдера.

В усовершенствованном экструдере применены конические компрессионные кольца, что позволит снизить расход энергии и обеспечить лучшее прохождение материала, уменьшив забиваемость рабочей части экструдера. Конструктивные параметры компрессионных колец значительно влияют на температуру обработки в экструдере. Сапропель не теряет своих положительных свойств для животных при кратковременной обработке температурой до 180°C. Минимальная температура, при которой происходит обработка корма в экструдере, составляет 100°C. Поэтому необходим подбор колец, которые будут обеспечивать такой температурный режим.

Экспериментальная часть

Для проведения экспериментальных исследований была разработана экспериментальная установка для экструдирования сапропелезерновой смеси (рис. 2).

В эксперименте производилось исследование влияния конструктивных и технологических параметров экструдера (частота вращения шнека, шаг транспортной зоны шнека и длина компрессионных колец) на эффективность производства экструдированной сапропелезерновой смеси, измеряя следующие величины: температура обработки смеси, мощность, затрачиваемая на процесс экструдирования и производительность пресс-экструдера.

Для проведения эксперимента использовали компрессионные кольца длиной: 4, 8 и 12 мм, шнека транспортной зоны с шагом: 18, 24 и 28 мм. Частоту вращения шнека в процессе проведения эксперимента задавали равной 785, 735 и 685 мин⁻¹.



Рис. 2. Общий вид экструдера

Результаты и их обсуждение

В результате многофакторного регрессионного анализа установлена зависимость температуры T , °С от частоты вращения вала экструдера n , мин⁻¹ (b_1); длины компрессионных колец l , мм (b_2); шага шнека транспортной зоны T , мм (b_3):

$$T = 13,3029 + 0,370419 \cdot b_1 + 3,5071 \cdot b_2 - 3,96923 \cdot b_3 - 0,000875 \cdot b_1 \cdot b_2 + 0,000784314 \cdot b_1 \cdot b_3 - 0,0492647 \cdot b_2 \cdot b_3 - 0,000255 \cdot b_1^2 + 0,0257813 \cdot b_2^2 + 0,0715625 \cdot b_3^2 \quad (1)$$

Поверхности отклика, зависимости температуры обработки смеси от изменяемых факторов представлены на рисунке 3.

Анализируя поверхности отклика, можно сделать вывод, что увеличение длины компрессион-

ного кольца увеличивает температуру. Увеличение шага шнека уменьшает температуру. Частота вращения вала экструдера практически не оказывает влияние на температуру обработки смеси.

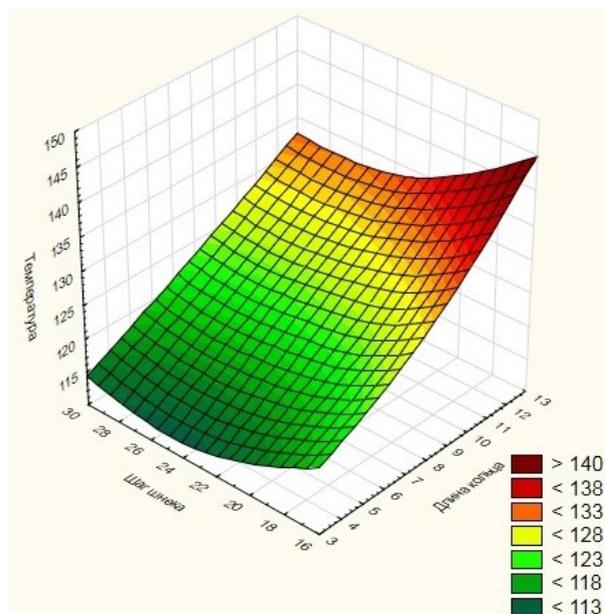
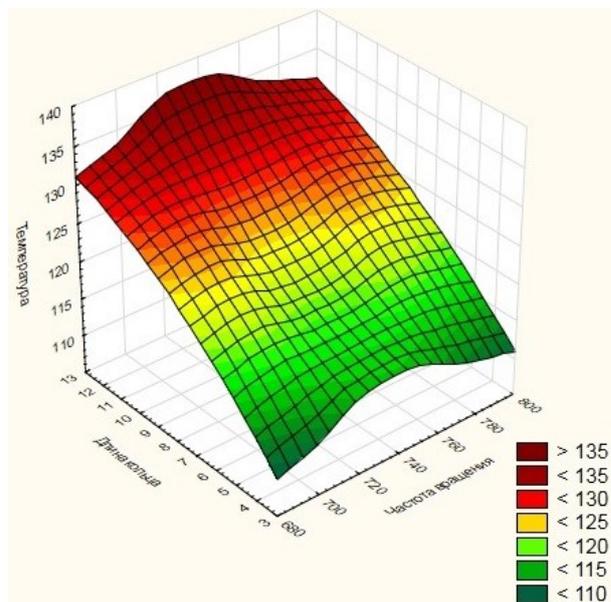


Рис. 3. Зависимость температуры от частоты вращения вала, длины компрессионных колец и шага шнека транспортной зоны

В проведенном эксперименте оптимальная температура обработки $T=137,8^{\circ}\text{C}$ получилась при следующих конструктивных и технологических параметрах экструдера: частота вращения вала $n=735$ об/мин.; длина компрессионных колец $l=12$ мм; шаг шнека транспортной зоны $T=18$ мм.

Установлена зависимость производительности Q , кг/ч от конструктивных и технологических параметров экструдера:

$$Q = -75,4461 - 0,38547 \cdot b_1 + 13,742 \cdot b_2 + 14,7984 \cdot b_3 + 0,00025 \cdot b_1 \cdot b_2 + 0,0189902 \cdot b_1 \cdot b_3 - 0,693382 \cdot b_2 \cdot b_3 + 0,000135 \cdot b_1^2 - 0,164844 \cdot b_2^2 - 0,406667 \cdot b_3^2 \quad (2)$$

Поверхности отклика, зависимости производительности экструдера от изменяемых факторов представлены на рисунке 4.

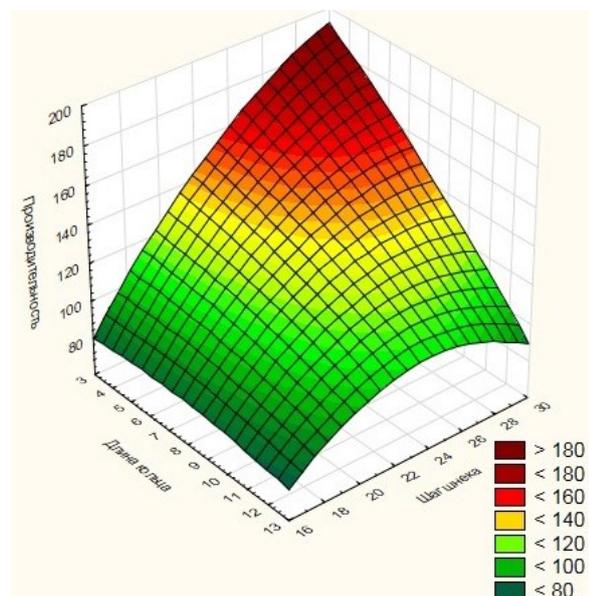
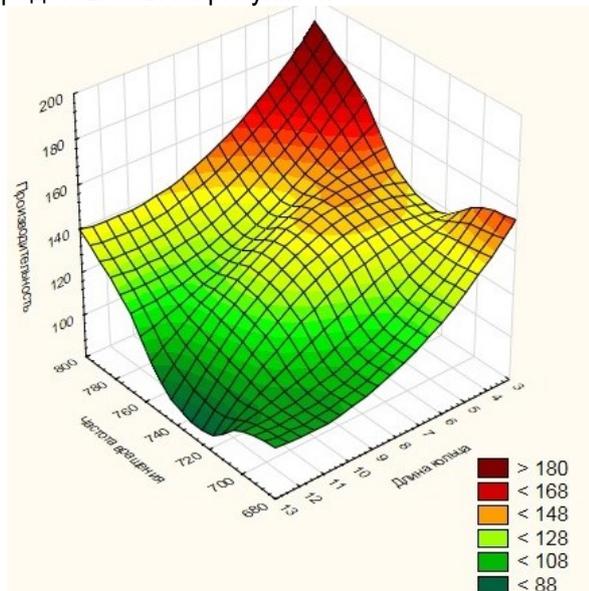


Рис. 4. Зависимость производительности от частоты вращения вала, длины компрессионных колец и шага шнека транспортной зоны

Анализируя поверхности отклика, можно сделать вывод, что увеличение длины компрессионного кольца уменьшает производительность экструдера. Увеличение шага шнека и частоты вращения вала приводит к увеличению производительности.

В проведенном эксперименте наибольшая производительность экструдера $Q=177,5$ кг/ч наблюдалась при следующих конструктивных и технологических параметрах экструдера: частота вращения вала $n=735$ об/мин.; длина компрессионных колец $l=4$ мм; шаг шнека транспортной зоны $T=28$ мм.

Установлена зависимость мощности, затрачиваемой на процесс экструдирования N , кВт, от параметров экструдера:

$$N = 15,8791 - 0,0365735 \cdot b_1 + 0,0821078 \cdot b_2 - 0,147034 \cdot b_3 + 0,0000882353 \cdot b_1 \cdot b_3 - 0,00269608 \cdot b_2 \cdot b_3 + 0,000025 \cdot b_1^2 + 0,00234375 \cdot b_2^2 + 0,001875 \cdot b_3^2 \quad (3)$$

Поверхности отклика, зависимости мощности, затрачиваемой на процесс экструдирования от изменяемых факторов, показаны на рисунке 5.

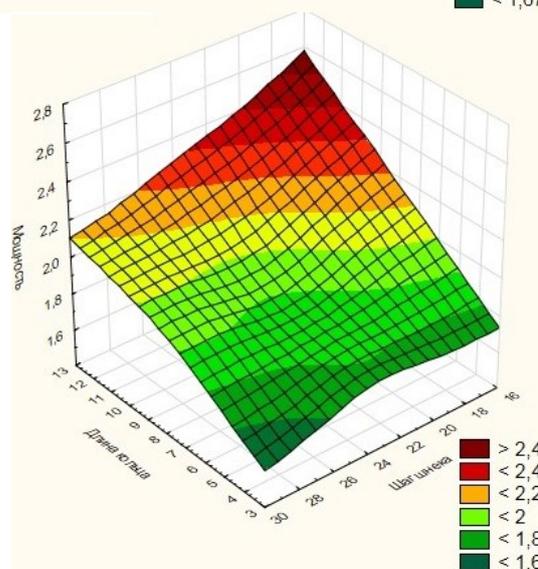
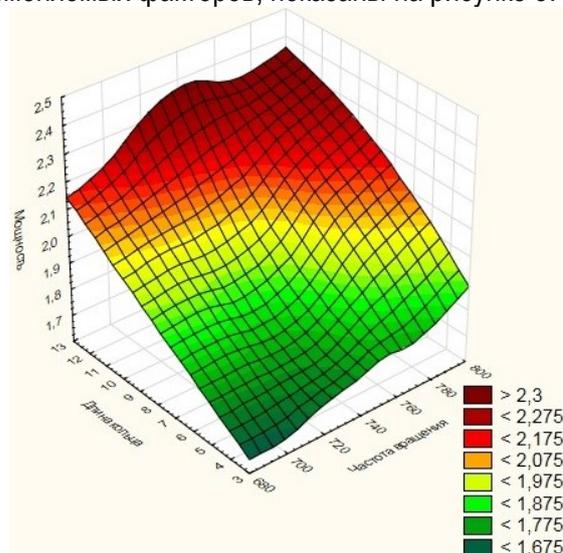


Рис. 5. Зависимость мощности от частоты вращения вала, длины компрессионных колец и шага шнека транспортной зоны

Анализируя поверхности отклика, можно сделать вывод, что на мощность, затрачиваемую на экструдирование, оказывают влияние все три изменяемых фактора. Увеличение длины компрессионного кольца и частоты вращения вала экструдера увеличивает затрачиваемую мощность. Увеличение шага шнека приводит к уменьшению затрачиваемой мощности.

В проведенном эксперименте наименьшая потребляемая мощность на экструдирование $N=1,71$ кВт наблюдалась при следующих конструктивных и технологических параметрах экструдера: частота вращения вала $n=685$ об/мин.; длина компрессионных колец $l=4$ мм; шаг шнека транспортной зоны $T=24$ мм.

В результате анализа полученных уравнений регрессии установлены оптимальные режимы работы пресс-экструдера, при которых наблюдается наименьшее потребление энергии на обработку 1 кг корма, и оптимальной температуры обработки смеси при следующих конструктивных и технологических параметрах экструдера: частота вращения вала $n=785$ об/мин.; длина компрессионных колец $l=8$ мм; шаг шнека транспортной зоны $T=28$ мм. При этом выходные параметры соответствуют следующим значениям: $Q=164,4$ кг/ч; $N=2,11$ кВт; $T=122,6$ °С.

Выводы

По результатам экспериментального исследования получены математические модели для определения температуры обработки смеси, производительности экструдера и мощности, затрачиваемой на процесс экструдирования. Установлено, что наибольшее влияние на температуру обработки сапропелезерновой смеси оказывает длина компрессионных колец, при увеличении этого показателя наблюдается рост температуры. При увеличении шага транспортной зоны шнека экструдера и частоты вращения вала отмечено увеличение производительности, а увеличение длины компрессионных колец снижает этот показатель. Увеличение длины компрессионного кольца и частоты вращения вала экструдера увеличивают затрачиваемую мощность. Увеличение шага шнека приводит к уменьшению затрачиваемой мощности.

Разработанный пресс-экструдер сапропелезернового корма показал высокую эффективность за счет снижения энергозатрат до $12,8$ кВт*ч/т, повысилось качество корма.

Библиографический список

1. Бабаян, И. В. Особенности развития сельского хозяйства / И. В. Бабаян, О. А. Васильева, Л. А. Волощук. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2019. – № 5. – С. 19-23.
2. Гаганов, А. Планирование кормовой базы в скотоводстве / А. Гаганов. – Текст: непосредственный // Эффективное животноводство. – 2016. – № 3 (124). – С. 13-17.
3. Методика расчета пневмотранспортной установки экструдированной сои / А. В. Фоминых, Е. Н. Михайлюк, С. В. Фомина. – Текст: непосредственный // Вестник Курганской ГСХА. – 2019. – № 2 (30). – С. 78-80.
4. Игнатенков, В. Г. Повышение эффективности производства витаминно-кормовой добавки на основе сапропеля путем обоснования конструктивных и технологических параметров смесителя-измельчителя: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.20.01 / Игнатенков В. Г. – Великие Луки, 2005. – 180 с. – Текст: непосредственный.
5. Теоретическое исследование многофункционального шнекового смесителя-измельчителя витаминно-кормовой добавки на основе сапропеля / В. В. Морозов [и др.]. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 4(162). – С. 172-177.
6. Анализ физико-механических характеристик многокомпонентных гранул, получаемых на дисковом пресс-грануляторе (сапропель+комбикорм) / В. В. Морозов [и др.]. – Текст: непосредственный // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: сборник докладов XIV Международной научно-практической конференции молодых ученых. – Великие Луки, 2019. – С. 244-255.
7. Живая масса цыплят-бройлеров при введении в рацион экструдированной пшеницы отдельно и в смеси с сапропелем / М. И. Васильева, К. В. Бычкова, Ю.В. Аржанкова [и др.]. – Текст: непосредственный // Известия Великолукской ГСХА. – 2020. – № 1. – С. 2-8.
8. Мартынова, Д. В. Повышение эффективности процесса производства экструдированных кормовых продуктов за счет изменения конструктивных параметров шнека пресс-экструдера: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Мартынова Д. В. – Оренбург, 2017. 202 с. – Текст: непосредственный.

9. Пепеляева, Е. В. Повышение эффективности процесса экструдирования зерна озимой ржи путем оптимизации технологических параметров и режимов работы экструдера: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Е. В. Пепеляева. – Пермь, 2016. 158 с. – Текст: непосредственный.

10. Pietsch, V., Werner, R., Karbstein, H.P., Emin, M.A. (2019). High moisture extrusion of wheat gluten: Relationship between process parameters, protein polymerization, and final product characteristics. *Journal of Food Engineering*. 259: 3-11.

References

1. Babayan I.V., Vasileva O.A., Voloshchuk L.A. Osobennosti razvitiya selskogo khozyaystva // Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava. – 2019. – No. 5. – S. 19-23.

2. Gaganov A. Planirovanie kormovoy bazy v skotovodstve // Effektivnoe zhivotnovodstvo. – 2016. – No. 3 (124). – S. 13-17.

3. Fominykh A.V., Mikhaylyuk E.N., Fomina S.V., Kovshova N.A. Metodika rascheta pnevmotransportnoy ustanovki ekstrudirovannoy soi // Vestnik Kurganskoy GSKhA. – 2019. – No. 2 (30). – S. 78-80.

4. Ignatenkov V.G. Povysenie effektivnosti proizvodstva vitaminno-kormovoy dobavki na osnove sapropelya putem obosnovaniya konstruktivnykh i tekhnologicheskikh parametrov smesitelya-izmelchitelya: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01. – Velikie Luki, 2005. – 180 s.

5. Morozov V.V. i dr. Teoreticheskoe issledovanie mnogofunktsionalnogo shnekovogo smesitelya-izmelchitelya vitaminno-kormovoy dobavki na osnove sapropelya // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – No. 4 (162). – S. 172-177.

6. Analiz fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik mnogokomponentnykh granul, poluchaemykh na diskovom press-granulyatore (sapropel+kombikorm) / V.V. Morozov [i dr.] // Nauchno-tekhnicheskii progress v selskokhozyaystvennom proizvodstve: sbornik dokladov XIV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh. – Velikie Luki, 2019. – S. 244-255.

7. Vasileva M.I., Bychkova K.V., Arzhankova Yu.V., Ignatenkov V.G. Zhivaya massa tsyplyat-broylerov pri vvedenii v ratsion ekstrudirovannoy pshenitsy otdelno i v smesi s sapropelom // Izvestiya Velikolukskoy GSKhA. – 2020. – No. 1. – S. 2-8.

8. Martynova D.V. Povysenie effektivnosti protsessa proizvodstva ekstrudirovannykh kormovykh produktov za schet izmeneniya konstruktivnykh parametrov shneka press-ekstrudera: dis. ... kand. tekhn. nauk. – Orenburg, 2017. 202 s.

9. Pepelyaeva E.V. Povysenie effektivnosti protsessa ekstrudirovaniya zerna ozimoy rzihi putem optimizatsii tekhnologicheskikh parametrov i rezhimov raboty ekstrudera: dis. ... kand. tekhn. nauk. – Perm, 2016. – 158 s.

10. Pietsch, V., Werner, R., Karbstein, H.P., Emin, M.A. (2019). High moisture extrusion of wheat gluten: Relationship between process parameters, protein polymerization, and final product characteristics. *Journal of Food Engineering*. 259: 3-11.



УДК 621.548

Г.Е. Кокиева, Ю.А. Шапошников, М.Ю. Дондоков
G.Ye. Kokiyeva, Yu.A. Shaposhnikov, M.Yu. Dondokov

ПОЛУЧЕНИЕ БИОГАЗА МЕТОДОМ АНАЭРОБНОГО СБРАЖИВАНИЯ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМ

BIOGAS PRODUCTION BY ANAEROBIC FERMENTATION OF LIVESTOCK FARM WASTES

Ключевые слова: теплонасосные установки, источники энергии, солнечные установки, переработка навоза, энергия грунта, животноводческие фермы, ресурсосберегающие технологии, механизация и автоматизация, метановое сбраживание, водоснабжение, биогаз, экологическая система.

Keywords: heat pump plants, energy sources, solar plants, manure processing, soil energy, livestock farms, resource-saving technologies, mechanization and automation, methane fermentation, water supply, biogas, ecological system.