УДК 639.3.043

Поступила в редакцию 01.09.2018
Received 01.09.2018

А.В. Куликов, А.А. Литвинчук, О.М. Куликова, А.С. Данилюк, А.А. Безущёнок

РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ МИКРОГРАНУЛ РЫБНЫХ КОМБИКОРМОВ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ МАЛЬКОВ

Аннотация. В статье обоснована актуальность производства отечественных рыбных комбикормов для выращивания мальков. Указаны наиболее используемые за рубежом методы и технологии получения рыбных комбикормов для мальков. Описан порядок проведения экспериментальных исследований с целью установления возможности и определения параметров получения микрогранул рыбных комбикормов. Установлены зависимости давления экструдирования, производительности процесса микроэкструдирования на экспериментальной установке, предела прочности гранул от температуры и влажности комбикормовой смеси при различных диаметрах отверстий матриц. Определено влияние размера частиц (степени помола) комбикормовой смеси на физические характеристики гранул – предел прочности и плотность.

Ключевые слова: рыбный комбикорм, гранулы, экструдирование, технологические параметры процесса микрогранулирования, физические характеристики микрогранул

A. Kulikou, A. Litvinchuk, O. Kulikova, A. Danilyuk, A. Bezushchonok

RUE "Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, Republic of Belarus

INVESTIGATION OF OPPORTUNITIES AND DETERMINATION OF PARAMETERS OF PRODUCTION OF MICROGRANULES OF FISH FODDER FOR FRY

Abstract. The article proves the urgency of production of domestic fish feed for fry. The most widely used methods and technologies for obtaining fish fodder for young fish are indicated. The order of carrying out of experimental researches with the purpose of an establishment of an opportunity and definition of parameters of reception of microgranules of fish mixed fodders is described. The dependence of the extrusion pressure, the microextruding process on the experimental installation, the ultimate strength of the granules on the temperature and humidity of the feed mixture at various diameters of the die apertures are established. The effect of the particle size (degree of grinding) of the feed mixture on the physical characteristics of the granules is determined – the ultimate strength and density.

Keywords: fish feed, granules, extrusion, installation, technological parameters, physical characteristics

Введение. На сегодняшний день в рыбхозах Республики Беларусь мальки пресноводных видов рыб выживают в естественных прудовых условиях без комбикормов, что отрицательно сказывается на эффективности их выращивания. Для мальков осетровых, лососевых и сомовых рыб закупаются импортные комбикорма, что указывает на зависимость отечественных производителей рыбопродукции от зарубежных поставок, колебаний курсов валют и других экономических факторов.

Комбикормовая промышленность Республики Беларусь не выпускает комбикорма для мальков пресноводных рыб из-за отсутствия необходимого оборудования и технологии их производства. В то же время за рубежом, в станах Европы, уделяется огромное внимание развитию сов-

ременных технологий производства комбикормов, особенно для мальков. Однако, данные об используемой технологии и технологическом оборудовании в зарубежных компаниях-производителях являются закрытой коммерческой информацией, а в научных публикациях вопросы технологии производства рыбных комбикормов для выращивания мальков практически не рассматриваются.

Таким образом, проведение исследований процессов производства с подбором параметров технологического процесса, обеспечивающих получение микрогранул комбикорма с заданными физико-химическими и структурно-механическими свойствами для мальков пресноводных рыб, является актуальны вопросом современного белорусского рыбоводства [1].

На сегодняшний момент для повышения эффективности работы рыбопитомников используют микрогранулы, которые предназначены для интенсивного взращивания мальков в условиях, где питание, здоровье рыбы и качество воды являются очень важными параметрами. Сбалансированные микрогранулированные комбикорма способствуют улучшению аппетита, стимулируют рост и повышают выживаемость на ранних стадиях жизни рыб. Технология производства микрогранул позволяет комбинировать легко усваиваемое сырье и аттрактанты для оптимальной вкусовой привлекательности. Анализ присутствующих на рынке республики кормов показвает, что микрогранулы для питания мальков рыбы также содержат повышенное количество витаминов С и Е, что способствует увеличению жизнеспособности мальков, но требует установки специфических режимов производства для сохранения всех биологически активных веществ в составе комбикормов [1, 2].

Таким образом, цель представленных исследований – определение параметров получения микрогранул рыбных комбикормов, что позволит создать современную технологию производства комбикормов для мальков пресноводных рыб, решить проблему отсутствия отечественных комбикормов для мальков и тем самым снизить зависимость рыбной отрасли от импортных кормов, а также повысить ее экономическую эффективность.

Основная часть. На первом этапе исследований изучены и проанализированы зарубежные технологии получения микрогранул, наиболее распространенными из которых являются:

- «микрокапсулирование», т.е. заключение микрочастиц действующего вещества в оболочку, при этом размер гранул может составлять от долей микрона до 1–2 мм. Методы микрокапсулирования: нанесение покрытий в псевдоожиженном слое, экструзия с применением центрифуг или через формующие устройства типа «труба в трубе», вакуумное напыление, полимеризация, коацервация и др. [2];
- технологии фармацевтической экструзии («микроэкструзии») при помощи экструдеров горячего расплава [3, 4].

Анализ научных публикаций показал, что рыбные комбикорма для выращивания мальков за рубежом производят, используя в основном технологии микрогранулирования или микроэкструдирования, то есть продавливания через формующие устройства (матрицы/фильеры с различным диаметром отверстий до 1,5 мм) [5, 6, 7, 8].

Для определения возможности и установления оптимальных параметров получения микрогранул рыбного комбикорма разработана и изготовлена экспериментальная установка (рис. 1).

Установка состоит из следующих элементов: пресса гидравлического (поз. 1), поршня цилиндрической формы (поз. 2), цилиндрической камеры (поз. 3), опоры (поз. 4), гидроцилиндра (поз. 5), направляющей (поз. 6), сменных фильер (поз. 7).

Исследования проводились в следующей последовательности. Подготавливалась комбикормовая смесь влажностью 20, 25, 30 %, которая затем загружалась в цилиндрическую камеру экспериментальной установки, после чего осуществлялось её нагревание до определённых температур (t=20 °C, t=40 °C, t=60 °C, t=80 °C). Далее рукояткой гидравлической системы создавалось давление на комбикормовую смесь. Приводился в движение поршень, находящийся в цилиндре, который спрессовывал массу продукта. Затем масса продукта под давлением продавливалась через отверстие фильеры необходимого диаметра (0,7–1,5 мм). После выхода из фильеры сформированный цилиндрический жгут смеси нарезался на гранулы одинакового размера. При этом осуществлялся контроль давления, оказываемого на сырьё, при помощи манометра. Фиксировались показания давления в начале процесса экструдирования и максимальное значение давления процесса экструдирования. Получаемые гранулы сушили, после чего измеряли их физические характеристики (предел прочности и плотность).

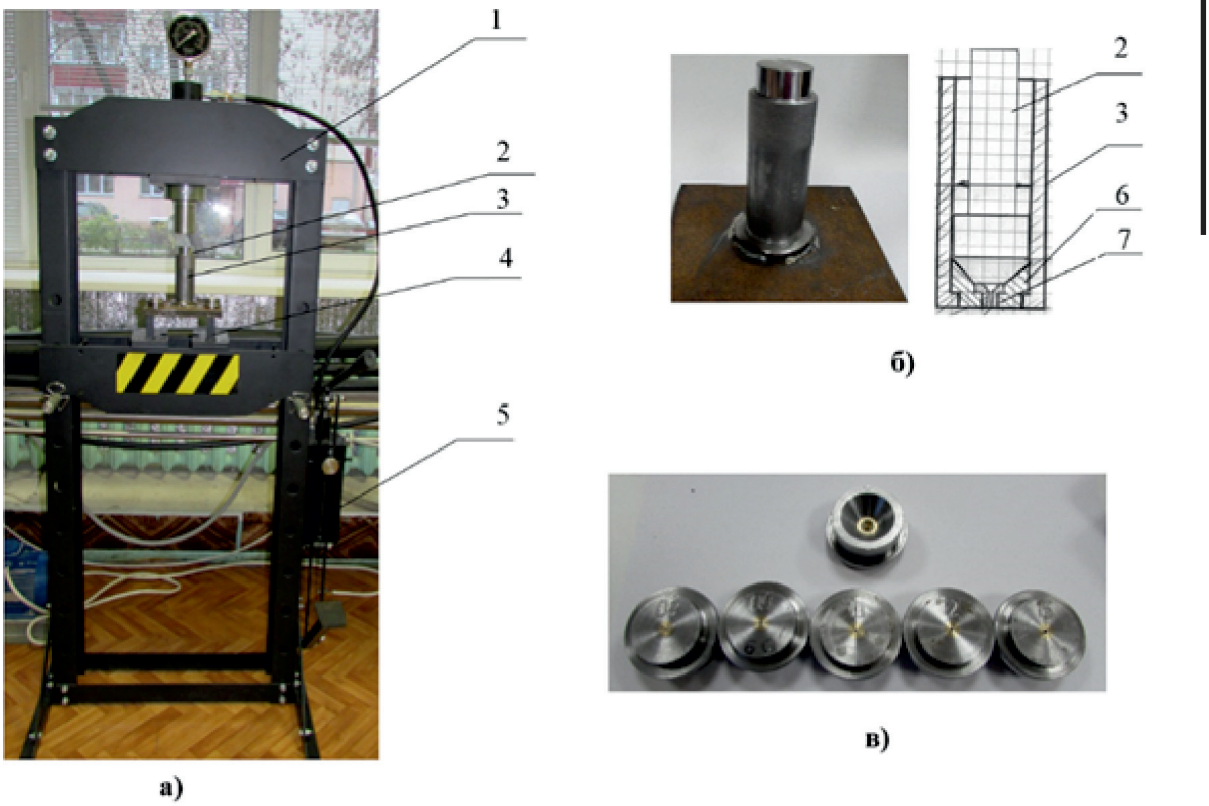

Рис. 1. Установка для получения микрогранул: а) экспериментальная установка в сборе; б) цилиндрическая камера; в) сменные фильеры различного диаметра
Fig. 1. Plant for the preparation of microgranules: a) an experimental installation in the collection; b) a cylindrical chamber; c) replaceable spinnerets of different diameters

На рис. 2 представлены образцы полученных микрогранул комбикорма.

Предел прочности гранул определялся на анализаторе текстуры «Brookfield CT3» [9] путем измерения предельного усилия нагружения подвижного инструмента в виде пластины, обеспечивающей разрушение образца гранулы, помещенного на уголки опоры.

Предел прочности гранул $\sigma_{изг}$, Па, рассчитывался по формуле:

$$\sigma_{изг} = F \cdot l / 4 \cdot W \quad (1)$$

где F – усилие разрушения, Н; l – расстояние между опорами, м; W – момент сопротивления поперечного сечения образца гранул, м^3.

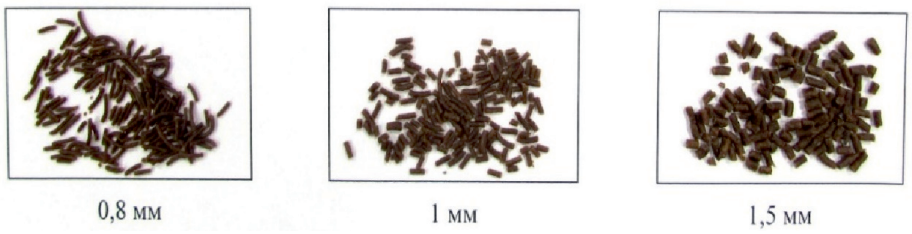

Рис. 2. Микрогранулы комбикорма, диаметром: 0,8 мм, 1 мм, 1,5 мм
Fig. 2. Mixed feed microgranules, with a diameter of: 0.8 mm, 1 mm, 1.5 mm

Величина W зависит от формы поперечного сечения. Для круглого сечения гранул момент сопротивления W рассчитывался по формуле:

$$W \approx 0{,}1 \cdot D^3, \quad (2)$$

где D – диаметр гранул, м.

Плотность полученных гранул рыбного корма определялась следующим образом: брался мерный стеклянный цилиндр и заполнялся водой до определённого объёма (V_1), затем в цилиндр засыпались гранулы определенной массы (m), после чего замерялся объём с продуктом (V_2) в мерном цилиндре.

Далее плотность гранул рассчитывалась по формуле:

$$\rho = m / v_2 \cdot v_1, \quad (3)$$

где ρ – плотность гранулы, кг/м^3; m – масса гранул, кг; V_1 – объем воды в цилиндре до погружения гранул, м^3; V_2 – объем воды в цилиндре после погружения гранул, м^3.

Влажность гранул определялась при помощи анализатора «ЭВЛАС – 2 М» [10].

Получены экспериментальные данные влияния температуры (t) на давление экструдирования (Р) при диаметрах отверстий фильер 0,7; 0,8; 0,9; 1; 1,2; 1,5 мм. На рис. 3 представлены графические зависимости давления экструдирования от температуры при влажности комбикорма 20; 25; 30 % и диаметрах отверстий фильер – 0,7 и 1,5 мм.

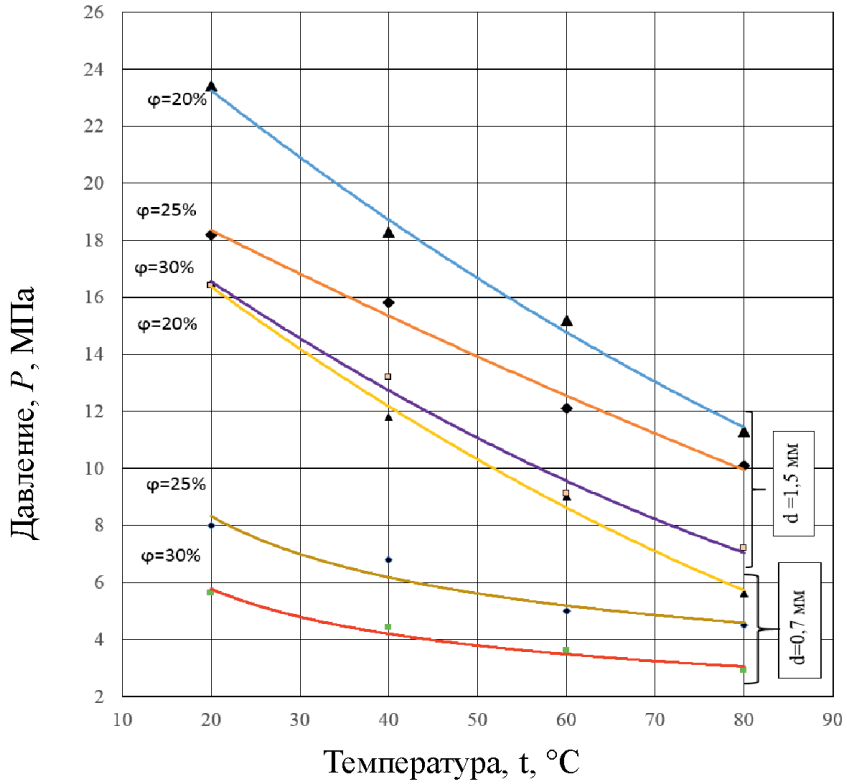

Рис. 3. Влияние температуры на рабочее давление экструдирования при влажности комбикормовой смеси 20, 25, 30 % при диаметрах отверстия фильеры 0,7 и 1,5 мм

Fig. 3. Influence of temperature on the working pressure of extrusion at humidity feed mixture 20, 25, 30 % with a die hole diameter of 0.7 mm and 1.5 mm

Анализ графических зависимостей, представленных на рис. 3 показывает, что с повышением температуры и влажности комбикормовой смеси снижается рабочее давление и, следовательно, энергетические затраты на процесс микроэкструдирования. Так, установлено минимальное рабочее давление (Р≈3 МПа) при диаметре отверстия фильеры 1,5 мм, влажности смеси 30 % и температуре смеси 80 °С, что более чем в 2 раза меньше, чем при диаметре отверстия фильеры 0,7 мм (Р≈7,5 МПа) при аналогичных параметрах влажности и температуры комбикормовой смеси.

Получены экспериментальные данные влияния температуры (t) на производительность процесса микроэкструдирования (П) при диаметрах отверстий фильер 0,7; 0,8; 0,9; 1,2 мм. На рис. 4 представ-

лены графические зависимости производительности экспериментальной установки от температуры: при влажности комбикорма 20, 25, 30 % и диаметре отверстия фильеры 0,7 мм; при влажности комбикорма 20, 25 % и диаметре отверстия фильеры 1,2 мм.

Анализ графических зависимостей, представленных на рис. 4, показывает, что повышение температуры и влажности комбикормовой смеси ведет к увеличению производительности установки. Определена наибольшая производительность экспериментальной установки в процессе микроэкструдирования комбикормовой смеси (П≈1,4 кг/час) при диаметре отверстия фильеры 1,2 мм, влажности смеси 25 % и температуре смеси 80 °С, что более чем в 3,3 раза выше, чем при диаметре отверстия фильеры 0,7 мм (П≈0,42 кг/час) при аналогичных параметрах влажности и температуры комбикормовой смеси.

Получены экспериментальные данные влияния температуры (t) на предел прочности гранул (σ) при диаметрах отверстий фильер 0,7; 0,8; 0,9; 1; 1,2; 1,5 мм. На рис. 5 представлены графические зависимости предела прочности гранул от температуры при влажности комбикорма 20; 25; 30 % и минимальном/максимальном диаметрах отверстий фильер – 0,7 и 1,5 мм.

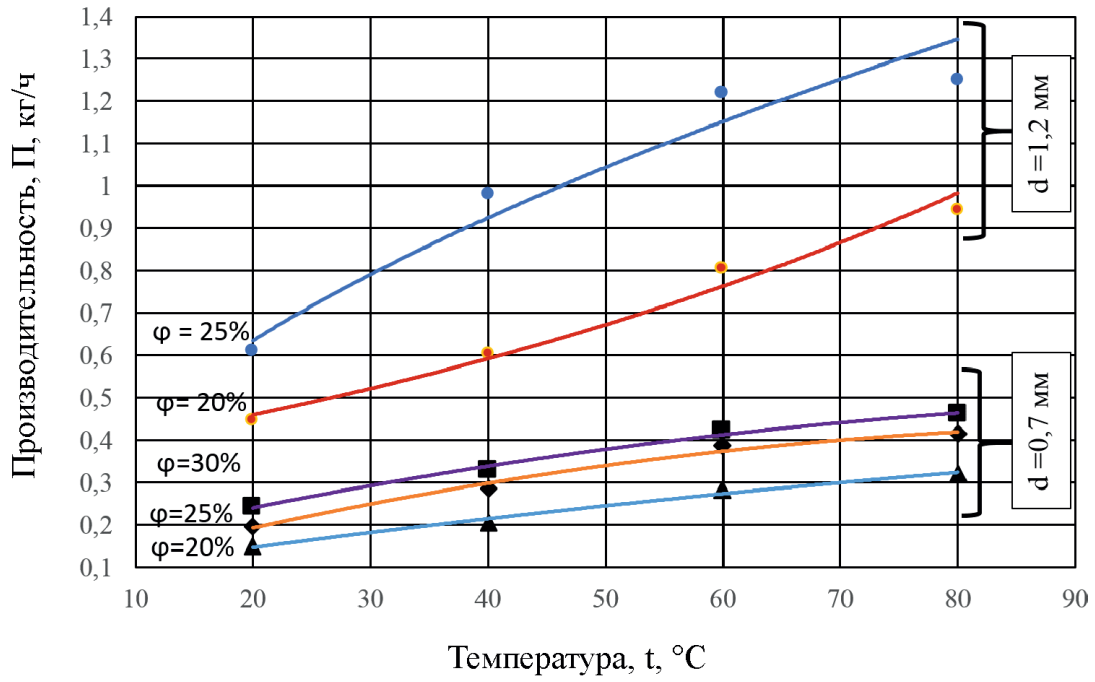

Рис. 4. Зависимость производительности установки от температуры при влажности комбикормовой смеси 20, 25, 30 %: при диаметре отверстия фильеры 0,7 мм и 1,2 мм
Fig. 4. Dependence of the plant's capacity on temperature at the humidity of the feed mixture 20, 25, 30%: with a die hole diameter of 0.7 mm and 1.2 mm

Анализ графических зависимостей, представленных на рис. 5, показывает, что повышение температуры и влажности комбикормовой смеси ведет к увеличению предела прочности гранул комбикорма. Установлен максимальный предел прочности гранул (σ ≈ 26 МПа) при диаметре отверстия фильеры 0,7 мм, влажности смеси 30 % и температуре смеси 80 °С, что более чем в 2,5 раза выше, чем при диаметре отверстия фильеры 1,5 мм (σ ≈ 10 МПа) при аналогичных параметрах влажности и температуры комбикормовой смеси.

Проведены исследования влияния размеров частиц сырья на физические характеристики микрогранул комбикормов (плотность ρ и предел прочности σ). Получены экспериментальные данные влияния температуры (t) на плотность гранул (ρ) и предел прочности (σ) при диаметрах отверстий фильер 0,7; 0,8; 0,9; 1; 1,2; 1,5 мм для размеров частиц комбикормовой смеси <0,2 мм; 0,2–0,5 мм; 0,5–0,8 мм и влажности смеси 20 %; 25 %; 30 %.

В результате экспериментальных исследований установлено, что предел прочности (σ) гранул достигает максимальных значений при диаметре фильеры 0,7 мм, температуре 80 °С и влажности 30 %. Таким образом, были построены графические зависимости ρ и σ для данных значений.

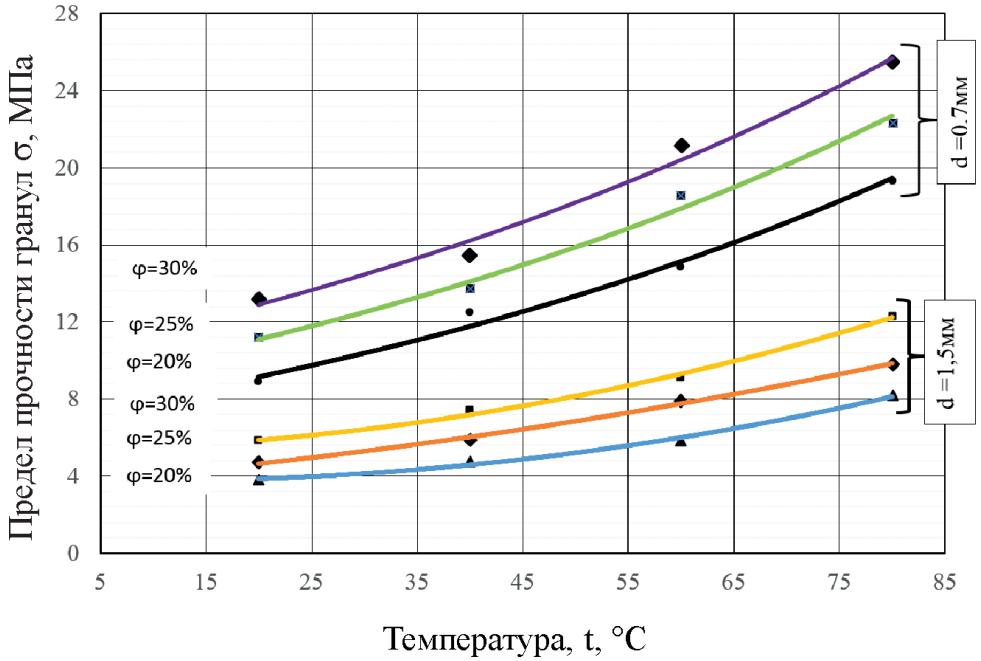

Рис. 5. Зависимость предела прочности гранул от температуры при влажности комбикормовой смеси 20, 25, 30 % для диаметра отверстия фильеры 0,7 мм и 1,5 мм
Fig. 5. Dependence of the strength of granules on temperature at the humidity of the feed mixture 20, 25, 30 % with a die hole diameter of 0.7 and 1.5 mm

На рис. 6 представлена графическая зависимость плотности гранул от температуры при влажности комбикорма 30 % и диаметре отверстия фильеры 0,7 мм для размеров частиц комбикорма <0,2 мм, 0,2–0,5 мм и 0,5–0,8 мм.

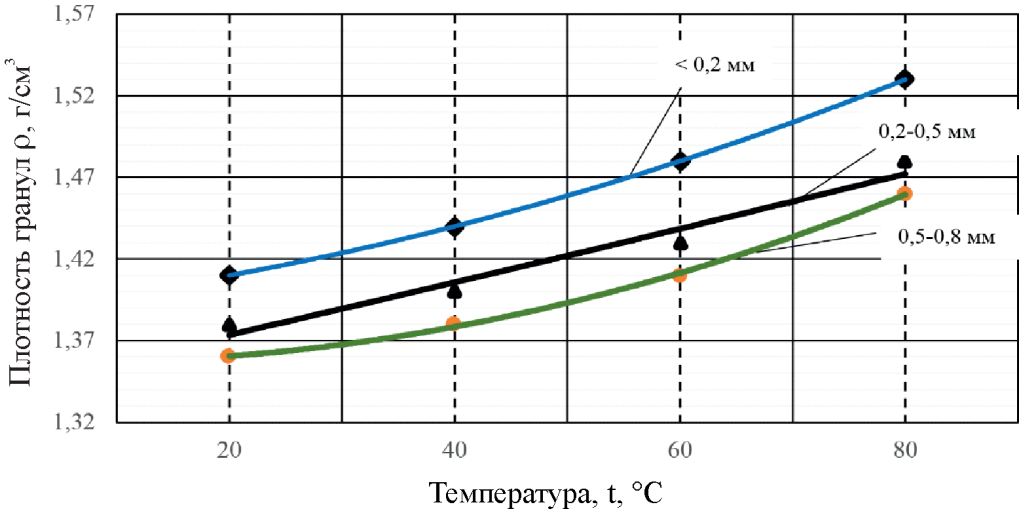

Рис. 6. Зависимость плотности гранул от температуры для разного размера частиц комбикорма при влажности 30 % для фильеры с диаметром выходного отверстия d = 0,7 мм
Fig. 6. Effect of the particle size of the feed on the density of the pellets at a moisture content of 30 % for a spinneret with a diameter of output holes d = 0.7 mm

На рис. 7 представлена графическая зависимость предела прочности гранул от температуры при влажности комбикорма 30 % и диаметре отверстия фильеры 0,7 мм для размеров частиц комбикорма <0,2 мм, 0,2–0,5 мм и 0,5–0,8 мм.

Анализ графических зависимостей, представленных на рис. 6 и 7, показывает, что при минимальных размерах частиц сырья комбикормовой смеси (высокой степени помола) возрастает плотность и предел прочности гранул, получаемых в процессе микроэкструдирования комбикормовой смеси.

Результаты исследований так же показали, что с увеличением диаметра формующего отверстия фильеры снижается плотность и предел прочности полученных гранул.

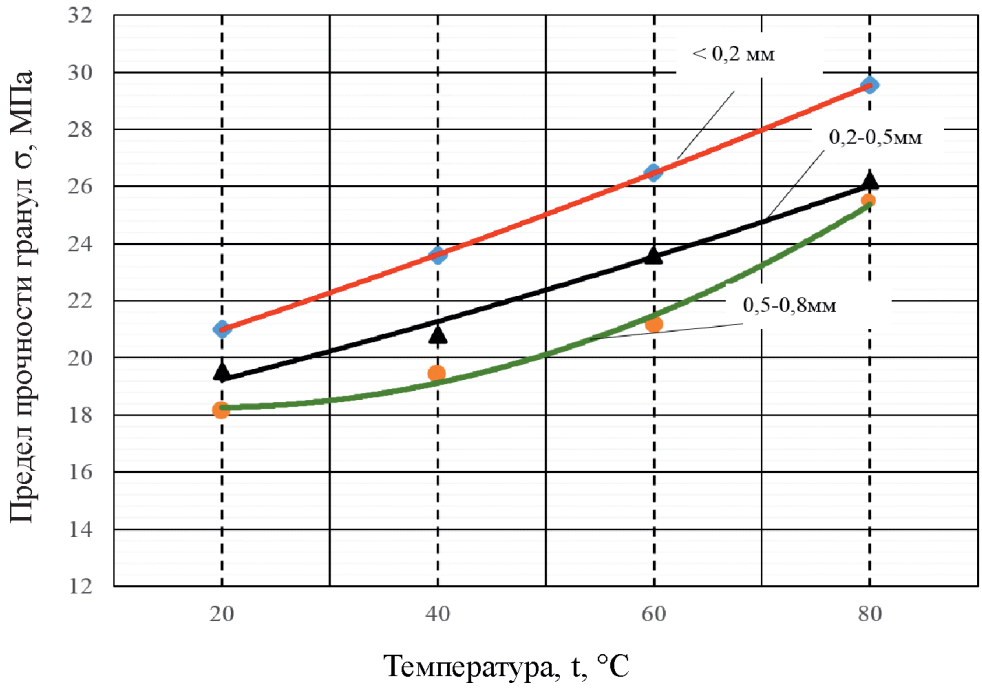

Рис. 7. Зависимость предела прочности гранул от температуры для разного размера частиц комбикорма при влажности 30 % для фильеры с диаметром выходного отверстия d = 0,7 мм
Fig. 7. Influence of the particle size of the feed on the tensile strength of the pellets at a moisture content of 30 % for a spinneret with a diameter of output holes d = 0.7 mm

Выводы. Проведение научных исследований, направленных на создание технологии и оборудования для производства рыбных комбикормов для выращивания мальков рыбы, является актуальным и востребованным в современных условиях. Решение данного вопроса позволит обеспечить отечественные рыбоводческие хозяйства качественными кормами, снизить импортозависимость отрасли и повысить ее экономическую эффективность, т.к. корма являются одним из самых значимых факторов, влияющих на себестоимость рыбной продукции. Для определения возможности и установления оптимальных параметров получения микрогранул рыбного комбикорма разработана и изготовлена экспериментальная установка. Проведены исследования процесса микроэкструдирования при продавливании комбикормовой смеси через фильеры с диаметрами отверстий 0,7; 0,8; 0,9; 1; 1,2; 1,5 мм. При этом определено влияние температуры и влажности комбикорма на давление и производительность микроэкструдирования, предел прочности и плотность получаемых гранул. Установлено влияние размера частиц комбикормовой смеси (<0,2 мм, 0,2–0,5 мм и 0,5–0,8 мм) на физические характеристики гранул – предел прочности и плотность. Полученные данные расширяют базу для расчета необходимых характеристик при создании отечественного оборудования для получения микрогранул рыбного комбикорма.

Список использованных источников

1. Агеец, В.Ю. Проблемы и перспективы производства биологически полноценных комбикормов для рыб в Республике Беларусь / В.Ю. Агеец, Ж.В. Кошак, А.Э. Кошак // Вести НАН Беларуси. Серия аграрных наук. – 2017. – №2. – С. 91–99.

2. Технологии инкапсуляции / Фармацевтические технологии и упаковка. –2014. – № 6 (244). – С. 44–47.
3. Пищевая экструзия на двухшнековых экструдерах [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://docplayer.ru/32134220-Pishchevaya-ekstruziya-na-dvuhshnekovyh-ekstruderah.html. – Дата доступа : 12.11.2018.
4. Сухие корма для рыб [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://xn--45-6kcaj1c.xn--p1ai/product/view/3/518. – Дата доступа : 12.11.2018.
5. Афанасьев, В.А. Руководство по технологии комбикормовой продукции с основами кормления животных / В.А. Афанасьев. – Воронеж: ВНИИКП, 2007 г. – 389 с.
6. Энциклопедия гранулирования кормов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://granuljatory-kormov.blogspot.com.by/2015_11_25_archive.html. – Дата доступа : 13.11.2018.
7. Гранулирование – химическая энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : file:///D:/Инфо%20для%20работы/Микрогранулы%20комбикорма/XuMuK.ru%20-%20ГРАНУЛИРОВАНИЕ%20-%20Химическая%20энциклопедия.html. – Дата доступа : 13.11.2018.
8. Рудой, Д.В. Исследование процесса экструдирования комбикормов для рыб / Д.В. Рудой // Вестник Казанского ГАУ. – 2014. – № 3(33). – С. 95–97.
9. Текстурный анализатор «Brookfield CT3»[Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.geo-ndt.ru/pribor-3413-tekstyrnii-analizator-ct3.htm. – Дата доступа : 13.11.2018.
10. Анализатор влажности «ЭВЛАС – 2 М» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.biomer.ru/index.php?part=production&item_id=157. – Дата доступа : 15.11.2018.

References

1. Ageyets V.YU., Koshak ZH.V., Koshak A.E. Problemy i perspektivy proizvodstva biologicheski polnotsennykh kombikormov dlya ryb v Respublike Belarus [Problems and prospects for the production of biologically complete mixed fodders for fish in the Republic of Belarus]. Vesti NAN Belarusi. Seriya agrarnykh nauk [News of the National Academy of Sciences of Belarus. A series of agricultural sciences], 2017, no.2, pp. 91–99 (in Russian).
2. Tekhnologi i inkapsulyatsii [Technologies of encapsulation]. Farmatsevticheskiye tekhnologii i upakovka [Pharmaceutical technologies and packaging], 2014, no.6 (244), pp. 44–47 (in Russian).
3. Pishchevaya ekstruziya na dvukhshnekovykh ekstruderakh (Food extrusion on twin-screw extruders). Available at:http://docplayer.ru/32134220-Pishchevaya-ekstruziya-na-dvuhshnekovyh-ekstruderah.html (accessed 12 November 2018).
4. Sukhiye korma dlya ryb(Dry food for fish). Available at: https://xn--45-6kcaj1c.xn--p1ai/product/view/3/518 (accessed 12 November 2018).
5. Afanas'yev V.A. Rukovodstvo po tekhnologii kombikormovoy produktsii s osnovami kormleniya zhivotnykh [Technology of Feed Mixed Products with the Basics of Animal Feeding].Voronezh, VNIIKP, 2007, 389 p. (in Russian).
6. Entsiklopediya granulirovaniya kormov (Encyclopedia of feed pelletizing). Available at: https://granuljatory-kormov.blogspot.com.by/2015_11_25_archive.html(accessed 13 November 2018).
7. Granulirovaniye – khimicheskaya entsiklopediya (Granulation is a chemical encyclopedia). Available at: file:///D:/Инфо%20для%20работы/Микрогранулы%20комбикорма/XuMuK.ru%20-%20ГРАНУЛИРОВАНИЕ%20-%20Химическая%20энциклопедия.html (accessed 13 November 2018).
8. Rudoy D.V. Issledovaniye protsessa ekstrudirovaniya kombikormov dlya ryb [Investigation of the process of extruding mixed fodders for fish]. Vestnik Kazanskogo GAU [Bulletin of the Kazan GAU], 2014, no. 3 (33), pp. 95–97 (in Russian).
9. Teksturnyy analizator «Brookfield ST3» (Texture Analyzer Brookfield CT3). Available at: https://www.geo-ndt.ru/pribor-3413-tekstyrnii-analizator-ct3.htm (accessed 13 November 2018).
10. Analizator vlazhnosti «EVLAS – 2 M» (Analyzer of humidity «EVLAS-2 M»). Available at: http://www.biomer.ru/index.php?part=production&item_id=157 (accessed 15 November 2018).

Информация об авторах

Куликов Алексей Валентинович — кандидат технических наук, и.о. начальника отдела новых технологий и техники РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: ont_i_t@mail.ru)

Литвинчук Александр Аркадьевич — кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела новых технологий и техники РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: newteh@belproduct.com

Куликова Ольга Михайловна – инженер 1 категории отдела новых технологий и техники РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: newteh@belproduct.com

Данилюк Александр Сергеевич – младший научный сотрудник отдела новых технологий и техники РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: newteh@belproduct.com

Безущенок Анна Александровна – инженер-конструктор 2 категории отдела новых технологий и техники РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: newteh@belproduct.com

Information about authors

Kulikov Aleksey V. – PhD in Technological Sciences, Acting Head of the department of new technologies and equipment of RUE «Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ont_i_t@mail.ru

Litvinchuk Alexander A. – PhD in Technological Sciences, Senior Researcher of the department of new technologies and equipment of RUE «Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: newteh@belproduct.com

Kulikova Olga M. – 1st category engineer of the department of new technologies and equipment of RUE «Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: newteh@belproduct.com

Danilyuk Aleksandr S. – Junior Researcher of the department of new technologies and equipment of RUE «Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: newteh@belproduct.com

Bezuschenok Anna A. – Design Engineer 2 categories of the department of new technologies and equipment of RUE «Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: newteh@belproduct.com