

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЭКСТРУДИРОВАНИЯ КОМБИКОРМОВ ДЛЯ ДОМАШНИХ ЖИВОТНЫХ

Резюме. Сбалансированные комбикорма, предварительно подвергнутые пропариванию с целью обеспечения клейстеризации крахмала и подавления патогенной микрофлоры, экструдировали для повышения переваримости крахмала и увеличения количества растворимых углеводов. Экструдированные корма показали высокую устойчивость к окислительной порче и микробиологической контаминации. Двухстадийная и одностадийная обработка продемонстрировали сопоставимые результаты по стабильности химического состава без потери конечного качества продукта для питания домашних животных. В процессе 4-месячного хранения происходит постепенное нарастание бактериальной и грибной обсемененности, что указывает на необходимость соблюдения герметичных условий хранения. Апробация корма на собаках породы бигль подтвердила практическую пригодность разработанного корма.

Ключевые слова: пропаривание, экструдирование, комбикорм, непродуктивные животные.

STUDY OF EXTRUSION MODES FOR COMPOUND FEEDS FOR PETS

Abstract. Validated feed source mixture formulations, steamed to ensure starch gelatinization and suppress pathogenic microflora, were extruded to increase the digestibility of starch and soluble carbohydrates. The extruded feeds demonstrated high resistance to oxidative spoilage and microbiological contamination. Two-stage and single-stage processing demonstrated comparable results in chemical composition stability without loss of final product quality for pet nutrition. During 4-month storage, a gradual increase in bacterial and fungal contamination occurs, indicating the need for hermetically sealed storage conditions. Feed testing on beagle dogs confirmed the practical suitability of the developed feed.

Key words: steaming, extrusion, feed, non-productive animals.

ВВЕДЕНИЕ

Влиянию температуры в процессе экструзии на физические свойства экструдатов посвящено исследование [5], в рамках которого были разработаны четыре вида экструдированных кормов. Два из них получены с применением холодной экструзии, с частицами размером 2 и 4 мм, и два с применением экструзионной варки, также с частицами размером 2 и 4 мм. Корма обрабатывали в двухшнековом экструдере. Для холодной экструзии нагрев не предусматривался. Температура экструзионной варки составляла 110°C. Использование данной технологии способствовало получению более прочных гранул по сравнению с холодной экструзией. Существенной разницы в коэффициенте расширения между экструдированными кормами, обработанными при температуре 110°C,

УДК 636.085.55

Научная статья

DOI 10.69539/2413-287X-2026-07-2-275

**АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ
ОСТРИКОВ¹**,

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры машин и аппаратов
производственных процессов

ORCID: 0000-0002-2335-0017

Researcher ID: AAC-9246-2019

Scopus Author ID: 6507477204

E-mail: ostrikov27@yandex.ru

**МАКСИМ ВАСИЛЬЕВИЧ
КОПЫЛОВ¹**,

доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры машин и аппаратов
производственных процессов

ORCID: 0000-0003-2678-2613

Researcher ID: N-6160-2015

Scopus Author ID: 57209802681

E-mail: kopylov-maks27@yandex.ru

**ИВАН АНДРЕЕВИЧ
САПЕЛКИН¹**,

аспирант кафедры машин и аппаратов
производственных процессов

ORCID: 0009-0002-3477-8948

E-mail: ivan-sapelkin2000@yandex.ru

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
университет инженерных технологий»

394036, Россия, г. Воронеж,
проспект Революции, д. 19

Поступила в редакцию: 10.07.2026

Одобрена после рецензирования: 15.07.2026

Принята в публикацию: 17.07.2026

UDC 636.085.55

Research article

DOI 10.69539/2413-287X-2026-07-2-275

ALEXANDER N. OSTRIKOV¹,

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor of the Department of Machines
and Apparatuses of Production Processes

ORCID: 0000-0002-2335-0017

Researcher ID: AAC-9246-2019

Scopus Author ID: 6507477204

E-mail: ostrikov27@yandex.ru

MAKSIM V. KOPYLOV¹,

Doctor of Technical Sciences, Associate
Professor, Professor of the Department
of Machines and Apparatuses of Production
Processes

ORCID: 0000-0003-2678-2613

Researcher ID: N-6160-2015

Scopus Author ID: 57209802681

E-mail: kopylov-maks27@yandex.ru

IVAN A. SAPELKIN¹,

Postgraduate Student of the Department
of Machines and Apparatuses
of Production Processes

ORCID: 0009-0002-3477-8948

E-mail: ivan-sapelkin2000@yandex.ru

¹FSBEI HE «Voronezh State University
of Engineering Technologies»

394036, Russia, Voronezh, Revolution Avenue, 19

Received by editor office: 07.10.2026

Approved in revised: 07.15.2026

Accepted for publication: 07.17.2026

по сравнению с комбикормами, полученными при холодной экструзии и при одинаковом размере частиц, обнаружено не было.

В статье [2] приведено сравнение переваримости пяти видов экструдированных кормов со сходным макронутриентным составом: один — с курицей и четыре свежих продукта на основе курицы, говядины, свинины и индейки. Исследование проводили на здоровых собаках в течение 10 дней с фиксацией поедаемости, параметров стула и отбором проб для анализа. Несмотря на сопоставимое потребление сухого вещества и калорийности обоих рационов на основе куриного мяса, рацион из свежих продуктов позволил снизить частоту дефекации, содержание в фекалиях сухих веществ и калорийность фекалий по сравнению с гранулированным кормом. Общая переваримость сухих веществ, белка, жира в экструдированном корме была значительно ниже, чем в кормах из свежих продуктов.

В работе [6] изучали влияние сухих дрожжей (*Saccharomyces cerevisiae*) на домашних животных. Для этого были разработано по два сухих экструдированных рациона для собак и для кошек. Экспериментальные корма содержали по 10% сухих дрожжей, контрольные были без дрожжей. При этом оценивались вкусовые качества кормов, общая усвояемость питательных веществ и качество фекалий. У кошек измерялись pH мочи и удельная плотность в качестве показателей здоровья мочевыводящих путей. У собак дрожжевая диета показала лучшую вкусовую привлекательность по сравнению с контрольной диетой. Кошки продемонстрировали явное предпочтение дрожжевой диете, потребляя ее более чем в два раза больше за двухдневный период тестирования. Таким образом, результаты данного исследования подтверждают приемлемость и усвояемость кормов для собак и кошек, содержащих сухие дрожжи в качестве альтернативного источника белка.

В эксперименте [3] были использованы десять собак породы бигль для тестирования пяти видов кормов: экструдированного корма с курицей и ячменем (EXT); свежего корма с курицей и белым рисом (FRSH); замороженного сырого корма с курицей (FRZN); гибридного лиофилизированного сырого корма с курицей и сорго (HFD); лиофилизированного сырого корма с куриными котлетами (FD). Эксперимент состоял из пяти 35-дневных периодов, каждый из которых заканчивался сбором фекалий и забором крови. Установлено, что усвояемость протеина была выше у сырых замороженных и лиофилизированных образцов. Наибольшая усвояемость жира отмечена у гибридного рациона, самая низкая — у сухого. Объем фекалий был максимальным при кормлении сухим кормом. Их качество было наилучшим при скармливании экструдированного и свежего кормов.

В работе [4] на экструдированные гранулы корма наносили слой куриного жира, содержащего 0, 5, 10, 15 и 20% свободных жирных кислот и 3% жидкого натурального куриного ароматизатора. Затем оценивали их вкусовые

и ароматические качества, общую усвояемость. Запах гранул анализировали с помощью электронной носовой хроматографии с импульсным газовым хроматографом и твердофазной микроэкстракционной газовой хроматографии. В ароматических качествах, как и в усвояемости белка, углеводов, сухого вещества и жиров, существенных различий между кормами с покрытием не выявлено. Корм, покрытый куриным жиром, содержащим до 20% олеиновой кислоты, не оказывал негативного влияния на профиль запаха или вкусовые качества у лабрадоров-ретриверов.

Цель настоящей работы — определение рациональных параметров пропаривания зернового сырья перед экструдированием для повышения степени клейстеризации крахмала, снижения удельных энергозатрат при его дальнейшем экструдировании, повышения производительности экструдера.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов изучения были использованы рецепты экструдированных кормов для домашних питомцев, приведенные в источнике [1]. Оценка физико-механических параметров и качественных характеристик сырья и готовой продукции проводилась согласно действующим стандартам. В перечень определяемых показателей входили: органолептические свойства (запах) (ГОСТ 13496.13—2018), наличие амбарных вредителей, металломагнитная примесь, влажность (ГОСТ Р 54951—2012), массовая доля сырого протеина (ГОСТ 13496.4—93), содержание хлорида натрия, кальция и фосфора, крошимость гранул. Для контроля безопасности определяли содержание нитратов, нитритов и остаточных количеств пестицидов (ГОСТ 13496.19—2015 и ГОСТ 13496.20—2014). Аминокислотный профиль (лизин, триптофан, цистин, метионин, треонин) экструдированных комбикормов устанавливали методом капиллярного электрофореза и БИК-спектроскопии (ГОСТ 13496.21—2015, ГОСТ 13496.22—90, ГОСТ 31480—2012).

Технологические эксперименты по экструдированию кормовых смесей осуществлялись на экструдерной установке в АО «НПЦ «ВНИИКП». Температурный режим в зоне экструзии регулировали с помощью термопар и потенциометра; энергопотребление привода регистрировали амперметром; производительность линии определяли путем взвешивания готовой продукции на сертифицированных весах, а время выдержки — с использованием секундомера. Динамику избыточного давления в воздуховодах отслеживали по микроманометру. Влияние внешних факторов на сохранность продукта изучалось в климатических камерах экспериментального корпуса. Условия хранения моделировали для двух сезонов: осенне-зимнего (температура воздуха 6—18°C) и весенне-летнего (18—23°C, влажность 75—89%). Продукцию размещали в металлических силосах и в четырехслойных бумажных мешках; хранили ее в течение 4 месяцев. В эксперименте применяли два варианта обработки:

двухстадийную экструзию пшеницы с жиром (вариант I) и одностадийную обработку пшеницы без жира (вариант II); контролем служил неэкструдированный продукт.

В процессе хранения определяли влажность, содержание сырого протеина, липидов, растворимых углеводов, переваримость крахмала *in vitro*, витаминный состав, кислотность, кислотное число жира, микробиологические показатели — бактериальную и грибковую обсемененность. Результаты приведены в таблице.

При изучении технологичности сыпучих кормовых смесей для домашних животных выяснилось, что они образуют своды при выгрузке из бункеров. Чтобы улучшить технологические параметры и повысить питательную ценность продукции, применили экструдирование. Зоотехническую апробацию проводили в Центральном питомнике лабораторных животных в поселке Андреевка Московской области и в виварии Воронежской областной ветеринарной лаборатории на 16 собаках породы бигль (по 8 самцов и самок) в возрасте 12–14 месяцев. Их разделили на две равнозначные группы — опытную и контрольную.

Собаки контрольной группы получали рацион, составленный из натуральных продуктов: овсяная крупа, мясо, молоко (сухое), овощи (морковь, картофель), зелень, рыбий жир, мел, поваренная соль. Корм скармливали два раза в сутки в виде каши. Животных опытной группы в течение предварительного периода (5 дней) приучали к новому корму, экструдированному, постепенно заменяя им натуральные продукты. В состав экструдированных комбикормов входили: пшеница — 50%, мясокостная мука — 33%, рыбная мука — 4%, молоко сухое обезжиренное — 2%, дрожжи — 4%, жир кормовой — 4%, меласса — 2%, премикс — 1%. В исследуемый период опытная группа получала только экструдированный комбикорм из расчета 50 г на 1 кг живой массы, при этом учитывались динамика веса, поедаемость, выживаемость и гематологические параметры: гемоглобин, гематокрит, глюкозу, общий белок, триглицериды.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Термовлажностную обработку проводили в пропаривателе и экструдере со шнековым питателем. В пропаривателе кормовую смесь предварительно увлажняли до 17–20% и

прогревали до температуры 70–80°C паром под давлением 0,2 МПа. Дальше смесь проходила через шнековую зону, где разогревалась за счет диссипации, и выдавливалась через матрицу с последующей резкой на гранулы. Тепловая обработка в пропаривателе приводит к трансформации крахмального комплекса, что повышает переваримость корма. Установлено возрастание степени декстринизации и переваримости крахмала с увеличением влажности сырья до 18%. Например, в экструдированной пшенице при влажности 32% степень декстринизации и переваримости крахмала достигала 90 мг/г.

Выявлено, что влажность зерна увеличивается быстрее при использовании влажного пара, подаваемого под давлением 0,25–0,3 МПа, по сравнению с сухим паром с давлением 0,4–0,6 МПа. Интенсивный тепло- и влагообмен достигается при удельном расходе пара 0,11 кг/(кг·мин), при котором влажность ячменя за 3–5 минут достигает 30–33%. Около 90% пара поглощается зерном в первые три минуты, после чего темп увлажнения замедляется при достижении влажности 27–30%. Уже через минуту пропаривание создает условия для клейстеризации: температура — 60°C, влажность — 20%, через три минуты значения этих параметров повышаются соответственно до 95–97°C и 24–30%, при этом частично клейстеризуется до 4% крахмала. Полная клейстеризация наступает лишь спустя 65–70 минут.

Установлено, что увеличение расхода пара не ускоряет клейстеризацию, поскольку температура продукта стабилизируется около 100°C, а влажность находится в зоне насыщения (30–40%). Следовательно, ключевым лимитирующим фактором является длительность пропаривания. Также установлено, что пропаривание эффективно подавляет патогенную микрофлору. Обработка свыше трех минут приводит практически к полной стерилизации зерна: исходное содержание 2650 диаспор грибов и 6×10^6 бактерий в 1 г снижается до незначительных величин. В качестве рационального был выбран следующий режим: пропаривание пшеницы до влажности 19% при расходе пара 100–180 кг/ч и давлении 0,20–0,35 МПа в течение 10–12 минут. Эти условия обеспечивают эффективную термомеханическую деструкцию белково-углеводного матрикса, повышая доступность крахмала

Показатели качества рассыпных и экструдированных комбикормов для домашних животных

Вид комбикорма	Влажность, %	Сырой протеин, %	Сырой жир, %	Сырая клетчатка, %	Растворимые углеводы, %	Переваримость, % (<i>in vitro</i> , мг глюкозы на 1 г продукта)
Рассыпной	12,9	21,89	11,11	1,20	7,72	29,3
	10,4	21,62	10,58	1,11	6,58	27,4
	12,1	21,74	10,39	1,22	7,96	28,5
Экструдированный	8,5	22,34	10,35	1,15	10,54	65,32
	7,4	21,18	10,64	1,00	19,13	68,15
	7,9	21,96	10,60	1,13	11,64	63,85

для ферментов без ущерба для переваримости протеина и улучшая санитарное состояние. При этом 5-минутная обработка обеспечивает денатурацию 28% белка, 10-минутная — 47,2%, 60-минутная — 87,7%.

Изучение влияния влажности в диапазоне от 12 до 25% на характер протекания процесса экструдирования показало: ее повышение способствует лучшему пластифицированию массы, что положительно сказывается на производительности экструдера (рис. 1). При повышении влагосодержания с 12–13% до 18% производительность экструдера возрастает с 350–370 до 450 кг/ч, удельное энергопотребление снижается с 53–56 до 62–63 кВт·ч/т. Дальнейшее увлажнение (до влажности свыше 18%) приводит к менее выраженному повышению эффективности (рис. 2). Также улучшается качество гранул — снижается их крошимость. Таким образом, оптимальным значением влажности для формирования гранул являются 18%.

Экструзия глубоко разрушает крахмал: количество растворимых углеводов возрастает на 27–32%, а переваримость крахмала в экструдате *in vitro* увеличивается вдвое по сравнению с рассыпной формой.

При оценке влияния температуры 125–130°C на сохранность витаминов выяснилось, что активность водорастворимых витаминов группы В (B_1 , B_2) осталась той же. В отличие от них жирорастворимые витамины снизили свою активность: витамин Е — до 23% в ячмене и 7,3% в комбикорме, витамин А в комбикорме — 5,6%.

В течение 4 месяцев хранения кислотность и кислотное число жира возрастали. В весенне-летний период кислотность опытного образца (двухстадийная экструзия) увеличилась в 1,4 раза, контрольного — в 2,0 раза; в осенне-зимний период — в 1,2 и 1,7 раза, соответственно. Кислотное число жира в опытном образце за 4 месяца выросло в 2,3 раза (лето) и 1,8 раза (зима), в контрольном — в 3,1 и 2,4 раза. Различия между вариантами I и II были незначительными, то есть одно- и двухстадийная обработка влияют на стабильность липидов примерно одинаково.

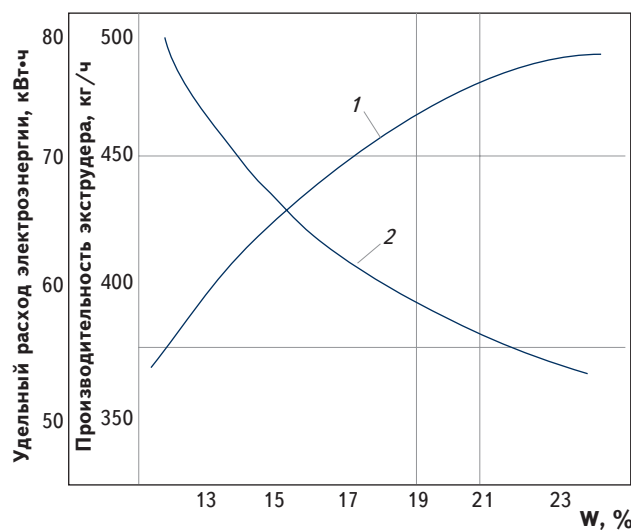


Рис. 1. Зависимость производительности экструдера (1) и удельного расхода электроэнергии (2) от влажности (W) комбикорма

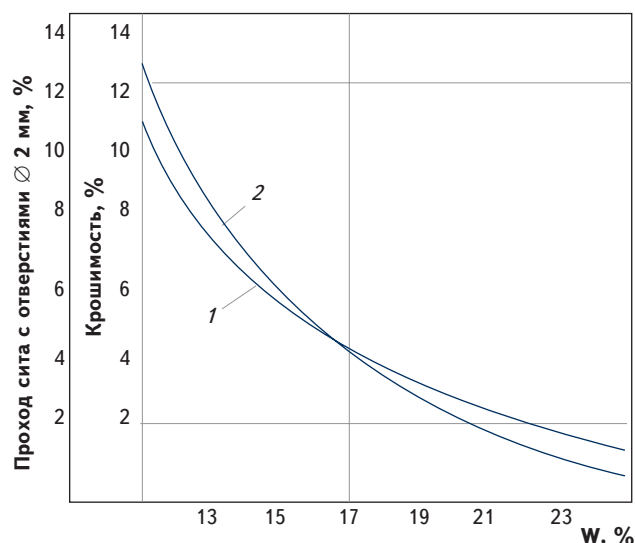


Рис. 2. Зависимость величины прохода продукта через сито с отверстиями Ø 2 мм и крошимости гранул от влажности комбикорма

Литература/Literature

1. Остриков, А. Н. Кинетика процесса экструдирования комбикормов для непродуктивных животных / А. Н. Остриков, И. А. Сапелкин, Л. Н. Фролова / Вестник ВГУИТ. — 2026. — Т. 88. — № 2. — С. 63–69.
2. Tanprasertsuk, J. Apparent total tract nutrient digestibility and metabolizable energy estimation in commercial fresh and extruded dry kibble dog foods / Jirayu Tanprasertsuk, LeeAnn M. Perry, Devon E. Tate, Ryan W. Honaker, Justin Shmalberg // Transl. Anim. Sci. — 2021. — 5. — pp. 1–9.
3. Geary, E. Apparent total tract nutrient digestibility of frozen raw, freeze-dried raw, fresh, and extruded dog foods and their effects on serum metabolites and fecal characteristics, metabolites, and microbiota of healthy adult dogs / Elizabeth L. Geary, Patricia M. Oba, James R. Templeman, Kelly S. Swanson // Translational Animal Science. — 2024. — 8. txae163.
4. Mccracken, F. Effects of coating kibble with chicken fat enriched with free fatty acids on digestibility and palatability in Labrador retrievers / Fiona B. Mccracken, Patrick M. Skaggs, Jason W. Fowler, Sarah M. Dickerson, Claire L. Timlin, Craig N. Coon // Translational Animal Science. — 2026. — 10. txf146.
5. Novriadi, R. Effect of different extrusion conditions and pellet size on the physical properties of extruded fish feeds / Romi Novriadi, T. Gibson Gaylord, Guillaume Salze, D. Allen Davis // Animal Feed Science and Technology. — 2025. — 328. — 116453.
6. Davenport, G. Effects of extruded pet foods containing dried yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) on palatability, nutrient digestibility, and fecal quality in dogs and cats / Gary M. Davenport, Stephanie S. Block, Jennifer L. Adolphe // Translational Animal Science. — 2023. — 7. — txad107.

Микробиологический мониторинг показал: хотя экструзия обеспечивает практически полную стерильность продукта, но при хранении бактериальная и грибковая обсемененность постепенно возрастают — с 5,0 до 40 тыс. микробных клеток и с 10 до 870 спор в 1 г за 4 месяца. В контрольном неэкструдированном образце микрофлора размножалась значительно быстрее.

ВЫВОДЫ

В проведенном исследовании, во-первых, определены рациональные параметры пропаривания зернового сырья, при которых эффективно клейстеризуется крахмал и подавляется патогенная микрофлора. Основным фактором, определяющим степень желатинизации крахмала, является длительность обработки. Во-вторых, установлено, что рациональное содержание влаги в экструдированной

кормовой смеси составляет 18%, которое обеспечивает максимальную производительность экструдера, снижение удельных энергозатрат и крошимости гранул. Экструзионная обработка удваивает переваримость крахмала и увеличивает количество растворимых углеводов на 27–32%. В-третьих, высокотемпературная экструзия 125–130°C не вредит витаминам группы В (В₁, В₂). Однако отмечена частичная деструкция жирорастворимых витаминов: потери витамина Е могут достигать 7–23%, витамина А — до 5,6%. В-четвертых, экструдированные корма показали более высокую устойчивость к окислительной порче (кислотное число жира растет в 1,5–2 раза медленнее по сравнению с необработанными кормами) и микробиологической контаминации. Апробация на собаках породы бигль подтвердила практическую пригодность разработанного экструдированного корма. ■



ИНФОРМАЦИЯ