

Животноводство и кормопроизводство. 2026. Т. 109. № 1. С. 234-247.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2026. Vol. 109. No. 1. P. 234-247.

Научная статья
УДК 636.085:547.917
doi: 10.33284/2658-3135-109-1-234

Технологии производства экобиобезопасных углеводосодержащих кормовых добавок из зернового сырья

Владимир Васильевич Аксенов¹, Анатолий Александрович Политов², Сергей Владимирович Леонов³

^{1,2}Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

³Институт экспериментальной ветеринарии Сибири и Дальнего Востока – научное подразделение Сибирского федерального научного центра агrobiотехнологий Российской академии наук, Краснообск, Новосибирская область, Россия

¹padova2008@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-3650-403X>

²anpolitov@yahoo.com, <https://orcid.org/0009-0006-5675-5244>

³348-39-31@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3425-723X>

Аннотация. Применяемые рационы кормления животных на животноводческих комплексах, в первую очередь для молочных коров, часто не обладают сбалансированным составом, главным образом в рационах имеется хронический недостаток углеводов. Из углеводов глюкоза является базовым энергетическим компонентом в рационах всех видов животных, недостаток которой при кормлении вызывает ряд негативных последствий. Целью исследования было проведение сравнения питательной ценности кормов при введении различных источников углеводов в кормовые рационы. Представлены преимущества использования зерновых паток в рационах крупного рогатого скота.

Ключевые слова: животноводство, крупный рогатый скот, кормление, зерновая патока, биоконверсия зернового сырья, ферментативный гидролиз крахмала, углеводы, глюкоза, свекловичная меласса, продовольственная безопасность, экологическая безопасность

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР ИХТТМ СО РАН (№ 124102200669-5).

Для цитирования: Аксенов В.В., Политов А.А., Леонов С.В. Технологии производства экобиобезопасных углеводосодержащих кормовых добавок из зернового сырья // Животноводство и кормопроизводство. 2026. Т. 109. № 1. С. 234-247. [Aksenov VV, Politov AA, Leonov SV. Technologies for the production of eco-friendly, bio-safe carbohydrate-containing feed additives from grain raw materials. Animal Husbandry and Fodder Production. 2026;109(1):234-247. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-109-1-234>

Original article

Technologies for the production of eco-friendly, bio-safe carbohydrate-containing feed additives from grain raw materials

Vladimir V Aksenov¹, Anatoly A Politov², Sergey V Leonov³

^{1,2}Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

³Institute of Experimental Veterinary Medicine of Siberia and the Far East – scientific department Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

¹padova2008@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-3650-403X>

²anpolitov@yahoo.com, <https://orcid.org/0009-0006-5675-5244>

³348-39-31@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3425-723X>

Abstract. The animal feeding rations used in livestock complexes, primarily for dairy cows, often do not have a balanced composition, mainly there is a chronic lack of carbohydrates in the diets. Among

carbohydrates, glucose is the basic energy component in the diets of all animal species, the lack of which during feeding causes a number of negative consequences. The aim of the study was to compare the nutritional value of feed when introducing different sources of carbohydrates into feed rations. The advantages of using grain bundles in the diets of cattle are presented.

Keywords: animal husbandry, cattle, feeding, grain molasses, bioconversion of grain raw materials, enzymatic hydrolysis of starch, carbohydrates, glucose, beet molasses, food security, environmental safety

Acknowledgments: the work was supported in accordance to the plan of research works ISSCM SB RAS (No. 124102200669-5).

For citation: Aksenov VV, Politov AA, Leonov SV. Technologies for the production of eco-friendly, bio-safe carbohydrate-containing feed additives from grain raw materials. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2026;109(1):234-247. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-109-1-234>

Введение.

Агропромышленный комплекс в РФ является базисной основой продовольственной безопасности страны. В решении продовольственных проблем главные роли принадлежат зерновой и животноводческой отраслям. По общему объему зерна РФ занимает пятое место в мире после США, Китая, ЕС и Индии. Следует признать, что в отечественном сельском хозяйстве наблюдается деинтенсификация производства, которая во многих хозяйствах вызывает невысокую рентабельность растениеводства и убыточность животноводства. Например, на одного сельскохозяйственного работника в РФ производится 20 центнеров зерна, в США – 1230 центнеров, во Франции – 680 центнеров (Бельков Г.И., 2022).

Россия находится в зависимости от импортных кормовых добавок или компонентов для их внутреннего производства. В РФ зарегистрировано 3680 наименований кормовых добавок, 60,57 % из которых являются зарубежными. Количество отечественных добавок для животных составило 1451 наименований, то есть 39,43 % (Шаабан М., 2023).

Молочное животноводство является одним из значимых направлений агропромышленного комплекса в России. Сбалансированность кормления животных по углеводо-протеиновому соотношению – важный показатель, отражающий эффективность конверсии корма в молоко и мясо, влияет на здоровье животных и их продуктивное долголетие. Базовым соотношением в кормовых рационах молочных коров является соотношение компонентов белок:крахмал:легкоусвояемые углеводы = 0,9-1,1:1,5-1,7:1,3-1,5. Хроническим нарушением данного соотношения является низкое содержание углеводов, в первую очередь глюкозы. Для восполнения недостатка углеводов в рационы животных вводят различные овощи и углеводосодержащие добавки: морковь, свеклу, репу, тростниковую и свекловичную мелассы, отходы крахмалопаточных производств (Буряков Н.П., 2023). В настоящее время применяются химические энергетические кормовые добавки: пропиленгликоль, глицерин и т. д. (Некрасова Н.Н. и Рыжова Г.Ф., 2018). Высокая продуктивность КРС обусловлена следующими основными факторами: сбалансированностью кормовых рационов по белкам и углеводам, условиями содержания животных, качественным ветеринарным обслуживанием и генетическим потенциалом животных. Дисбаланс основных элементов питания в рационах животных приводит не только к снижению уровня их продуктивности, но и к нарушению физиологических процессов в организме. В частности, во многих животноводческих хозяйствах при анализе рационов коров фиксируется недостаток легкоусвояемых углеводов, которые обеспечивают животным необходимый уровень энергии. Известно, что величина дефицита углеводов в рационах КРС в среднем по животноводческой отрасли в России достигает 40-50 %, доходя в отдельных хозяйствах до 70 % (Перевозчиков А.В. и др., 2019).

Роль углеводов возрастает при кормлении высокопродуктивных животных, в рационы которых вводится большое количество концентратов. При кормлении животных, имеющих в рационе оптимальное количество углеводов, рН рубца снижается, поддерживая повышенное количество бактерий, ферментирующих лактаты. Бактерии, ферментирующие лактаты, вероятно, конкурируют с бактериями, которые катаболизируют аминокислоты, поэтому углеводы сохраняют более высокие концентрации пептидов и аминокислот для остальной части микробного консорциума, а также

для расщепления клетчатки и производства микробного белка. Углеводы определяют тенденцию к увеличению концентрации бутиратов и валератов в рубце, что дает энергию для эпителиальных клеток рубца (Oba M., 2011). Кроме того, углеводы не способствуют образованию трансжирных кислот, которые участвуют в снижении содержания молочного жира. Таким образом, высокое содержание углеводов в кормовых рационах позволяет эффективно усваивать большее количество концентрированных кормов и обеспечивает животных энергией (Oba M et al., 2023). Например, использование в рационах коров холмогорской породы углеводо-протеиновой кормовой добавки в количестве 1,5 кг, в которой содержалось 741 г углеводов, показало увеличение молочной продуктивности на 4,6 % ($P=0,95$) и повышение уровня белка на 0,14 %. (Наконечный А.А. и др., 2023). Однако, имеются сложности в поддержании сбалансированных рационов для продуктивных животных в течение года. Так, при переходе на пастбищное содержание в начале лета высокое содержание белка в травах не соответствует рекомендованному в кормах отношению белков и углеводов, что приводит к увеличению концентрации азотистых соединений в моче и выводу метаболитов белка из организма животного, а не его усвоению. Поэтому для достижения необходимого баланса между сахарами, белком и крахмалом отечественная сельскохозяйственная наука рекомендуют введение в рацион животных дополнительного количества углеводов.

В настоящее время применяются несколько видов кормовых добавок, способных частично восполнить дефицит сахаров в рационах продуктивных животных. К ним относятся свекловичная и тростниковая мелассы, корнеплоды, отходы крахмало-паточных производств, химические энергетические ингредиенты.

Инновационными кормовыми источниками глюкозы являются зерновые патоки, впервые полученные в 2002 году. После отработки параметров и масштабирования технологий биоконверсии зерна стали производиться зерновые патоки из зерна пшеницы в промышленных объемах и применяться в рационах КРС с 2004-2005 гг. в СПХК «Морские Нивы» и в ЗАО «Племзавод Ирмень» (Новосибирская область) – одним из лучших агрохолдингов России (Аксенов В.В., 2013). Внедрение паток в рационы молочных коров показало увеличение молочной продуктивности на 5,6-7,2 %, повышение в молоке содержания жира на 13,7 %, лактозы на 17,4 %, а также снижение затрат на ветеринарное обслуживание на 4,8-5,6 %, что опубликовано было ранее в ряде работ (Аксенов В.В., 2013; Перевозчиков А.В. и др., 2019). Развитие и усовершенствование технологий по биоконверсии крахмалосодержащего растительного сырья на углеводосодержащие кормовые добавки продолжается и усовершенствуется (Аксенов VV and Politov AA, 2022; Аксенов В.В., 2023). Производство и использование зерновых паток из различных зерновых культур: пшеницы, ячменя, ржи и других злаков, реализовано в нескольких животноводческих комплексах РФ.

Цель исследования.

Описание усовершенствованного способа биоконверсии зерна пшеницы «Новосибирская 67» для получения глюкозосодержащих паток на гидроимпульсном ферментативном реакторе ГИФР-120 и проведение сравнительного анализа зерновых паток со свекловичной мелассой.

Материалы и методы исследования.

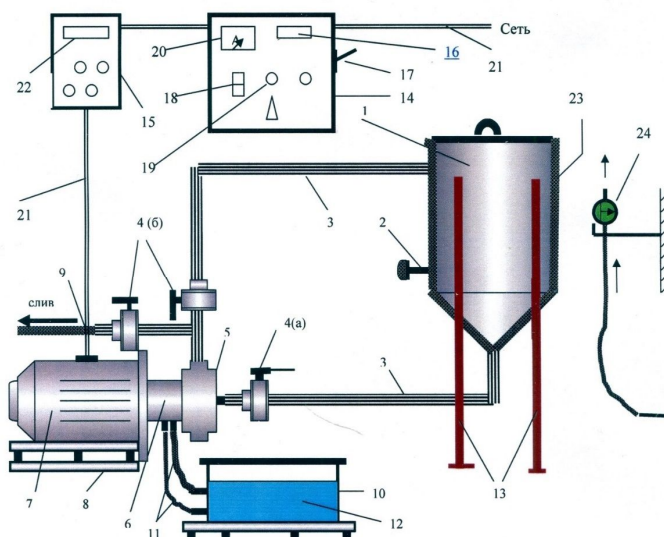
Объект исследования. Технология ферментативной биоконверсии дробленого зерна пшеницы на ГИФР-120.

Схема эксперимента. Работа выполнена в ФБГУ Институт химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения Российской Академии Наук (ИХТТМ СО РАН) в молодежной лаборатории «Механо-ферментативная конверсия твердых биополимеров».

Зерновые патоки были получены из пшеницы сорта «Новосибирская 67». Ссылка на состав свекловичной мелассы взята из ГОСТа 30561-2013. Химический состав исходного зернового сырья выполнен по действующему национальному стандарту Российской Федерации (ГОСТ Р 52554-2006). Предварительной стадией биоконверсии зерна является дробление зерна. Измельченное зерно порционно подается в емкость рециркуляции, предварительно наполненной теплой водой +30...+35 °С. В ГИФРе водо-зерновая суспензия многократно проходит через ротор и статор дис-

пергатора. В процессе обработки зерновой дробленки происходит контролируемый разогрев обрабатываемой суспензии. Одновременно с нагреванием обрабатываемой массы зерновая дробленка подвергается дезагломерации-дезинтеграции в водной среде, что облегчает прохождение дальнейших стадий ферментативного гидролиза: клейстеризации-желатинизации и разжижения-декстринизации зернового крахмала. Стадии ферментативного гидролиза протекают под действием мультиэнзимных композиций (МЭК-1), включающих набор специально подобранных амилолитических ферментов в температурном диапазоне $+57...+75$ °С. Стадию осахаривания проводят в присутствии мультиэнзимной композиции МЭК-2 при температурах $+60...+65$ °С. Норма расхода МЭК-1 составила 1,5-3 кг, а МЭК-2 – 1,6-2,5 кг на тонну зерна. Продолжительность всего процесса биоконверсии зернового сырья на зерновые патоки составляет 7-8 часов. По окончании процесса отбирается проба (до 100 мл) для определения количества глюкозы и влажности зерновой патоки.

Оборудование и технические средства Биоконверсия зерна пшеницы сорта «Новосибирская 67» для получения глюкозосодержащей кормовой патоки проводилась в специализированном гидроимпульсном ферментативном реакторе собственного производства емкостью 120 литров (ГИФР-120) (рис. 1).



Примечание: 1 – емкость рециркуляции объемом 120л с рубашкой охлаждения и люком с уплотнением из химически стойкого материала; 2 – датчик температуры; 3 – продуктопровод; 4 (а-б) – краны-затворы; 5 – ячейка размещения ротора и статора; 6 – охлаждаемый сальниковый узел; 7 – электродвигатель мощностью 5,5 Квт; 8 – рама-компенсатор вибраций; 9 – канал для слива готовой продукции/или слива в канализацию промывных вод; 10 – модуль охлаждения сальникового узла; 11 – водоподводящие шланги; 12 – вода для охлаждения сальникового узла; 13 – стойки емкости рециркуляции; 14 – щит управления двигателем; 15 – частотный преобразователь HYUNDAI N700 E; 16 – цифровой индикатор температуры; 17 – вводный выключатель; 18 – кнопки «Пуск» и «Стоп»; 19 – кнопка аварийного отключения; 20 – амперметр-индикатор питания двигателя; 21 – подводящий кабель электропитания; 22 – индикатор скорости вращения двигателя; 23 – теплоизоляция; 24 – расходомер воды со шлангом подвода воды

Note: 1 – 120 L recirculation tank with a cooling jacket and a hatch with a seal made of chemically resistant material; 2 – temperature sensor; 3 – product pipeline; 4 (a-b) – shut-off valves; 5 – rotor and stator placement cell; 6 – cooled stuffing box; 7 – 5.5 kW electric motor; 8 – vibration compensator frame; 9 – channel for draining finished products/or draining flushing water into the sewer; 10 – stuffing box cooling module; 11 – water supply hoses; 12 – water for cooling the stuffing box; 13 – recirculation tank racks; 14 – engine control panel; 15 – HYUNDAI N700 E frequency converter; 16 – digital temperature indicator; 17 – input switch; 18 – "Start" and "Stop" buttons; 19 – emergency shutdown button; 20 – ammeter-engine power indicator; 21 – power supply cable; 22 – engine speed indicator; 23 – thermal insulation; 24 – water flow meter with water supply hose

Рисунок 1. Гидроимпульсный ферментативный реактор-120 (ГИФР-120)

Figure 1. Hydroimpulse enzymatic reactor-120 (GIFR-120)

Трубы продуктопровода изготовлены из высоколегированной стали марки 12Х18Н10. Аппарат снабжен электродвигателем мощностью 5,5 Квт, число оборотов ротора регулируется частотным преобразователем от 0 до 3000 оборотов в минуту. Номинальный напор воды – 0,2 Мпа. Внутренний диаметр продуктопровода – 50 мм, толщина труб – 3 мм. Количество проходящей реакционной массы через рабочие органы (ротор-статор) ГИФР-120 на воде составляет 5000л/час при частоте 50 гц.

Шкаф управления включает: амперметр цифровой (предел измерения 100А); счетчик электроэнергии трехфазный (класс точности – 1, напряжение – 380В, ток – 25А); блок измерения температуры (МН1210 W T_{макс.} +110 °С). Для подвода электричества используется кабель силовой, многожильный, универсальный, огнестойкий. Сопротивление изоляции (+200 °С) – 3.7 МОМ/м². Диапазон рабочих температур: -50 °С...+50 °С. Измеритель-регулятор температуры ТРМ 212 с термосопротивлением.

Состав зерновой патоки определен с использованием спектрофотометрических методик на спектрофотометре СФ-2000 (ОКБ «Спектр», г. Санкт-Петербург, Россия) и методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). ВЭЖХ проведена в ИХТГМ СО РАН на хроматографе «Милюхром А-02» (ЗАО «Институт хроматографии "ЭкоНова"», г. Новосибирск, Россия). Ферментативный гидролиз выполнен под действием ферментных препаратов мультиэнзимных композиций МЭК-1 и МЭК-2 (ООО «СИББИОФАРМ» г. Бердск, Новосибирская область).

Результаты исследования.

Глубина протекания ферментативного гидролиза зерна определяется по количеству глюкозы, образующейся в процессе биоконверсии зернового крахмала (рис. 2). Следует отметить, что пробы на остаточный крахмал в патоке – отрицательные, что свидетельствует о полном гидролизе крахмала.

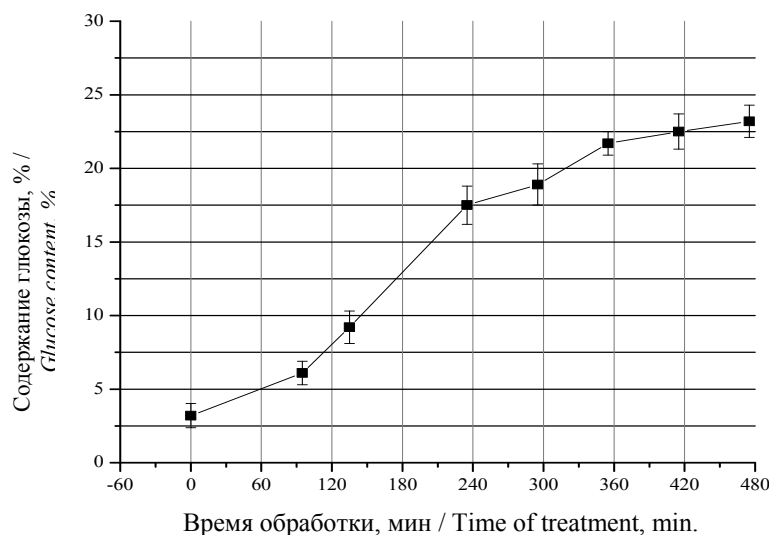


Рисунок 2. Динамика накопления глюкозы в пшеничной патоке при обработке в ГИФР-120; частота вращения ротора – 14,8-39,0 Гц (888-2340 об./мин)

Figure 2. Dynamics of glucose accumulation in wheat molasses during treatment in GIFR-120; rotor speed – 14,8-39,0 Hz (888-2340 rpm)

Определение содержания глюкозы проводилось в соответствии методикой определения сахаров по Бертрану (ГОСТ 26176-2019. Корма и комбикорма. Методы определения растворимых и легкогидролизуемых углеводов).

Результаты анализа глюкозной патоки из зерна пшеницы по определению побочных соединений сделаны методом высокоэффективной жидкостной хроматографии ВЭЖХ приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты анализа зерновой патоки на наличие вредных примесей
Table 1. Results of analysis of corn molasses for harmful impurities

Вещество / <i>Substances</i>	Наличие / <i>Presence</i>	Предел обнаружения / <i>Instrumental detection limit</i>
Акриламид / <i>Acrylamide</i>	Не обнаружено / <i>Non detected</i>	50 мкг/г / <i>50 µg/g</i>
Гидроксиметилфурфурол / <i>Hydroxymethylfurfural</i>	Не обнаружено / <i>Non detected</i>	50 мкг/г / <i>50 µg/g</i>
4-метилимидазол / <i>4-Methylimidazole</i>	Не обнаружено / <i>Non detected</i>	8 мкг/г / <i>8 µg/g</i>
Нитрат-ионы / <i>Nitrate ions</i>	Меньше 25 мкг/мл / <i>Less than 25 µg/ml</i>	-

Тяжелые металлы не содержатся в исходном зерне и не вносятся в зерновую патоку в процессе получения готовой продукции. Проведенный анализ показывает, что зерновые патоки могут быть рекомендованы не только к использованию в качестве кормовых добавок в животноводстве, а также в пивоваренной, кондитерской, хлебопекарной и других отраслях пищевой промышленности.

Предлагаемые технологические линии имеют разную производительность и могут обеспечивать глюкозосодержащими добавками корма для балансировки рационов, как крупных хозяйств, имеющих стадо КРС от 1000 и более голов, так и в малых фермерских хозяйствах, имеющих стада от 20 и более голов. Производительность линий обусловлена средним удоем КРС, количеством голов в хозяйстве и дефицитом легкорастворимых сахаров в кормовом рационе. В таблице 2 сопоставлены среднегодовые удои молока, поголовье КРС в хозяйстве, количество зерновой патоки, рассчитанное исходя из среднего дефицита сахаров в кормовых рационах хозяйств Сибирского Федерального округа и тип линии производства зерновой патоки. Цифра в обозначении линии указывает на вместимость ГИФРа. Данные таблицы 2 позволяют выбрать подходящую технологическую линию для хозяйств с более высокими годовыми удоями молока и для различного поголовья животных.

Таблица 2. Типоразмерный ряд линий по производству зерновых патонок
Table 2. Type size range of lines for grain molasses production

Производительность линии за смену (7-8 часов), кг / <i>Line productivity per shift (7-8 hours), kg</i>	Кол-во голов КРС с удоем 20 кг/день (6000 кг/год) / <i>Number of heads of cattle with a milk yield of 20 kg/day (6000 kg/year)</i>	Количество зерновой патоки в месяц, т / <i>Volume of grain molasses per month, t</i>	Тип технологической линии / <i>Process line type</i>
60	20	1,8	ЛПЗП-60 / <i>GMPL-60</i>
210	70	6,3	ЛПЗП-210 / <i>GMPL-210</i>
510	170	15,3	ЛПЗП-500 / <i>GMPL-500</i>
1000	330	30,0	ЛПЗП-1000 / <i>GMPL-1000</i>
3000	1000	90,0	ЛПЗП-3000 / <i>GMPL-3000</i>
6000	2000	180,0	ЛПЗП-6000 / <i>GMPL-6000</i>

Примечание: ЛПЗП – линия производства зерновой патоки

Note: GMPL – grain molasses production line

Зерновые патоки – продукция, получаемая из зернового сырья в проточных реакторах типа ГИФР различной производительности. В процессе биохимической конверсии растительных крахмалов образуется глюкоза и небольшое количество мальтозы. Процессы биоконверсии зерновых крахмалов протекают с использованием амилотических ферментов. Химический состав зерновых патонок зависит от видов исходного сырья, количества крахмала в зерне и эффективности работы используемой аппаратуры. При содержании крахмала в зерне более 58 % (кукуруза, рис и неко-

торые сорта пшеницы) концентрация глюкозы в жидкой патоке достигает значений 27-30 %. Сравнительный состав сахарной мелассы и зерновой патоки из пшеницы представлен в таблице 3.

Таблица 3. Сравнительный состав зерновой патоки и свекловичной мелассы (ГОСТ 30561-2013. Меласса свекловичная)

Table 3. Comparative composition of grain molasses and beet molasses (State Standard 30561-2013. Beet molasses)

Характеристика продукта / <i>Product feature</i>	Зерновая патока, в 1 кг / <i>Per 1 kg of grain molasses contains</i>	Свекловичная меласса, (свекловичная патока), в 1 кг / <i>Per 1 kg of beet molasses contains</i>
Питательные вещества / <i>Nutrients</i>	Глюкоза – 220-300 г, белок – 30-40 г, жиры – 10-12 г, клетчатка – 8-10 г / <i>Glucose – 220-300 g, protein – 30-40 g, fat – 10-12 g, grain fibre – 8-10 g</i>	Сахароза – 400-460 г, Массовая доля сухих веществ (не менее) – 750 г / <i>Sucrose 400-460 g, Mass fraction of dry matter (not less than) – 750 g</i>
Другие вещества / <i>Other substances</i>	Вода 620-650 г, неорганические соединения, содержащиеся в зерне, 13-16 г / <i>Water 620-650 g, inorganic compounds contained in grain 13-16 g</i>	Вода 240-250 г, неорганические соли 290-150 г / <i>Water 240-250 g, inorganic salts 290-150 g</i>
Вредные органические вещества / <i>Harmful organic substances</i>	Отсутствуют / <i>Not detected</i>	Меланоидины, входящие в состав мелассы, снижают удерживание азота, замедляют рост подопытных крыс на 40 % / <i>Melanoidins included in molasses reduce nitrogen retention, slow down the growth of experimental rats by 40%</i>
Органолептические свойства / <i>Organoleptic properties</i>	Продукт светло-коричневого цвета, имеет сладковатый вкус, приятный хлебный запах / <i>The product is light brown in color, has a sweetish taste and a pleasant bread smell</i>	Продукт черного или темно-коричневого цвета, имеет сладко-горький вкус, запах специфический, неприятный / <i>The product is black or dark brown in color, has a sweet-bitter taste, and a specific unpleasant smell</i>
Обменная энергия (КРС), МДж / <i>Metabolic energy (cattle), MJ</i>	0,30-0,34 (расчетная) / <i>About 0.30-0.34 (calculated)</i>	0,94

Высокое содержание солей и других побочных соединений, содержащихся в свекловичной мелассе, существенно ограничивают ее применение в животноводстве и не позволяют полностью восполнить дефицит сахаров в рационах высокопродуктивных животных. Однако для балансирования рационов по содержанию углеводов часто используют кормовую мелассу как наиболее доступный источник. Рекомендованным количеством мелассы (1,0-2,0 кг на дойную корову в день) сдобривают корма, т. к. при повышенных дозах она вызывает раздражение пищеварительного тракта из-за содержания в ней щелочных солей органических кислот. Для высокопродуктивных коров с надоями 30-40 кг в сутки необходимо 6-10 кг глюкозной патоки с содержанием глюкозы 25-30 %. Приведенные данные в таблице 3 показывают, что количество сахарной мелассы 2 кг недостаточно для поддержания полноценного рациона.

Обсуждение полученных результатов.

Для получения пищевого сахара сахарную свеклу подвергают мойке, измельчению и извлекают сахарозу. При этом извлекаются другие растворимые органические и неорганические соединения. Сахаросодержащий свекольный раствор отделяют от измельченного жома, сок очищается от осадка. Свекольный сок содержит 12-15 % сухого вещества и до 75 % воды. Далее сок упаривается в вакууме до получения густого сиропа с содержанием сухих веществ 60-65 %. Промывные и остаточные воды, содержащие сахарозу, упариваются и перекачиваются в емкости хранения. Это побочное сырье является мелассой. Мелассу используют в кормовых рационах животных для снижения дефицита энергетических добавок. (Головин А.В., 2018). Кроме сахарной мелассы в рационах животных используется свекольный жом, который содержит клетчатку и протеин (Буряков Н.П., 2023).

Из солей, содержащихся в свекольной мелассе, особый вред приносят соли азотной кислоты – нитраты. В организме животных нитраты восстанавливаются до нитритов. Нитриты, взаимодействуя с гемоглобином крови, образуют метгемоглобин, который не может переносить кислород, в результате чего уменьшается кислородная емкость крови у животных и развивается гипоксия. Еще одним продуктом взаимодействия нитратов с аминокислотами являются нитрозамины, которые для животных канцерогенными веществами.

Свекольная меласса является побочным продуктом свеклосахарного производства. Упаренная свекольная меласса содержит 36-46 % сахарозы, от 70 до 80 % сухих веществ (Богатырёва Е.В. и Фоменко П.А., 2022).

Решить проблему вышеперечисленных недостатков, применяемых в животноводстве сахаросодержащих кормовых добавок, предлагается путем использования в рационах всех видов продуктивных животных глюкозных патоков из различных видов зернового сырья.

Зерновые патоки кардинально отличаются от всех используемых кормовых добавок составом, а именно тем, что в них основным энергетическим компонентом является глюкоза (Аксенов В.В., 2013). В сахарной мелассе, свекле и других овощных культурах основной углевод – сахароза – дисахарид, состоящий из глюкозы и фруктозы, усвоение этих углеводов в организме животных протекает разными метаболическими путями. Это подтверждается фактами, изложенными в работе, где делается вывод о различии процессов их переваривания в рубце и желудочно-кишечном тракте (Березин А.С. и Лысова Е.А., 2020).

Помимо продуктов гидролиза крахмала (глюкозы, мальтозы), в зерновой патоке содержатся продукты ферментативного расщепления клетчатки – целлюлозы и гемицеллюлозы, которые являются пребиотиками и способствуют развитию бактериальной микрофлоры. Для удовлетворения недостатка углеводов в рационах молочных коров требуется 6-10 кг жидкой зерновой патоки с содержанием углеводов 25-30 % (Аксенов В.В., 2013).

В научных публикациях приводятся исследования по использованию углеводов в рационах животных и птиц. Например, в рационы бройлерных цыплят сверх нормы вносили 10 % протеинов, углеводов и жиров. Биохимический анализ крови показал повышение уровня глюкозы на 6,4 % при введении 10 % сахарозы (Шейда Е.В. и др., 2021). Исследовано влияние ферментного препарата: грибной альфа-амилазы (амилоризин) на изменение химического состава зерновых кормов. Использование данного ферментного препарата увеличило разложение сырой клетчатки ячменя на 6 % и улучшило переваримость корма на 5,4-6,8 % (Сечнев Ю.А. и др., 2024). Представлены результаты по применению в рационах КРС пребиотической кормовой добавки на основе крахмального полисахарида. Показано увеличение молочной продуктивности в опытной группе на 5,7-10,2 %, повышение жира в молоке – на 0,02-0,06 %, белка – на 0,02-0,07 % (Сложенкина М.И. и др., 2024).

Производство и использование зерновой патоки имеет значительную экономическую составляющую. Суммарный сбор зерна в России в 2022-2024 годах составил 137-154 млн т. Объемы производства зерна значительно превышают объемы его внутреннего потребления. Общий объем потребления зерна в РФ без учета экспорта в 2022 г. составил 81 млн т. Данные факты подтверждают актуальность переработки зерна на кормовые патоки для увеличения производства и повышения качества молочной и мясной продукции. (Ахметшина Л.Г., 2022).

В связи с тем, что имеется много данных, связанных с кормлением, содержанием и здоровьем животных, особенно высокопродуктивных, в последнее время открываются новые направления, связанные с искусственным интеллектом, по кормам и здоровью животных (Черепанов Г.Г., 2021; Черепанов Г.Г., 2025).

Сравнительный анализ эффективности применения зерновой патоки и свекловичной мелассы в кормлении животных

1. Состав, хранение. Зерновая пшеничная патока содержит: глюкозу – 24-30 %; протеин – 3,5-5,5 %; клетчатку – 1-2 %; воду – 62-65 %. При производстве патоки на предприятии с содержанием коров, целесообразно ее сразу смешивать с основным рационом в кормораздатчике. При избытке патоки хранить в помещении с температурой +6...+10 °С в течение 4-6 дней (Аксенов В.В., 2013).

Меласса свекловичная содержит: сахарозу – 40-46 %; неорганические соли – 15-29 %; воду – 24-25 %. При хранении мелассы между соединениями, входящими в состав мелассы, идут химические реакции. Наиболее характерно взаимодействие между углеводами и аминокислотами. В ходе этих процессов снижается качество мелассы. Уменьшается количество сахарозы в мелассе, реакция идет с выделением тепла, что влияет на качество продукции.

2. Влияние зерновой патоки и свекловичной мелассы на здоровье животных. Зерновая патока из углеводов имеет в своем составе только глюкозу. Глюкоза обеспечивает энергией многие биохимические реакции в организме животных и является базовым составляющим компонентом, на котором построен метаболизм всех животных, растений и человека.

Свекловичная меласса содержит в своем составе сахарозу. Сахароза относится к углеводам и состоит из двух молекул: глюкозы и фруктозы. Метаболизм этих углеводов в организме животных разный: у фруктозы он идет через печень и откладывается у животных в виде гликогена. Присутствие в мелассе антипитательных соединений сказывается на здоровье животных, поэтому свекловичная меласса вводится в рационы животных в ограниченных количествах: не более 1,0-2,0 кг в сутки на молочную корову.

3. Сравнительные затраты на получение и доставку свекловичной мелассы и зерновой патоки. Производство свекловичной мелассы сосредоточено в южных и центральных регионах России. Перевозят свекловичную мелассу в специальных железнодорожных цистернах и разгружают на промывочно-пропарочных станциях (ППС). Меласса является густым вязким сиропом, имеет удельный вес 1,5г/см³, разгрузку проводят с использованием горячей воды или пара. Затраты на разгрузку одной цистерны на ППС составляет 18000-25000 рублей. Стоимость утилизация сточных вод после промывки одной цистерны (около 1,5 м³) составляет 15000-20000 рублей.

Стоимость одной тонны зерновой патоки из фуражного зерна 5 класса при закупке сырья пшеницы составляет 8500-10300 руб./т. При использовании собственного зерна себестоимость одной тонны зерновой патоки ориентировочно снижается в два раза.

Ключевыми преимуществами зерновых патоки являются доступность сырья и возможность организации производства различной мощности. Важно отметить их биологическую безопасность: отсутствие патогенных и условно-патогенных соединений. Данный продукт универсален и подходит для всех видов животных. Кроме того, технология обеспечивает экологическую безопасность, так как промывные воды используются для биопереработки навоза в удобрения.

Производство зерна равномерно распределено по регионам страны, к тому же, его разгрузка-выгрузка не связана с теми техническими трудностями, с которыми сталкивается доставка и выгрузка свекловичной мелассы потребителю. В качестве сырья для получения зерновых патоки экономически целесообразно использовать фуражное зерно, содержащее большее количество крахмала. Нами разработан широкий типоразмерный ряд технологических линий по производству зерновых патоки, которые могут производить от 60 кг до 6000 т и более продукции в месяц, что позволяет обеспечить высокоэнергетической зерновой добавкой как небольшие животноводческие хозяйства, так и крупные сельскохозяйственные холдинги.

Заключение.

Разработанная технология биоконверсии зернового сырья в гидроимпульсном ферментативном реакторе ГИФР-120 обеспечивает полную и эффективную переработку крахмала зерна (пшеницы) в ценный кормовой продукт – зерновую патоку. Процесс, основанный на двухстадийном ферментативном гидролизе, занимает 7-8 часов и позволяет получать продукт с высоким содержанием глюкозы (до 27-30 %) при отсутствии остаточного крахмала.

Ключевым преимуществом зерновой патоки является ее экологическая чистота и безопасность. Данные ВЭЖХ подтверждают отсутствие в готовом продукте таких опасных контаминантов, как акриламид, гидроксиметилфурфурол и 4-метилимидазол.

Сравнительный анализ показал превосходство зерновой патоки над традиционно используемой свекловичной мелассой. В отличие от мелассы, содержащей сахарозу, значительное количество балластных веществ и нитратов, зерновая патока содержит преимущественно глюкозу. Отсутствие в ее составе антипитательных соединений позволяет скармливать ее высокопродуктивным животным в количествах, снижающих дефицит сахаров в рационе (до 6-10 кг в сутки), без риска интоксикации или раздражения пищеварительного тракта, что характерно для мелассы.

С экономической и логистической точек зрения производство зерновых патоk является более целесообразным для большинства регионов России, особенно Урала, Сибири и Дальнего Востока. Широкая распространенность зернового сырья, возможность его переработки непосредственно в хозяйствах и хранением готового вязкого продукта позволяют значительно снизить себестоимость кормовой добавки. Разработанный типоразмерный ряд линий ЛПЗП (от ЛПЗП-60 до ЛПЗП-6000) делает технологию доступной для внедрения как в мелких фермерских, так и в крупных животноводческих хозяйствах.

Проведенные исследования подтверждают, что использование технологий для получения зерновой патоки на основе реакторов ГИФР является высокоэффективным инструментом импортозамещения. Данный подход не только улучшает качество кормовой базы и продуктивность животных, но и решает вопрос экономически выгодного использования фуражного зерна. Замкнутый цикл переработки промывных вод в удобрения обеспечивает полную экологическую безопасность производства.

Список источников

1. Аксенов В.В. Биотехнологические основы глубокой переработки зернового крахмалосодержащего сырья. Изд-е 2-е. Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. 168 с. [Aksenov VV. Biotechnological foundations of deep processing of grain starch-containing raw materials. Edition 2, Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing; 2013:168 p. (*In Russ.*)].
2. Аксенов В.В., Политов А.А. Способ получения кормовой суспензии длительного хранения из зернового сырья: пат. RU 2801747 C1 Рос. Федерация. Заявл. 26.12.2022; опублик. 15.08.2023. Бюл. 23. 10 с. [Aksenov VV, Politov AA. Spособ polucheniya kormovoj suspenzii dlitel'nogo khraneniya iz zernovogo syr'ya. Patent RU 2801747 C1. Date of filing: 2022.12.26. Date of publication: 2023.08.15. Bull. 23:10 p. (*In Russ.*)].
3. Ахметшина Л.Г. От зерна к продуктам его переработки: экспортный потенциал и перспективы // Аграрный вестник Урала. 2022. № 9(224). С. 71-86. [Akhmetshina LG. From grain to processed products: export potential and prospects. Agrarian Bulletin of the Urals. 2022;9(224):71-86. (*In Russ.*)]. doi: 10.32417/1997-4868-2022-224-09-71-86
4. Бельков Г.И. Тенденции развития зернового комплекса в мире и России // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105. № 3. С. 161-168. [Belkov GI. Trends in the development of the grain complex in Russia and the world. Animal Husbandry and Fodder Production. 2022;105(3):161-168. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-105-3-161
5. Березин А.С., Лысова Е.А. Переваримость сахара кормов в желудочно-кишечном тракте у молочных коров // Проблемы биологии продуктивных животных. 2020. № 4. С. 99-105. [Bere-

zin AS, Lysova EA. Digestibility of feed sugar in the gastrointestinal tract in dairy cows. *Problems of Productive Animal Biology*. 2020;4:99-105. (In Russ.). doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2020.4:99-105

6. Богатырёва Е.В., Фоменко П.А. Биохимический статус крови коров при использовании свекловичной патоки в условиях Вологодской области // *Сельскохозяйственный журнал*. 2022. № 4(15). С. 75-83. [Bogatyreva EV, Fomenko PA. Biochemical blood status of cows when using beet molasses in the conditions of the Vologda region. *Agricultural Journal*. 2022;4(15):75-83. (In Russ.). doi: 10.25930/2687-1254/008.4.15.2022

7. Буряков Н.П. Роль побочной продукции свеклосахарного производства в углеводном питании животных // *Сахар*. 2023. № 12. С. 44-51. [Buryakov NP. Rol pobochnoy produkttsii sveklosakharnogo proizvodstva v uglevodnom pitanii zhiivotnykh. *Sakhar*. 2023;12:44-51. (In Russ.). doi: 10.24412/2413-5518-2023-12-44-51

8. Влияние новой пребиотической кормовой добавки на основе крахмального полисахарида на молочную продуктивность и качественные показатели получаемой продукции / М.И. Сложенкина, И.Ф. Горлов, Т.А. Антипова, О.В. Кудряшова, Е.С. Воронцова, С.А. Брехова, А.К. Дурдыев, А.А. Сложенкина // *Животноводство и кормопроизводство*. 2024. Т. 107. № 4. С. 144-155. [Slozhenkina MI, Gorlov IF, Antipova TA, Kudryashova OV, Vorontsova ES, Brekhova SA, Durdyev AK, Slozhenkina AA. Effect of a new prebiotic feed additive based on starch polysaccharide on dairy productivity and quality parameters of the obtained products. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(4):144-155. (In Russ.). doi: 10.33284/2658-3135-107-4-144

9. Головин А.В. Влияние соотношения легкопереваримых углеводов в рационе новотельных коров на метаболизм в рубце и продуктивность // *Молочное и мясное скотоводство*. 2018. № 8. С. 24-27. [Golovin AV. Effect of percentage of easily digestible carbohydrates in a diet of fresh calved cows on ruminal metabolism and performance. *Dairy and Beef Cattle Farming*. 2018;8:24-27. (In Russ.). doi: 10.25632/MMS.2018.60.63.006

10. Изменения показателей крови цыплят-бройлеров при различной нутриентной обеспеченности рациона / Е.В. Шейда, Ш.Г. Рахматуллин, С.В. Лебедев, В.В. Гречкина, О.А. Завьялов, А.Н. Фролов // *Животноводство и кормопроизводство*. 2021. Т. 104. № 4. С. 193-204. [Sheyda EV, Rakhmatullin ShG, Lebedev SV, Grechkina VV, Zavyalov OA, Frolov AN. Changes in blood parameters of broiler chickens with different nutritional security of the diet. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(4):193-204. (In Russ.). doi: 10.33284/2658-3135-104-4-193

11. Наконечный А.А., Дыдыкина А.Л., Вязьминов А.О. Влияние уровня углеводов в рационах коров холмогорской породы на молочную продуктивность и качество молока // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2023. Т. 53. № 12. С. 89-96. [Nakonechny AA., Dudykina AL., Vyazminov AO. Effect of carbohydrate level in the diets of Kholmogor cows on milk productivity and milk quality. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2023;53(12):89-96. (In Russ.). doi: 10.26898/0370-8799-2023-12-10

12. Некрасова Н.Н., Рыжова Г.Ф. Влияние янтарной кислоты и пропиленгликоля на углеводный обмен в период суягности овцематок // *Известия Уфимского научного центра РАН*. 2018. № 3. С. 63-66. [Nekrasova NN., Ryzhkova GF. The effect of succinic acid and propylene glycol on carbohydrate metabolism during gestation in ewes. *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2018;3:63-66. (In Russ.). doi: 10.31040/2222-8349-2018-0-3-63-66

13. Перевозчиков А.В., Воробьева С.Л., Березкина Г.Ю. Влияние зерновой патоки в рационах коров на качественные характеристики сырого молока и продуктов его переработки // *Аграрный вестник Урала*. 2019. № 7(186). С. 51-58. [Perevozchikov AV, Vorobieva SL, Berezkina GYu. Influence of grains in cows rings on qualitative characteristics of raw milk and products of its treatment. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019;7(186):51-58. (In Russ.). doi: 10.32417/article_5d52af4470c055.81551465

14. Характер ферментации питательных веществ ячменя при использовании экзоферментов / Ю.А. Сечнев, Е.В. Шейда, О.В. Кван, Я.А. Сизенцов // *Животноводство и кормопроизводство*. 2024. Т. 107. № 2. С. 170-178. [Sechnev YuA, Sheida EV, Kvan OV, Sizensov

YaA. The nature of barley nutrients fermentation using exoenzymes. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(2):170-178. (In Russ.). doi: 10.33284/2658-3135-107-2-170

15. Черепанов Г.Г. Проблемы биологии продуктивных животных с позиций новых информационных технологий: зачем нужен "Зоофизтех" // Проблемы биологии продуктивных животных. 2021. № 4. С. 62-78. [Cherepanov GG. Problems of productive animals biology from the standpoint of new information technologies: why do we need "Zoophystech". *Problems of Productive Animal Biology*. 2021;4:62-78. (In Russ.). doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2021.4.62-78

16. Черепанов Г.Г. Системно-кинетический анализ процессов ферментации крахмала и синтеза микробного белка в рубце: пилотное исследование на модели // Проблемы биологии продуктивных животных. 2025. № 2. С. 54-70. [Cherepanov GG. System-kinetic analysis of starch fermentation and microbial protein synthesis processor in the rumen: pilot study on a model. *Problems of Productive Animal Biology*. 2025;2:54-70. (In Russ.). doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2025.2.54-70

17. Шаабан М. Анализ российского рынка кормовых добавок (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 3. С. 76-91. [Shaaban M. Analysis of the Russian feed additives market (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(3):76-91. (In Russ.). doi: 10.33284/2658-3135-106-3-76

18. Aksenov VV, Politov AA. Technologies of obtaining concentrated molasses from cereal grain raw material. *BIO Web of Conferences*. 2022;48:02008. doi: 10.1051/bioconf/20224802008

19. Oba M, Kammes-Main K. Symposium review: Effects of carbohydrate digestion on feed intake and fuel supply. *J Dairy Sci*. 2023;106(3):2153-2160. doi: 10.3168/jds.2022-22420

20. Oba M. Review: Effects of feeding sugars on productivity of lactating dairy cows. *Can J Anim Sci*. 2011;91(1):37-46. doi: 10.4141/CJAS10069

References

1. Aksenov VV. Biotechnological foundations of deep processing of grain starch-containing raw materials. Edition 2. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing; 2013:168.

2. Aksenov VV, Politov AA. Method for making a feed suspension of long-term storage from grain raw materials. Patent RU 2801747 C1. Date of filing: 2022.12.26. Date of publication: 2023.08.15. Bull. 23:10 p.

3. Akhmetshina LG. From grain to processed products: export potential and prospects. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022;(224):71-86. doi: 10.32417/1997-4868-2022-224-09-71-86

4. Belkov GI. Trends in the development of the grain complex in Russia and the world. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(3):161-168. doi: 10.33284/2658-3135-105-3-161

5. Berezin AS, Lysova EA. Digestibility of feed sugar in the gastrointestinal tract in dairy cows. *Problems of Productive Animal Biology*. 2020;4(99-105). doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2020.4:99-105

6. Bogatyreva EV, Fomenko PA. Biochemical blood status of cows when using beet molasses in the conditions of the Vologda region. *Agricultural Journal*. 2022;4(15):75-83. doi: 10.25930/2687-1254/008.4.15.2022

7. Buryakov NP. The role of by-products of beet sugar production in animal carbohydrate nutrition. *Sugar*. 2023;12:44-51. doi: 10.24412/2413-5518-2023-12-44-51

8. Slozhenkina MI, Gorlov IF, Antipova TA, Kudryashova OV, Vorontsova ES, Brekhova SA, Durduev AK, Slozhenkina AA. Effect of a new prebiotic feed additive based on starch polysaccharide on dairy productivity and quality parameters of the obtained products. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(4):144-155. doi: 10.33284/2658-3135-107-4-144

9. Golovin AV. Effect of percentage of easily digestible carbohydrates in a diet of fresh calved cows on ruminal metabolism and performance. *Dairy and Beef Cattle Farming*. 2018;8:24-27. doi: 10.25632/MMS.2018.60.63.006

10. Sheyda EV, Rakhmatullin ShG, Lebedev SV, Grechkina VV, Zavyalov OA, Frolov AN. Changes in blood parameters of broiler chickens with different nutritional security of the diet. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(4):193-204. doi: 10.33284/2658-3135-104-4-193
11. Nakonechny AA., Dydykina AL., Vyazminov AO. Effect of carbohydrate level in the diets of Kholmogor cows on milk productivity and milk quality. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2023;53(12):89-96. (*In Russ.*) doi: 10.26898/0370-8799-2023-12-10
12. Nekrasova NN, Ryzhkova GF. The effect of succinic acid and propylene glycol on carbohydrate metabolism during gestation in ewes. *Proceedings of the RAS Ufa Scientific Centre*. 2018;3:63-66. doi: 10.31040/2222-8349-2018-0-3-63-66
13. Perevozchikov AV, Vorobieva SL, Berezkina GYu. Influence of grains in cows rations on qualitative characteristics of raw milk and products of its treatment. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019;7(186):51-58. doi: 10.32417/article_5d52af4470c055.81551465
14. Sechnev YuA, Sheida EV, Kvan OV, Sizentsov YaA. The nature of barley nutrients fermentation using exoenzymes. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(2):170-178. doi: 10.33284/2658-3135-107-2-170
15. Cherepanov GG. Problems of productive animals biology from the standpoint of new information technologies: why do we need "Zoophystech". *Problems of Productive Animal Biology*. 2021;4:62-78. doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2021.4.62-78
16. Cherepanov GG. System-kinetic analysis of starch fermentation and microbial protein synthesis processor in the rumen: pilot study on a model. *Problems of Productive Animal Biology*. 2025;2:54-70. doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2025.2.54-70
17. Shaaban M. Analysis of the Russian feed additives market (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(3):76-91. doi: 10.33284/2658-3135-106-3-76
18. Aksenov VV, Politov AA. Technologies of obtaining concentrated molasses from cereal grain raw material. *BIO Web of Conferences*. 2022;48:02008. doi: doi.org/10.1051/bioconf/20224802008
19. Oba M, Kammes-Main K. Symposium review: Effects of carbohydrate digestion on feed intake and fuel supply. *J Dairy Sci*. 2023;106(3):2153-2160. doi: 10.3168/jds.2022-22420
20. Oba M. Review: Effects of feeding sugars on productivity of lactating dairy cows. *Can J Anim Sci*. 2011;91(1):37-46. doi: 10.4141/CJAS10069

Информация об авторах:

Владимир Васильевич Аксенов, кандидат химических наук, старший научный сотрудник, Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Кутателадзе 18, тел.: (383)233-24-10*1153.

Анатолий Александрович Политов, кандидат химических наук, старший научный сотрудник, Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Кутателадзе 18, тел.: (383)233-24-10*1153.

Сергей Владимирович Леонов, старший научный сотрудник, Институт экспериментальной ветеринарии Сибири и Дальнего Востока – научное подразделение Сибирского федерального научного центра агробιοтехнологий Российской академии наук, 630501, Новосибирская область, рабочий поселок Краснообск, ул. Центральная, д. 7, тел.: +7(913)953-73-01.

Вклад авторов: все авторы принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования и подготовке публикации. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Information about the authors:

Vladimir V Aksenov, Cand. Sci. (Chemistry), Senior Researcher, Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kutateladze 18, Novosibirsk, Russia, 630090, tel.: (383)233-24-10*1153.

Anatoly A Politov, Cand. Sci. (Chemistry), Senior Researcher, Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kutateladze 18, Novosibirsk, Russia, 630090, tel.: (383)233-24-10*1153.

Sergey V Leonov, Senior Researcher, Institute of Experimental Veterinary Medicine of Siberia and the Far East – scientific department Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences, 7 Tsentralnaya St., Krasnoobsk work Settlement, Novosibirsk Region, Russia, 630501, tel.: +7(913)953-73-01.

Contribution of the authors: all authors were directly involved in the planning, execution, or analysis of this study and the preparation of the publication. All authors of this article have read and approved the final version.

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 28.11.2025; одобрена после рецензирования 02.03.2026; принята к публикации 16.03.2026.

The article was submitted 28.11.2025; approved after reviewing 02.03.2026; accepted for publication 16.03.2026.