

## Инновационная технология производства флокированных зерен для стартерных и престаартерных комбикормов с использованием очищенного биогаза

В. А. Афанасьев<sup>1</sup>, А. Н. Остриков<sup>1</sup>, А. А. Шевцов<sup>1</sup>, А. В. Терехина<sup>1</sup> , А. И. Александров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия

 E-mail: gorbatova.nastia@yandex.ru

**Аннотация.** Исследована степень клейстеризации крахмала ячменя в зависимости от величины зазора между вальцами. С этой целью образцы ячменя, обработанного паром при атмосферном давлении в течение 10 минут пропускали через плющильный станок, изменяя величину зазора между вальцами. Проведены исследования по выявлению влияния степени клейстеризации крахмала на его переваримость. Результаты опытов показывают, что с уменьшением величины зазора между валками степень клейстеризации увеличивается. Установлено, что для пропаренного ячменя при одних и тех же режимах можно получить различную степень клейстеризации крахмала в зависимости от величины зазора между валками плющильного станка, то есть от толщины хлопьев. Выявлено, что зерно целесообразно увлажнять водой температурой 40–60 °С в течение 1–2 минут до влажности 15–19 %. Продолжительность отволаживания должна составлять для пшеницы, шелушенных ячменя и овса, цельного зерна ячменя и овса 2–4 часа; кукурузы и гороха – 4–6 часов. Установлено, что при обработке зерна паром в течение 5 минут степень денатурации белка составляет 28 %, 10 минут – 47,2 %, 60 минут – 87,7 %. Полученные данные использованы при разработке технологии флокированных зерен для стартерных и престаартерных комбикормов для молодняка сельскохозяйственных животных. Разработана комплексная технология производства стартерных и престаартерных комбикормов на базе предварительно подготовленного зерна производительностью 2 т/ч, основанная на флокировании зерна, т. е. плющении с более длительным пропариванием корма (12–14 минут) при повышенной температуре (до 95 °С), позволяющем повысить усвояемость корма до 85–88 %. Эта технология улучшит доступность крахмала в результате разрыва крахмальных зерен и их желатинизации, улучшит вкусовые качества, поедаемость корма и его переваримость.

**Ключевые слова:** технология, комбикорм, флокирование, плющение, пропаривание, сушка, эффективность.

**Для цитирования:** Афанасьев В. А., Остриков А. Н., Шевцов А. А., Терехина А. В., Александров А. И. Инновационная технология производства флокированных зерен для стартерных и престаартерных комбикормов с использованием очищенного биогаза // Аграрный вестник Урала. 2019. № 8 (187). С. 16–27. DOI:

**Дата поступления статьи:** 27.05.2019.

### Постановка проблемы (Introduction)

При производстве комбикормов для молодняка животных (телят и поросят) с целью повышения питательной ценности и усвояемости производят специальную обработку зерна, применяя такие способы, как флокирование, микронизация, экструдирование. Исследованиями установлено, что применение флокирования (гидротермической обработки зерна с последующим плющением при производстве хлопьев) обеспечивает повышение переваримости крахмала в 1,5–2 раза, снижение доли неперевариваемой клетчатки, инактивацию антипитательных веществ, улучшение переваримости протеина на 15–20 %. Согласно прогнозам, на 2020–2025 годы, объемы производства комбикормов в России будут расти (рис. 1). Использование плющенных зерен, приводящих к улучшению качества комбикормов, является перспективным направлением совершенствования технологий производства комбикормовой продукции [3, 7–10].

В себестоимости комбикормов значительную часть (от 20 до 35 %) составляют энергозатраты. К примеру, при производстве 1 тонны стартерных и престаартерных комбикормов для молодняка сельскохозяйственных животных расходуется от 300 до 500 кВт·ч/т электроэнергии и около

300–400 м<sup>3</sup> технологического пара. Особенно остро эта проблема стоит в глубинных негазифицированных районах страны. Для снижения доли энергозатрат в структуре себестоимости кормов целесообразно предусмотреть автономное энергоснабжение комбикормового производства за счет биотопливных ресурсов. Наиболее эффективным способом решения этой задачи является использование биогаза, полученного из отходов животноводства. По данным Минсельхоза России потенциал производства биогаза в Российской Федерации составляет 2 млрд м<sup>3</sup>/год [1, 2]. К примеру, производство и использование биогаза, получаемого из отходов свинокомплексов (при минимальном количестве голов свинокомплекса, равном 10 000), практически полностью закрывает их энергетические потребности (на базе отходов от одной взрослой свиньи можно выработать 0,35 м<sup>3</sup> биогаза в сутки, или 8,15 МДж энергии).

Процесс анаэробного брожения, наряду с получением биогаза, позволяет переработать отходы животноводческих комплексов в нетоксичные органические удобрения, которые в дальнейшем с успехом могут быть использованы в сельском хозяйстве [4–6].

Технологическая линия разработана по результатам исследований, выполненных в рамках НИР «Адаптация соз-

данных гидротермических технологий и комплекта оборудования для производства комбикормов с использованием биогаза, получаемого при переработке отходов животноводческих комплексов производительностью 2 т/ч».

#### Методология и методы исследований (Methods)

Целью данной работы являлась разработка инновационной технологии производства флокированных зерен для стартерных и престартерных комбикормов для молодняка сельскохозяйственных животных.

Выявлено, что зерно целесообразно увлажнять водой температурой 40–60 °С в течение 1–2 минут до влажности 15–19 % (ячмень, пшеница – 15–17 %; овес – 15–16 %; кукуруза, горох – 17–19 %). Продолжительность отволаживания должна составлять для пшеницы, шелушенных ячменя и овса, цельного зерна ячменя и овса 2–4 часа; кукурузы и гороха – 4–6 часов. Установлено, что при обработке зерна паром в течение 5 минут степень денатурации белка составляет 28 %, 10 минут – 47,2 %, 60 минут – 87,7 %.

Пропаривание увлажненного зерна пшеницы, шелушенных и нешелушенных ячменя и овса осуществляли в пропаривателе лопастного типа до температуры 80–100 °С в следующем диапазоне изменения параметров пара: давление – 0,22–0,32 МПа, температура – 130–140 °С, расход – 120–220 кг/ч (1,320–2,420 кг/кг·мин) в течение 10–20 минут до влажности 19–20 %; кукурузы и гороха – в течение 20–30 минут до влажности 20–21 %. Увлажнение зерна водой и последующее плющение приводит к увеличению степени клейстеризации крахмала до 40–50 %, при пропаривании и плющении степень клейстеризации крахмала возрастает до 60–70 %.

Исследована степень клейстеризации крахмала ячменя в зависимости от величины зазора между вальцами. С этой целью образцы ячменя, обработанного паром при атмосферном давлении в течение 10 минут, пропускали через плющильный станок, изменяя величину зазора между вальцами. Проведены исследования по выявлению влияния степени клейстеризации крахмала на его переваримость. Плющение пропаренного зерна производили на двухвалковой плющилке при скорости вращения валков 11,4 м/с и 7,6 м/с. Плющение пропаренного зерна проводили при зазоре между вальцами 0,5–0,6 мм для пшеницы, шелушенных и нешелушенных ячменя и овса; 0,8–1,0 мм – кукурузы и гороха.

После влаготепловой обработки и плющения хлопья необходимо подвергать сушке с целью снижения влажности:

определены режимы сушки: температура агента – 120–130 °С, продолжительность – 8–9 минут, скорость воздуха – 0,7–0,8 м/с. Охлаждение высушенных хлопьев следует проводить при скорости воздуха 0,7–0,8 м/с в течение 4–5 минут. Изучение влияния пропаривания и плющения на содержание биологически активных веществ показало, что в процессе обработки количество витамина E в кукурузе снижается на 23–28 %, витамина B<sub>2</sub> в ячмене – на 6–10 %. Микробиологические показатели зерна после обработки паром значительно улучшаются, обсемененность зерна микроорганизмами снижается на 95–98 %.

#### Результаты (Results)

Результаты опытов показывают, что с уменьшением величины зазора между вальцами степень клейстеризации увеличивается (таблица 1). В полученных хлопьях степень клейстеризации крахмала составила 29 % при зазоре 0,5 мм и 68 % при зазоре 0,1 мм.

Хлопья, выработанные при величине зазора 0,1–0,5 мм, имели хрупкую структуру вследствие того, что зерно подвергалось очень сильному механическому раздавливанию. В связи с тем, что уменьшение зазора между вальцами приводит к значительному увеличению мощности установки, последующие исследования проводили при зазоре между вальцами 0,2–0,25 мм.

Установлено, что длительность пропаривания и расход пара увеличивают степень клейстеризации крахмала (таблица 2). Пропаривание и плющение оказывают влияние на процесс переваримости крахмала. Меньшей переваримостью обладает крахмал необработанного ячменя (исходный ячмень). В течение 5 часов крахмал данного зерна расщепился с образованием 215 мг/г глюкозы.

При пятичасовом гидролизе крахмала хлопьев, полученных из пропаренного ячменя, образовалось 320–430 мг/г глюкозы. Прослеживается закономерность повышения переваримости крахмала по мере повышения длительности пропаривания ячменя перед его плющением.

В результате оценки влияния степени клейстеризации крахмала на его переваримость получено, что количество образующейся глюкозы при ферментативном гидролизе крахмала за одинаковый промежуток времени в более клейстеризованном зерне больше по сравнению с менее клейстеризованным. По сравнению с исходным ячменем скорость переваримости крахмала хлопьев из пропаренного ячменя с высокой степенью клейстеризации повышается в 2–3,5 раза.

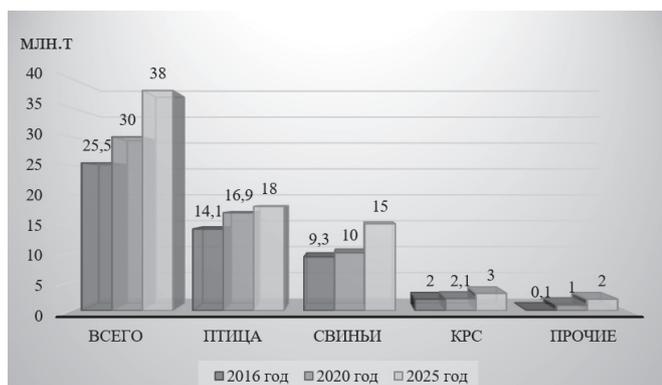


Рис. 1. Объем производства комбикормов в России в 2016–2025 годы

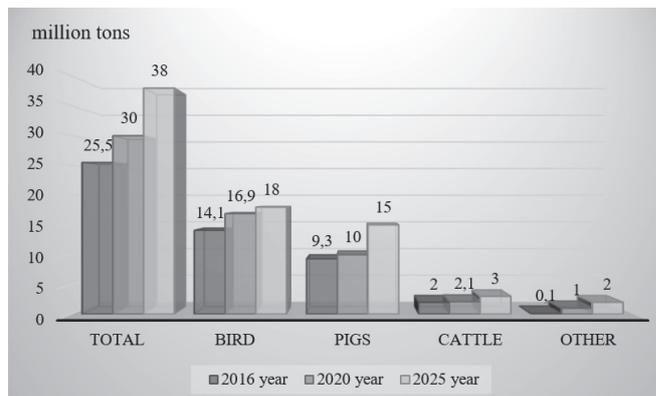


Fig. 1. The volume of production of animal feed in Russia in 2016–2025 years

Таблица 1

**Изменение степени клейстеризации крахмала в зависимости от величины зазора между валками плющильного станка**

Показатели	Зерно после пропаривания	Величина зазора между валками, мм						
		0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1
Степень клейстеризации крахмала, %	12	29	34	40	45	50	65	68

Table 1

**Change in the degree of gelatinization of starch, depending on the size of the gap between the rollers flattening machine**

Indicators	Grainaftersteaming	The size of the gap between the rolls, mm						
		0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1
The degree of gelatinization of starch,%	12	29	34	40	45	50	65	68

Таблица 2

**Изменение степени клейстеризации крахмала ячменя в зависимости от длительности обработки паром и его расхода**

Показатели	Длительность пропаривания, мин.							
	1	3	5	7	10	20	30	60
Расход пара 10 кг/ч								
Степень клейстеризации крахмала, %:								
после пропаривания	–	3	5	8	13	23	38	85
после плющения	35	42	45	48	50	51	55	100
Расход пара 20 кг/ч								
Степень клейстеризации крахмала, %:								
после пропаривания	–	3	5	8	13	25	38	83
после плющения	36	43	47	49	50	58	60	100
Расход пара 30 кг/ч								
Степень клейстеризации крахмала, %:								
после пропаривания	–	3	7	6	12	25	26	85
после плющения	38	45	48	49	53	55	60	100
Расход пара 40 кг/ч								
Степень клейстеризации крахмала, %:								
после пропаривания	–	3	6	8	12	23	40	86
после плющения	40	45	48	49	54	56	60	100
Расход пара 50 кг/ч								
Степень клейстеризации крахмала, %:								
после пропаривания	–	3	5	7	13	24	40	86
после плющения	40	45	48	49	54	56	60	100

Table 2

**Change in the degree of gelatinization of starch of barley, depending on the duration of steam treatment and its consumption**

Indicators	Steamingtime, min							
	1	3	5	7	10	20	30	60
Steamconsumption 10 kg/h								
The degree of gelatinization of starch,%:								
aftersteaming	–	3	5	8	13	23	38	85
afterflattening	35	42	45	48	50	51	55	100
Steamconsumption20 kg/h								
The degree of gelatinization of starch,%:								
aftersteaming	–	3	5	8	13	25	38	83
afterflattening	36	43	47	49	50	58	60	100
Steamconsumption30 kg/h								
The degree of gelatinization of starch,%:								
aftersteaming	–	3	7	6	12	25	26	85
afterflattening	38	45	48	49	53	55	60	100
Steamconsumption40 kg/h								
The degree of gelatinization of starch,%:								
aftersteaming	–	3	6	8	12	23	40	86
afterflattening	40	45	48	49	54	56	60	100
Steamconsumption50 kg / h								
The degree of gelatinization of starch,%:								
aftersteaming	–	3	5	7	13	24	40	86
afterflattening	40	45	48	49	54	56	60	100

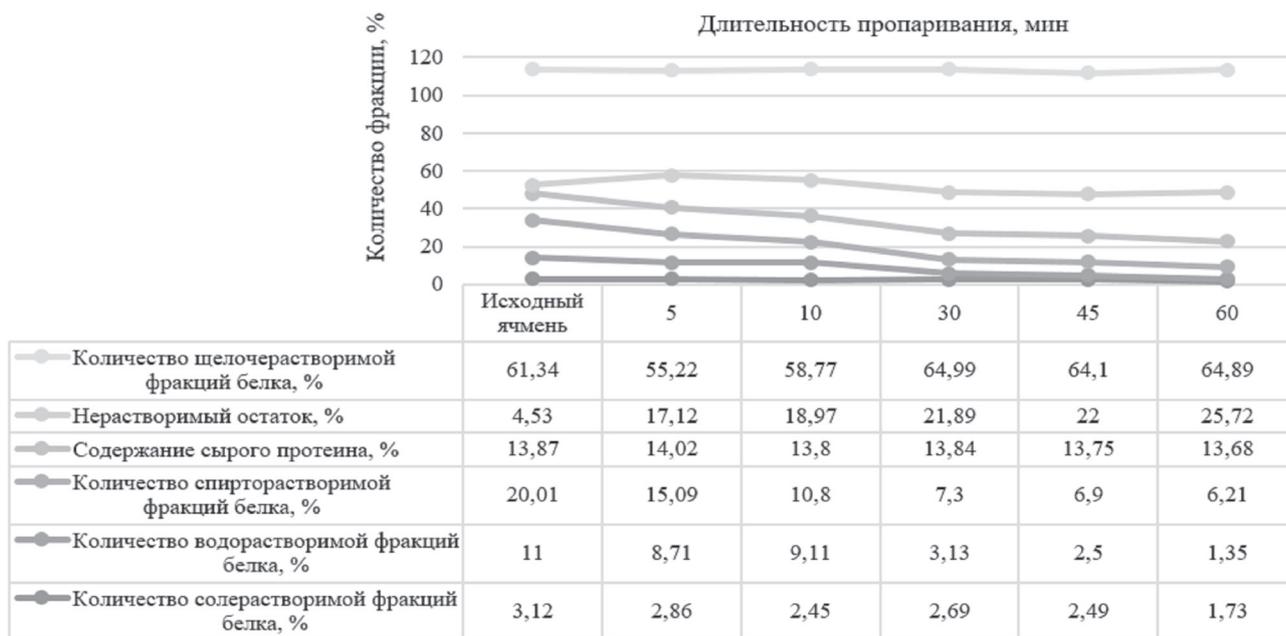


Рис. 2. Зависимость длительности пропаривания ячменя и плющения на содержание и фракционный состав белка

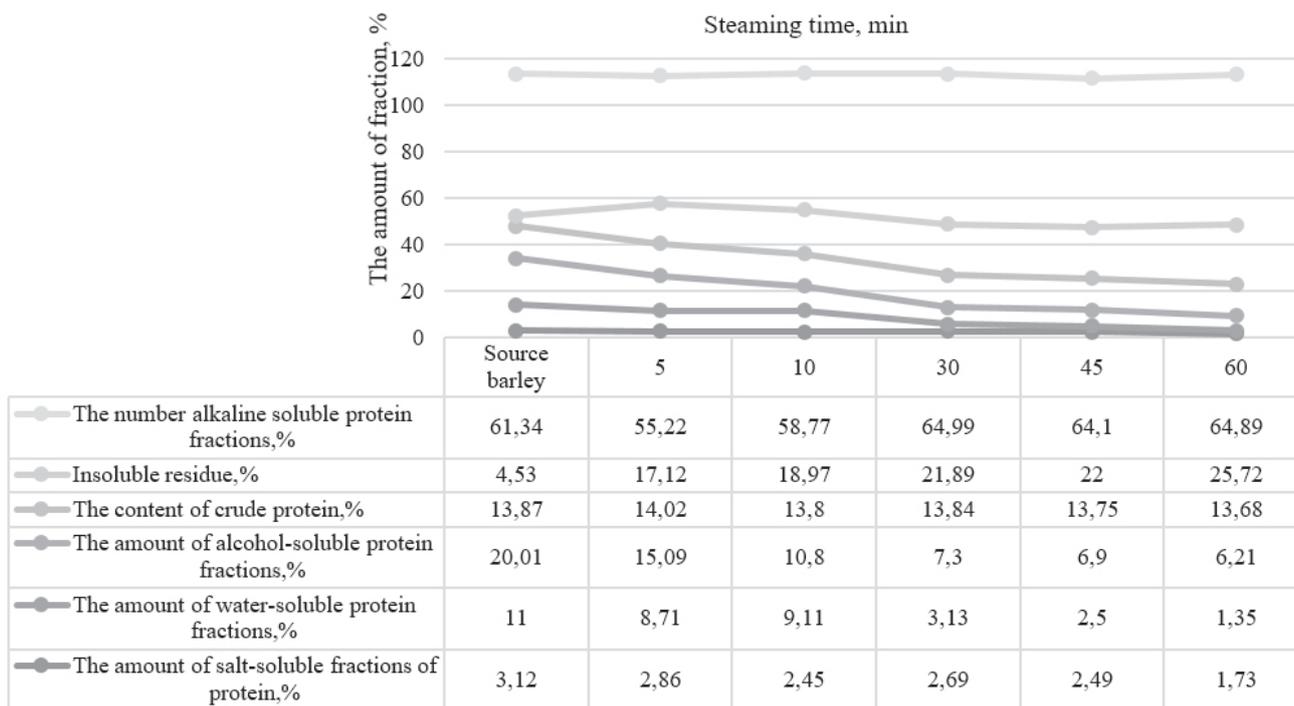


Fig. 2. The dependence of the duration of steaming barley and flattening on the content and fractional composition of the protein

Установлено, что для пропаренного ячменя при одних и тех же режимах можно получить различную степень клейстеризации крахмала в зависимости от величины зазора между валками плющильного станка, то есть от толщины хлопьев. Наилучшие результаты по переваримости достигаются при плющении ячменя на вальцах с зазором 0,1–0,5 мм. С уменьшением зазора между вальцами и уменьшением толщины хлопьев степень клейстеризации крахмала и водопоглотительная способность увеличива-

ются. Изучено влияние пропаривания зерна с последующим плющением на фракционный состав белка (рис. 2).

По результатам исследований можно сделать вывод, что для предотвращения снижения переваримости протеина ячменя длительность пропаривания его при атмосферном давлении не должна превышать 30 минут.

Полученные данные использованы при разработке технологии флокированных зерен для стартерных и преста- ртерных комбикормов для молодняка сельскохозяйственных животных.

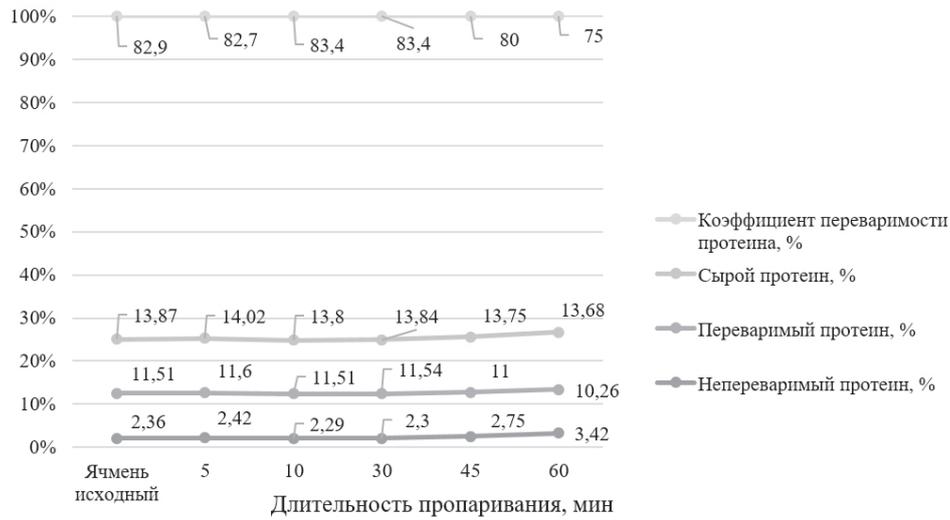


Рис. 3. Зависимость переваримости in vitro протеина ячменя от времени обработки паром

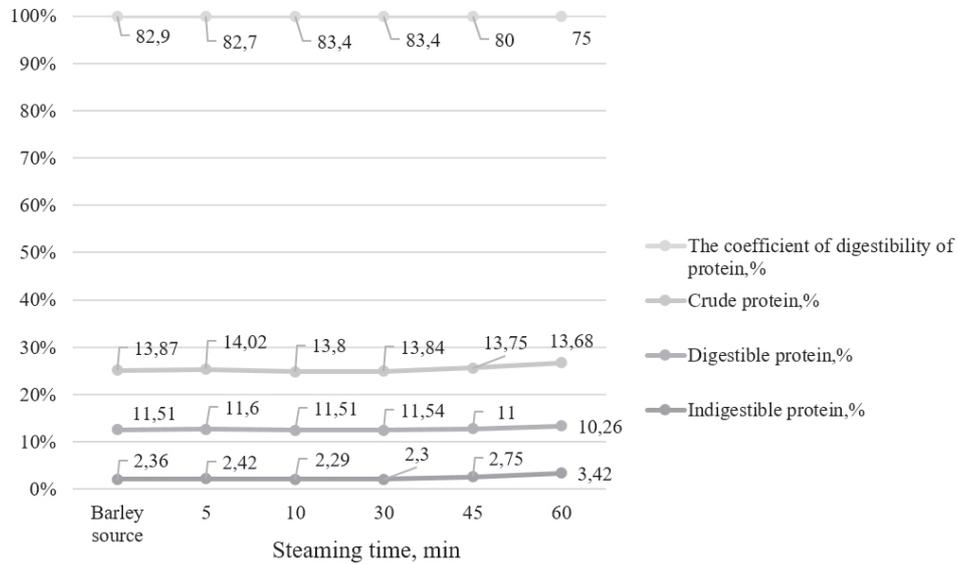


Fig. 3. Dependence of in vitro digestibility of barley protein on the time of steaming

Таблица 3

Схема опыта на телятах в возрасте от 10 до 75 дней

Назначение группы	Поголовье	Условия кормления
Контрольная	26	ОР + КР-1 (содержит 40,0 % ячменя и 11,4 % овса без пленок)
Опытная I	22	ОР + КР-1 (40,0 % ячменя, 11,4 % овса и 5,0 % гороха в виде измельченных хлопьев)
Опытная II	22	ОР + КР-1 (40,0 % ячменя, 11,4 % овса и 5,0 % гороха в виде неизмельченных хлопьев)
Опытная III	25	ОР + КР-1 (40,0 % ячменя, 14,0 % овса и 10,0 % гороха в виде неизмельченных хлопьев без сахара и с пониженным содержанием сухого молока)
Опытная IV	21	ОР + КР-1 (45,0 % ячменя, 7,5 % овса и 17,9 % гороха в виде неизмельченных хлопьев, без сахара и сухого молока)

Table 3

Scheme of experience on calves aged 10 to 75 days

Group assignment	Livestock	Feeding conditions
Control	26	OR + KR-1 (contains 40.0 % barley and 11.4 % oats without films)
Experienced I	22	OR + KR-1 (40.0 % barley, 11.4 % oat, and 5.0 % pea in the form of crushed flakes)
Experienced II	22	OR + KR-1 (40.0 % barley, 11.4 % oats and 5.0 % peas in the form of unground flakes)
Experienced III	25	OR + KR-1 (40.0 % barley, 14.0 % oats and 10.0 % peas in the form of uncrushed flakes without sugar and with a reduced content of dry milk)
Experienced IV	21	OR + KR-1 (45.0 % barley, 7.5 % oats, and 17.9 % peas in the form of un-ground flakes, without sugar and powdered milk)

Таблица 4  
Рецепты стартерных комбикормов для телят в возрасте 10–75 дней

Компоненты	Состав комбикорма КР-1, %				
	Контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Ячмень без пленок	40,0	–	–	–	–
Овес без пленок	11,4	–	–	–	–
Ячменные хлопья измельченные	–	40,0	–	–	–
Овсяные хлопья измельченные	–	11,4	–	–	–
Ячменные хлопья неизмельченные	–	–	40,0	40,0	45,0
Овсяные хлопья неизмельченные	–	–	11,4	14,0	7,5
Гороховые хлопья измельченные	–	5,0	–	–	–
Гороховые хлопья неизмельченные	–	–	5,0	10,0	17,9
Шрот соевый	13,9	8,9	8,9	13,9	16,5
Дрожжи кормовые	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Сухое молоко	18,0	18,0	18,0	9,0	–
Травяная мука	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Сахар	4,0	4,0	4,0	–	–
Фосфат	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Соль	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Мел	1,3	1,3	1,3	1,7	1,7
Премикс КР-2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
<i>Показатели качества</i>					
Кормовые единицы в 100кг	130,0	128,0	128,1	126,0	124,6
Обменная энергия, в 1 кг МДж	11,69	11,69	11,68	11,35	11,12
Сырой протейн, %	21,09	20,33	20,33	20,52	20,06
Сырая клетчатка, %	3,42	3,34	3,34	4,09	4,50
Лизин, %	1,32	1,26	1,26	1,22	1,15
Метионин + цистин, %	0,66	0,62	0,62	0,62	0,58
Жир, %	2,21	2,24	2,24	2,43	2,37
Кальций, %	1,11	1,10	1,10	1,15	1,05
Фосфор, %	0,65	0,64	0,64	0,61	0,57
Натрий, %	0,32	0,34	0,34	0,30	0,24

Table 4  
Recipes starter feed for calves aged 10–75 days

Components	The composition of the feed KR-1, %				
	Control	I experienced	II experienced	III experienced	IV experienced
Barley without films	40,0	–	–	–	–
Oats without films	11,4	–	–	–	–
Shredded barley flakes	–	40,0	–	–	–
Chopped oat flakes	–	11,4	–	–	–
Unground barley flakes	–	–	40,0	40,0	45,0
Unground oat meal	–	–	11,4	14,0	7,5
Pea flakes shredded	–	5,0	–	–	–
Pea flakes unground	–	–	5,0	10,0	17,9
Soybean meal	13,9	8,9	8,9	13,9	16,5
Nutrient yeast	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Powdered milk	18,0	18,0	18,0	9,0	–
Grass meal	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Sugar	4,0	4,0	4,0	–	–
Phosphate	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Salt	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Chalk	1,3	1,3	1,3	1,7	1,7
Premix KR-2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
<i>Quality indicators</i>					
100 kg feed units	130,0	128,0	128,1	126,0	124,6
Exchange energy in 1 kg MJ	11,69	11,69	11,68	11,35	11,12
Crude protein, %	21,09	20,33	20,33	20,52	20,06
Crude fiber, %	3,42	3,34	3,34	4,09	4,50
Lysine, %	1,32	1,26	1,26	1,22	1,15
Methionine + cystine, %	0,66	0,62	0,62	0,62	0,58
Fat, %	2,21	2,24	2,24	2,43	2,37
Calcium, %	1,11	1,10	1,10	1,15	1,05
Phosphorus, %	0,65	0,64	0,64	0,61	0,57
Sodium, %	0,32	0,34	0,34	0,30	0,24

Таблица 5

## Рационы телят за период опыта по фактически потребленным кормам

Показатели	Группы				
	Контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
Комбикорм КР-1 (контрольная)	1,1	–	–	–	–
Комбикорм КР-1 (I опытная)	–	1,1	–	–	–
Комбикорм КР-1 (II опытная)	–	–	1,1	–	–
Комбикорм КР-1 (III опытная)	–	–	–	1,1	–
Комбикорм КР-1 (IV опытная)	–	–	–	–	1,1
ЗЦМ	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Сено люцерновое	1,2	1,1	1,2	1,3	1,2
<i>В рационе содержится:</i>					
кормовых единиц	2,76	2,56	2,60	2,63	2,56
сухого вещества, кг	2,2	2,2	2,2	2,3	2,2
сырого протеина, г	484,0	461,2	475,6	492,1	472,7
переваримого протеина, г	392,7	380,6	390,7	408,0	393,2
сырой клетчатки, г	397,0	315,0	340,3	373,9	353,0
сырого жира, г	133,2	131,3	133,5	137,8	135,0
кальция, г	34,9	34,8	36,5	38,8	36,0
фосфора, г	13,0	12,7	12,9	12,8	12,1

Table 5

## Calves rations for the period of experience on actually consumed feed

Indicators	Groups				
	Control	I experienced	II experienced	III experienced	IV experienced
Compound feed KR-1 (control)	1,1	–	–	–	–
Compound feed KR-1 (I experienced)	–	1,1	–	–	–
Compound feed KR-1 (II experienced)	–	–	1,1	–	–
Compound feed KR-1 (III experienced)	–	–	–	1,1	–
Compound feed KR-1 (IV experienced)	–	–	–	–	1,1
ZCM	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Alfalfa hay	1,2	1,1	1,2	1,3	1,2
<i>The diet contains:</i>					
feed units	2,76	2,56	2,60	2,63	2,56
dry matter, kg	2,2	2,2	2,2	2,3	2,2
crude protein, g	484,0	461,2	475,6	492,1	472,7
digestible protein, g	392,7	380,6	390,7	408,0	393,2
crude fiber, g	397,0	315,0	340,3	373,9	353,0
raw fat, g	133,2	131,3	133,5	137,8	135,0
calcium, g	34,9	34,8	36,5	38,8	36,0
phosphorus, g	13,0	12,7	12,9	12,8	12,1

Установлено влияние продолжительности нагрева при пропаривании и плющении ячменя на изменение белково-го комплекса (рис. 3).

На предлагаемой линии вырабатывают хлопья из цельного зерна, например ячменя, пшеницы, кукурузы, шелушенного ячменя и бобовых культур. Зерновые хлопья используются при производстве полнорационных комбикормов для молодняка свиней (поросят в возрасте от 10 до 60 дней), комбикормов-концентратов для поросят в возрасте до 4 месяцев, телят в возрасте до 115 дней и молодняка других сельскохозяйственных животных. Зерно перед подачей на линию плющения должно обязательно пройти очистку от сорных, минеральных и металломагнитных примесей. При выработке хлопьев из шелушенно-

го зерна ячменя и овса перед подачей на линию плющения осуществляется снятие пленки с зерна этих культур и отделение лузги одним из существующих способов: способом измельчения с последующим просеиванием и отвеиванием пленок из сходовых фракций или способом шелушения на специальных машинах с отделением пленок. Шелушенный ячмень и овес должны удовлетворять требованиям нормативной документации на данные виды продукции, ОСТ 00932117-001-95 «Ячмень кормовой шелушенный. Технические условия» и ОСТ 00932117-004-96 «Овес кормовой шелушенный. Технические условия». В основном продукте шелушения ячменя допускается содержание сырой клетчатки не более 3,5 %, овса – не более 5,3 %.

Технологическая схема линии производства флокированных зерен для стартерных и престартерных комбикормов для молодняка сельскохозяйственных животных производительностью 2 т/ч (рис. 4) включает следующие технологические операции: контроль заданной производительности по исходному продукту посредством питателя 2, установленного на выходе из приемного бункера 1; очистка зерна от метало-магнитных примесей в магнитном сепараторе 3; увлажнение зерна в увлажнительной машине 4; равномерное распределение влажности по всему объему подаваемого зерна в отволаживателе 5; пропаривание зерна в аппарате для влаготепловой обработки 6; получение зерновых хлопьев в плющильной машине 7; сушка плющенных хлопьев и их охлаждение в сушилке-охладителе 8; хранение обработанного зерна в бункере 9; очистка исходного биогаза от сероводорода в колонке 10; охлаждение очищенного от сероводорода биогаза в холодильнике 11; очистка от  $H_2O$  в колонке 12; нагнетание очищенного биогаза в парогенератор 15; получение сушильного агента в теплообменнике 16 за счет теплоты продуктов сгорания в парогенераторе 15.

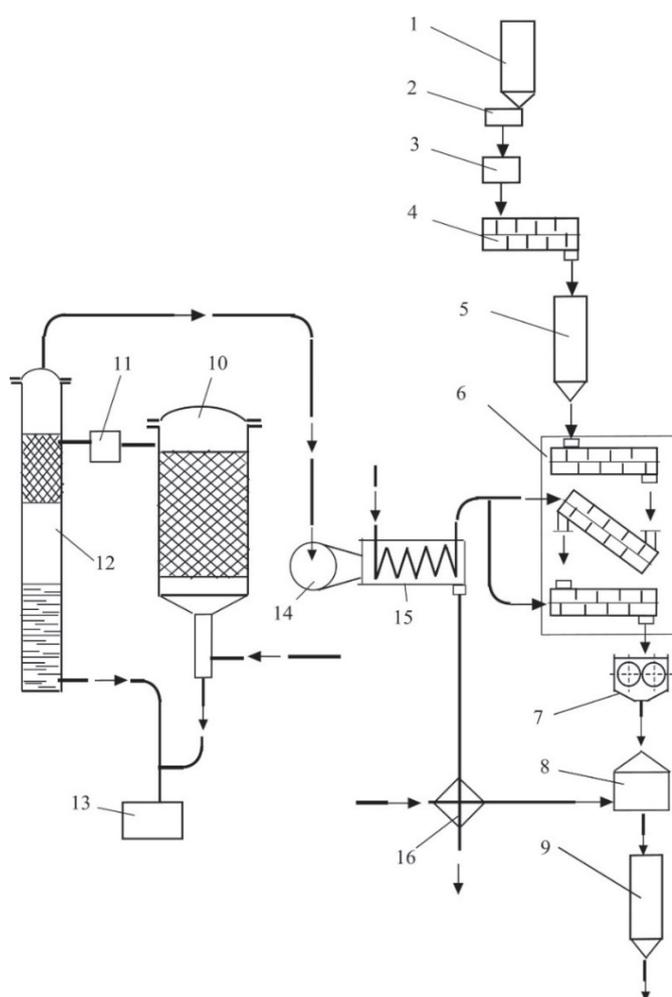


Рис. 4. Технологическая схема линии производства флокированных зерен для стартерных и престартерных комбикормов для молодняка сельскохозяйственных животных  
Fig. 4. Technological scheme of the production line of flocked grains for starter and prestarter feed for young farm animals

Исходное зерно накапливается в производственном бункере 1. В зависимости от производительности линии питателем 2 через магнитный сепаратор 3 зерно подается в увлажнительную машину 4 до достижения влажности 23–35 %. Увлажненное зерно выдерживают в отволаживателе 5, для равномерного распределения влажности по всему объему зерновой массы.

В аппарате для влаготепловой обработки 6 осуществляют пропаривание зерна в течение 12–14 минут при повышенной температуре (до 95 °С), позволяющей повысить усвояемость корма до 85–88 %. Пропаренное зерно предварительно подогревают в течение 3–5 минут, пропускают через вальцы плющильной машины 10 с зазором между вальцами 0,4–0,55 мм и получают зерновые хлопья.

В сушилке-охладителе 8 осуществляют сушку зерновых хлопьев при температуре 80–90 °С и скорости сушильного агента 0,4–0,7 м/с при снижении влажности до 8–9 %. В зоне охлаждения сушилки-охладителя снижают температуру высушенных плющенных зерен до температуры окружающей среды атмосферным воздухом. Обработанное зерно отводят в бункер 9.

На основе проведенных исследований определены рациональные способы очистки биогаза, подаваемого на горелки парогенератора следующего научно обоснованного состава: метана до 60 %,  $H_2S$  – до 20 мг/м<sup>3</sup>, паров  $H_2O$  не более 9 мг/м<sup>3</sup>,  $CO_2$  – до 36 %.

Исходный биогаз подается в колонку очистки от сероводорода 10, очищенный от сероводорода газ охлаждается в холодильнике 11, после чего в колонке очистки от  $H_2O$  12 с помощью вентилятора 14 подается в топку парогенератора 15.

В парогенераторе 15 посредством рекуперативного теплообмена между продуктами сгорания биогаза и водой осуществляют подготовку пара для пропаривания в аппарате для влаготепловой обработки и нагревания сушильного агента (воздуха) в теплообменнике 16 для сушки плющеного зерна в сушилке-охладителе с последующим его охлаждением до температуры окружающей среды. Конденсат, образовавшийся в колонках очистки от  $H_2S$  и  $H_2O$ , отводится в сборник конденсата 13.

Для определения эффективности использования флокированных зерен в составе стартерных комбикормов проведены исследования на телятах в возрасте от 10 до 75 дней (таблица 3). Выработаны опытные партии стартерных комбикормов (таблица 4)

Контрольная партия комбикорма содержала измельченные ячмень и овес без пленок, а также горох. Во II, III, и IV опытных партиях зерновая часть была представлена в виде неизмельченных хлопьев шелушенного овса, ячменя и гороха. В партиях комбикормов для контрольной, I и II опытных групп телят содержание сухого молока составляло 18,0 %, сахара – 4,0 %.

Комбикорм для III опытной группы вырабатывали без сахара и с пониженным содержанием сухого молока, для IV опытной группы – без сахара и сухого молока, но с повышенным содержанием хлопьев гороха и с некоторым измененным содержанием остальных зерновых компонентов и соевого шрота (рис. 5).

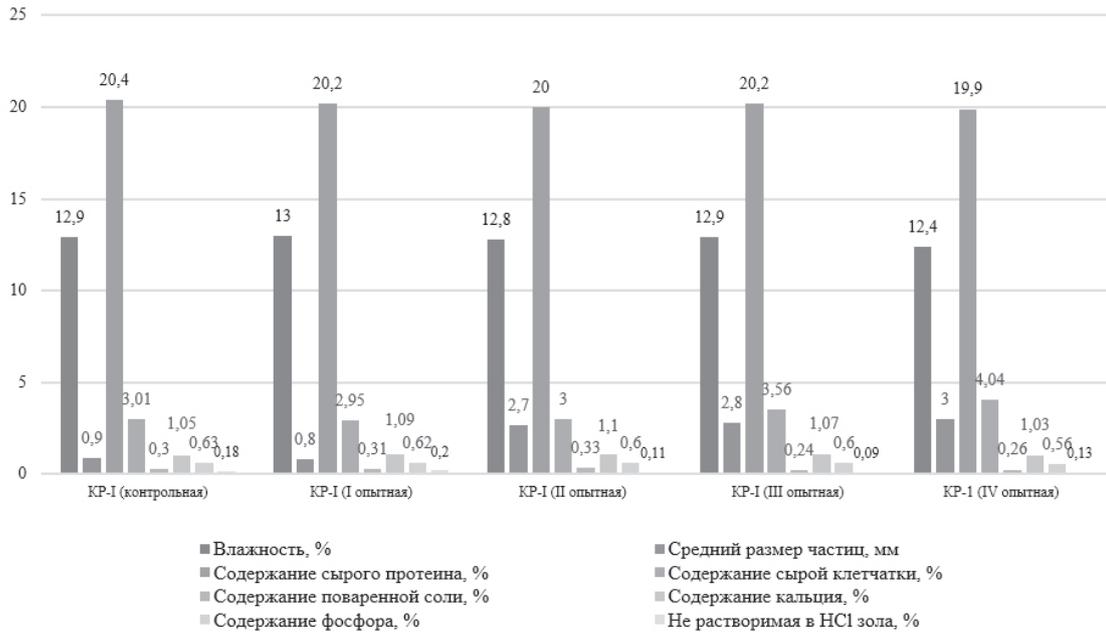


Рис. 5. Качество стартерных комбикормов для телят

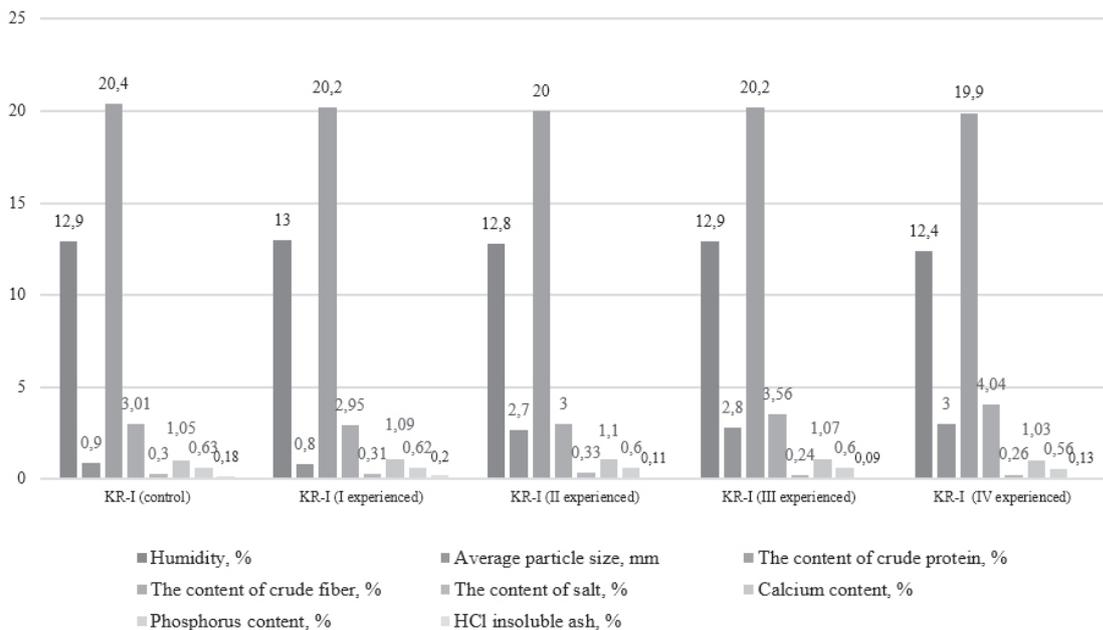


Fig. 5. Quality starter feed for calves

Подопытные телята поедали практически равное количество всех видов кормов рациона (таблица 5). Скармливание неизмельченных хлопьев в составе комбикормов не повлияло на их поедаемость. Не установлено существенных различий по содержанию в рационах питательных веществ.

Анализ данных таблицы 6 показал, что использование в стартерных комбикормах для телят хлопьев овса, ячменя и гороха взамен измельченного зерна позволит повысить прирост живой массы с 745,2 г в контроле до 819,4 г и 810,0 г соответственно в I и II опытных группах телят.

В целом за учетный период не установлено достоверных различий по приросту живой массы между телятами, получавшими измельченные (819,4 г) и неизмельченные (810,0 г) хлопья зерна.

На эффективность использования неизмельченных хлопьев оказывает влияние возраст животных. В более раннем возрасте (42 дня опыта) среднесуточный прирост живой массы выше у телят, получавших измельченные хлопья (на 42,8 г, или 5,4 %), а в последние 20 дней среднесуточный прирост выше у животных, получавших неизмельченные хлопья (930 г, или 6,9 %) выше.

Экспериментальные данные доказывают возможность как частичной, так и полной замены сахара и сухого молока в стартерных комбикормах для телят на неизмельченные хлопья гороха, ячменя и соевый шрот. Суточный прирост живой массы у телят III и IV опытных групп в целом за период опыта составил 814,5 и 859,7 г, что на 9,3–15,4 % выше, чем в контроле.

Динамика живой массы и прирост подопытных телят

Показатели	Группа				
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная	IV опытная
<i>Живая масса, кг</i>					
при постановке на опыт	56	62	53,9	65,6	64,3
через 42 дня опыта	86,3	95,4	85,5	97,2	98,0
при снятии с опыта	102,2	112,8	104,1	116,1	117,6
<i>Валовый прирост 1 гол., кг</i>					
через 42 дня опыта	30,4	33,4	31,6	31,6	33,7
через 20 дней опыта	15,9	17,4	18,6	18,9	19,6
за период опыта	46,2	50,8	50,2	50,5	53,3
<i>Среднесуточный прирост, г</i>					
через 42 дня опыта	721,4	795,2	752,2	752,4	808,4
через 20 дней опыта	795,0	870,0	930,0	945,0	980,0
за период опыта	745,2	819,4	810,0	814,5	859,7

Table 6

Dynamics of body weight and growth of experimental calves

Indicators	Groups				
	control	I experienced	II experienced	III experienced	IV experienced
<i>Liveweight, kg</i>					
at statement on experience	56	62	53,9	65,6	64,3
after 42 days of experience	86,3	95,4	85,5	97,2	98,0
when withdrawing from experience	102,2	112,8	104,1	116,1	117,6
<i>Gross gain 1 goal., kg</i>					
after 42 days of experience	30,4	33,4	31,6	31,6	33,7
after 20 days of experience	15,9	17,4	18,6	18,9	19,6
for the period of experience	46,2	50,8	50,2	50,5	53,3
<i>Averagedaily gain, g</i>					
after 42 days of experience	721,4	795,2	752,2	752,4	808,4
after 20 days of experience	795,0	870,0	930,0	945,0	980,0
for the period of experience	745,2	819,4	810,0	814,5	859,7

### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Разработана и адаптирована к работе на биогазе, полученном при переработке отходов животноводческих комплексов, комплексная технология производства стартерных и престаартерных комбикормов, основанная на плющении с более длительным пропариванием корма (12–14 минут) при повышенной температуре (до 95 °С), позволяющим повысить усвояемость корма до 85–88 % и повысить доступность крахмала в результате разрыва крахмальных зерен и их желатинизации, улучшить вкусовые качества, поедаемость корма и его переваримость. Данная технология способствует росту привесов, сокра-

щению сроков откорма и снижению конверсии корма. Ее положительное влияние проявляется в повышении переваримости крахмала, изменении белкового комплекса зерна, инактивации ингибиторов пищеварительного тракта, пастеризации (уровень грибной флоры снижается на 99,5 %, бактериальной – на 99,9 %), образовании ароматических веществ, улучшающих вкусовые качества зерна. Комплексная технология производства стартерных и престаартерных комбикормов на базе зерна позволит обеспечить автономное энергоресурсов для производства комбикормов за счет биотопливных ресурсов и решить экологическую проблему хранения и переработки отходов животноводческих комплексов.

### Библиографический список

1. Meyer A. K. P. [et al.] Bioenergy production from roadside grass: A case study of the feasibility of using roadside grass for biogas production in Denmark // Resources, Conservation and Recycling. 2014. No. 93. Pp. 124–133.
2. Вандышева М. С., Мартынычев А. В., Оболенский Н. В. Способ получения биогаза и удобрения // Карельский научный журнал. 2015. № 1. С. 157–159.
3. Василенко В. Н., Фролова Л. Н., Терехина А. В., Драган И. В., Михайлова Н. А., Матеев Е. З. Переработка сафлорового жмыха с целью получения корма для КРС // Кормопроизводство. 2018. № 3. С. 41–48.
4. Зарипов Ш. С. Биогаз как альтернативный источник энергии для республики Таджикистан // Введение в энергетику: сборник материалов II Всероссийской (с международным участием) молодежной научно-практической конференции. 2016. С. 61.
5. Зебзеев Г. З. Биогаз как возобновляемый энергоресурс агропромышленных технологий // Наука. Технологии. Инновации: сборник научных трудов: в 10 ч. 2017. С. 203–206.
6. Монах С. И., Панченко Л. Ю., Цхведиани А. И. Способы очистки и обогащения газа, полученного в биогазовой установке // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2017. № 5 (127). С. 115–122.
7. Сыроватка В. И. Инновационные технологии производства комбикормов // Вестник ВНИИМЖ. 2014. № 2 (14). С. 35–49.

8. Селезнева Т. В. Повышение продуктивных и воспроизводительных качеств крупного рогатого скота при использовании престартерных и стартерных комбикормов: дис. ... канд. с.-х. наук. Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2016. 140 с.

9. Селезнева Н. В., Ижболдина С. Н. Использование престартерных и стартерных комбикормов при выращивании молодняка крупного рогатого скота // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2016. № 9. С. 17–24.

10. Остриков А. Н., Афанасьев В. А., Мануйлов В. В. Разработка технологии зерновых хлопьев для комбикормов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2017. Т. 79. № 1 (71). С. 15–21.

#### Об авторах:

Валерий Андреевич Афанасьев<sup>1</sup>, доктор технических наук, профессор

Александр Николаевич Остриков<sup>1</sup>, доктор технических наук, профессор

Александр Анатольевич Шевцов<sup>1</sup>, доктор технических наук, профессор

Анастасия Викторовна Терехина<sup>1</sup>, кандидат технических наук, доцент, [gorbatova.nastia@yandex.ru](mailto:gorbatova.nastia@yandex.ru)

Алексей Ильич Александров<sup>1</sup>, соискатель

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия

## Innovative technology of production of floked grains for starter and prestarter food with the use of purified biogas

V. A. Afanasiev<sup>1</sup>, A. N. Ostrikov<sup>1</sup>, A. A. Shevtsov<sup>1</sup>, A. V. Terekhina<sup>1</sup>✉, A. I. Aleksandrov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia

✉ E-mail: [gorbatova.nastia@yandex.ru](mailto:gorbatova.nastia@yandex.ru)

**Abstract.** The degree of gelatinization of barley starch was investigated depending on the size of the gap between the rollers. To this end, barley samples treated with steam at atmospheric pressure for 10 minutes, passed through a flattening machine, changing the size of the gap between the rollers. Studies have been conducted to identify the effect of the degree of gelatinization of starch on its digestibility. The results of the experiments show that with a decrease in the size of the gap between the rollers, the degree of gelatinization increases. It has been established that for steamed barley under the same conditions, it is possible to obtain different degrees of gelatinization of starch depending on the size of the gap between the rollers of the flattening machine, that is, on the thickness of the flakes. It is revealed that it is advisable to moisten the grain with water at a temperature of 40–60 °C for 1–2 minutes to a moisture content of 15–19 %. Duration of peeling should be for wheat, flaked barley and oats, whole grains of barley and oats – 2–4 hours; corn and peas – 4–6 hours. It was established that during the processing of grain with steam for 5 minutes, the degree of protein denaturation is 28 %, 10 minutes – 47.2 %, 60 minutes – 87.7 %. The obtained data were used to develop the technology of floked grains for starter and prestarter feed for young farm animals. An integrated technology for the production of starter and pre-starter feed based on pre-prepared grain with a capacity of 2 t/h, based on flocking of grain, i.e. flattening with a longer steaming of the feed (12–14 minutes) at elevated temperature (up to 95 °C), allowing to increase the digestibility of the feed to 85–88 %. This technology will improve the availability of starch as a result of breaking starch grains and their gelatinization, improve taste, palatability and digestibility of the feed.

**Keywords:** technology, biogas, purification, animal feed, flocking, flattening, steaming, drying, efficiency.

**For citation:** Afanasiev V. A., Ostrikov A. N., Shevtsov A. A., Terekhina A. V., Aleksandrov A. I. Innovatsionnaya tekhnologiya proizvodstva flokirovannykh zeren dlya starternykh i prestarternykh kombikormov s ispol'zovaniyem ochishchennogo biogaza [Innovative technology of production of floked grains for starter and prestarter food with the use of purified biogas] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2019. No. 8 (187). Pp. 16–27. DOI: ... (In Russian.)

#### References

1. Meyer A. K. P. [et al.] Bioenergy production from roadside grass: A case study of the feasibility of using roadside grass for biogas production in Denmark // Resources, Conservation and Recycling. 2014. No. 93. Pp. 124–133.
2. Vandysheva M. S., Martyaniychev A. V., Obolensky N. V. Sposob polucheniya biogaza i udobreniya [Method for biogas and fertilizer production] // Karelskiy nauchnyy zhurnal. 2015. No. 1. Pp. 157–159. (In Russian.)
3. Vasilenko V. N., Frolova L. N., Terekhina A. V., Dragan I. V., Mikhailova N. A., Mateev E. Z. Pererabotka safflorovogo zhykha s tsel'yu polucheniya korma dlya KRS [Processing safflower cake in order to obtain feed for cattle] // Fodder production. 2018. No. 3. Pp. 41–48. (In Russian.)

4. Zaripov S. S. Biogaz kak al'ternativnyy istochnik energii dlya respubliki Tadjikistan [Biogas as an alternative source of energy for the Republic of Tajikistan] / Vvedeniye v energetiku: sbornik materialov II Vserossiyskoy (s mezhdunarodnym uchastiyem) molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2016. P. 61. (In Russian.)

5. Zebzeev G. Z. Biogaz kak vozobnovlyayemyy energoresurs agropromyshlennykh tekhnologiy [Biogas as a renewable energy source of agro-industrial technologies] / Nauka. Tekhnologii. Innovatsii: sbornik nauchnykh trudov: v 10 ch. 2017. Pp. 203–206. (In Russian.)

6. Monakh S. I., Panchenko L. Yu., Tskhvediani A. I. Sposoby ochistki i obogashcheniya gaza, poluchennogo v biogazovoy ustanovke [Ways of cleaning and enrichment of gas produced in a biogas plant] // Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. 2017. No. 5 (127). Pp. 115–122. (In Russian.)

7. Syrovatka V. I. Innovatsionnyye tekhnologii proizvodstva kombikormov [Innovative technologies for the production of animal feed] // Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva. 2014. No. 2 (14). Pp. 35–49. (In Russian.)

8. Selezneva T. V. Povysheniye produktivnykh i vosproizvoditel'nykh kachestv krupnogo rogatogo skota pri ispol'zovanii prestarternykh i starternykh kombikormov: dissertatsiya ... kandidata sel'skokhozyaystvennykh nauk [Increasing the productive and reproductive qualities of cattle when using prestarter and starter compound feeds: a dissertation ... candidate of agricultural sciences]. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2016. 140 p. (In Russian.)

9. Selezneva N. V., Izhboldina S. N. Ispol'zovaniye prestarternykh i starternykh kombikormov pri vyrashchivanii molodnyaka krupnogo rogatogo skota [The use of prestarter and starter feeds for raising young cattle] // Feeding of agricultural animals and feed production. 2016. No. 9. Pp. 17–24. (In Russian.)

10. Ostrikov A. N., Afanasyev V. A., Manuilov V. V. Razrabotka tekhnologii zernovykh khlop'yev dlya kombikormov [Development of cereal flakes technology for animal feed] // Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2017. T. 79. No. 1 (71). Pp. 15–21. (In Russian.)

#### **Authors' information:**

Valeriy A. Afanasiev<sup>1</sup>, doctor of technical sciences, professor

Aleksandr N. Ostrikov<sup>1</sup>, doctor of technical sciences, professor

Aleksandr A. Shevtsov<sup>1</sup>, doctor of technical sciences, professor

Anastasiya V. Terekhina<sup>1</sup>, candidate of technical sciences, associate professor, [gorbatova.nastia@yandex.ru](mailto:gorbatova.nastia@yandex.ru)

Aleksey I. Aleksandrov<sup>1</sup>, applicant

<sup>1</sup> Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia