

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ, АГРОХИМИИ, СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕHOBOДСТВЕ

RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES IN AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, BREEDING AND SEED PRODUCTION

УДК 664.727.085

DOI:10-31677/2311-0651-2020-27-1-79-87

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СУХОГО КОРМОВОГО КОНЦЕНТРАТА ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

С. К. Волончук, кандидат технических наук

И. В. Науменко, кандидат сельскохозяйственных наук

А. И. Резепин, научный сотрудник

Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий РАН

E-mail: u_sekretar_ip@ngs.ru

Ключевые слова: технология, инфракрасное излучение (ИК), сыворотка, отруби, зерно пшеницы, ферменты, патока, концентрат, сахар, белок.

Реферат. Представлены результаты исследований по обоснованию технологии получения кормового концентрата для сельскохозяйственных животных. Установлено, что использование подсырной сыворотки в процессе получения кормовой патоки способствует повышению в ней содержания сахаров по сравнению с патокой, полученной на основе подкисленной воды по используемой в настоящее время технологии, но увеличивает продолжительность процесса и затраты электроэнергии. В ней ниже влажность из-за наличия в сыворотке сухих веществ. Длительность процесса получения патоки на основе воды меньше за счет того, что доступность реакционной смеси выше, чем при получении патоки на основе сыворотки. Для получения концентрата использовали патоку с большим содержанием сахаров. Её смешивали с отрубями в определенных соотношениях: 1,5:1,0; 2,0:1,0; 2,5:1,0, которым соответствует влажность 40, 50, 60%. Варианты композита сушили при плотностях потока ИК-излучения 15, 17,5, 20 кВт/м². Установлена зависимость содержания сахаров в композите от его влажности и плотности потока ИК-излучения. Определены показатели кормовой ценности полученного продукта. Разработана блок-схема получения кормового концентрата.

JUSTIFICATION OF TECHNOLOGY FOR OBTAINING DRY FEED CONCENTRATE FOR FARM ANIMALS

S. K. Volonchuk, Candidate of Technical Sciences

I. V. Naumenko, Candidate of Agricultural Sciences

A. I. Rezepin, Researcher

Siberian Federal Scientific Centre of AgroBioTechnologies of the RAS

Key words: technology, infrared radiation (IR), serum, bran, wheat grain, enzymes, molasses, concentrate, sugar, protein.

Abstract. The results of research on the justification of technology for obtaining feed concentrate for farm animals are presented. It was found that the use of subsurface whey in the process of obtaining feed molasses contributes to an increase in its sugar content in comparison with molasses obtained from acidified water according to the currently used technology, but increases the duration of the process and the cost of electricity. It has lower humidity due to the presence of dry matter in the serum. The duration of the process of obtaining molasses based on water is less due to the fact that the availability of the reaction mixture is higher than when obtaining molasses based on serum. Molasses with a high sugar content was used to produce the concentrate. It was mixed with bran in certain proportions: 1,5:1,0; 2,0:1,0; 2,5:1,0, which corresponds to the humidity of 40, 50, 60%. Composite variants were dried at IR-radiation flux densities of 15, 17.5, 20 kW / m². The dependence of the sugar content in the composite on its humidity and the density of the IR-radiation flux is established. Indicators of the feed value of the received product are determined. A flowchart for obtaining feed concentrate has been developed.

Недостаток легкопереваримых углеводов (ЛПУ) в рационах крупного рогатого скота, по данным ряда исследователей, составляет от 35 до 40% [1]. Это является одним из факторов, сдерживающих реализацию генетического потенциала высокопродуктивных животных. В качестве источников ЛПУ длительное время использовались корне- и клубнеплоды, сахарная меласса и гидролизные патоки. Однако эти источники не могут в полной мере ликвидировать дефицит углеводов в рационах животных и не отвечают современным требованиям технологий кормления. Это явилось поводом для проведения в СибНИПТИП научных исследований по разработке новых технологий получения легкоперевариваемых углеводов. В результате была разработана и внедрена технология получения патоки кормового назначения из различного зернового сырья [2–4], которая может восполнить недостаток сахаров в рационе кормления крупного рогатого скота.

Патока производится методом ферментативного гидролиза с использованием зерна злаковых культур, водопроводной воды, подкисленной до pH 5,0–5,5, в роторно-пульсационном аппарате (РПА) в присутствии ферментов амила субтилина и глюкаваморина. Дальнейшие исследования выявили ряд возможностей для усовершенствования её производства в техническом и технологическом плане с целью интенсификации технологических процессов, снижения материальных и энергетических затрат. Одной из таких возможностей является использование инфракрасного (ИК) излучения на стадии подготовки зерна к переработке. ИК-обработка уменьшает прочность зерна, снижает время и энергетические затраты при последующей его переработке за счет повышения атакуемости амилолитическими ферментами деструктурированного крахмала [5]. Установлены оптимальные значения параметров ИК-обработки зерна, при которых достигается наибольшая степень деструкции крахмала. Содержание сахаров в патоке в зависимости от вида сырья колеблется от 16,0 до 31%.

Существенным недостатком патоки является короткий срок и особые условия хранения. В связи с этим возникла необходимость разработки кормового продукта длительного срока хранения, не требующего особых условий, сухого, сыпучего, содержащего в своем составе

несколько питательных веществ. При этом себестоимость такого продукта может быть значительно снижена, а качество улучшено благодаря использованию отходов переработки молока в виде молочной сыворотки и мукомольной промышленности в виде отрубей, содержащих массу полезных питательных веществ (белков, углеводов, витаминов, макро- и микроэлементов и др.). Оба рассматриваемых компонента могут быть использованы при создании кормового концентрата для сельскохозяйственных животных.

Наши исследования направлены на разработку технологии получения сухого кормового концентрата, состоящую из следующих этапов: ИК-обработка зерна пшеницы, получение кормовой патоки с использованием в качестве реагента молочной сыворотки, смешивание её с пшеничными отрубями, ИК-сушка сырого композита до состояния сухого продукта.

В ходе исследований решались следующие задачи:

- обоснование замены в технологии получения кормовой патоки подкисленной водопроводной воды на молочную подсырную сыворотку;
- исследование режимов сушки кормового концентрата с различной влажностью;
- разработка блок-схемы получения кормового концентрата;
- определение кормовой ценности белково-углеводного композита.

Исследования проводили в СибНИТИП СФНЦА РАН с использованием лабораторной установки для изучения режимов ИК-обработки зерна и сушки композита, обеспечивающей регулирование плотности потока облучения электромагнитным полем инфракрасного диапазона длин волн ближнего спектра, генерируемым лампой марки КГТ 220–1000, в пределах 17–23 кВт/м², установки роторно-импульсного типа МАГ. Для постановки экспериментов использовали следующие компоненты: зерно пшеницы 3-го класса с исходной влажностью 10,8% и содержанием белка 14,1%; сыворотку молочную подсырную с pH 5,34, содержанием сухих веществ 6,5%, углеводов – 4,8, белка – 1,0%; отруби пшеничные с содержанием белка 14,4%, влажностью 10,3%; вода, подкисленная до pH 5,4; ферменты амилосубтилиин с амилотической активностью 1480 ед/г и глюкаваморин с глюкоамилазной активностью 3040 ед/г.

Эксперименты проводили в следующей последовательности. Зерно обрабатывали ИК-излучением на лабораторной установке (рис. 1). Облучение прекращали в тот момент, когда зерна вспучивались, а некоторые разрушались. При облучении зерна контролировали следующие параметры:

- массовую долю влаги в необлученном зерне, %;
- расход энергии, кВт·ч;
- длительность ИК воздействия, с.

Затем получали патоку ферментативным гидролизом зерна с молочной сывороткой и, для сравнения, с подкисленной водой, в присутствии ферментов.

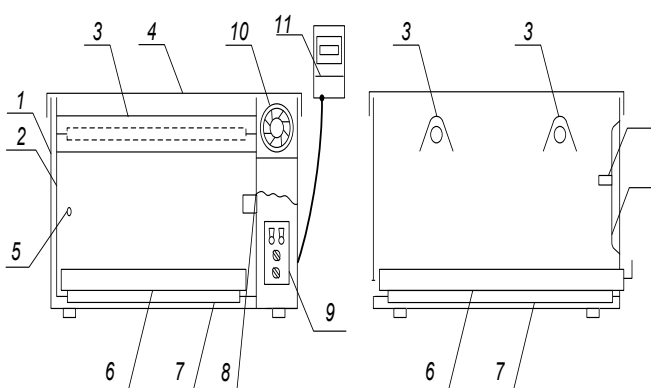


Рис. 1. Лабораторная установка для исследования режимов ИК-обработки зерна и сушки композита:

1 – корпус; 2 – отражатели панельные; 3 – ИК-излучатель с отражателем; 4 – верхняя крышка; 5 – перфорированная передняя стенка; 6 – поддон для сырья; 7 – поддон-отражатель; 8 – температурный датчик; 9 – блок управления; 10 – вентилятор; 11 – счетчик энергии

Процесс ферментативного гидролиза проводили на установке роторно-импульсного типа МАГ (рис. 2), отличающейся от аппаратов другой конструкции тем, что она имеет крыльчатую мешалку для принудительного подвода смеси зерна и сыворотки к диспергатору.

Роторно-импульсные аппараты относятся к гидромеханическим преобразователям механической энергии в акустическую, тепловую и энергию других видов, что позволяет интенсифицировать гидромеханические и тепломассообменные процессы в нестационарных потоках при обработке гетерогенных сред [6].

В процессе работы установки, после достижения в реакционном объеме температуры 45–48 °С, вводили амилосубтилин. При повышении температуры реакционной смеси до 74–75 °С через 9 мин отбирали первую пробу. Затем проводили охлаждение реакционной смеси до 62–65 °С, вводили глюкаваморин. С этого момента через каждые 60 мин отбирали последующие пробы. Интервал в 60 мин установлен по результатам предыдущих исследований по ферментативному гидролизу получения патоки на основе подкисленной воды [3].

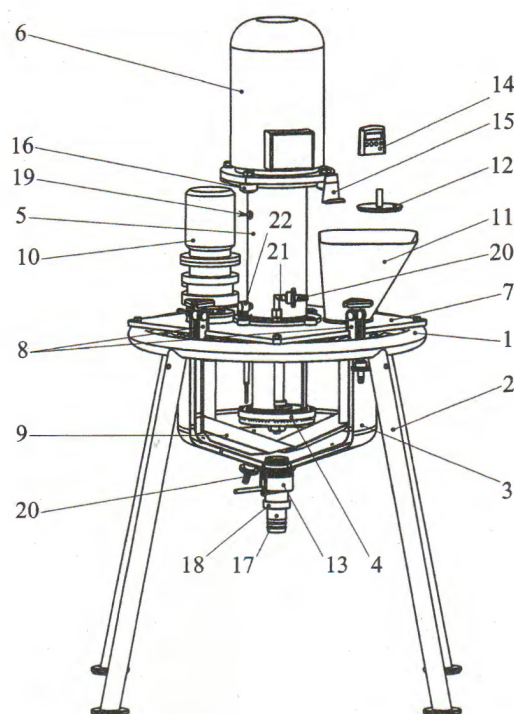


Рис. 2. Гомогенизатор МАГ-50:

1 – стол; 2 – нога; 3 – бак; 4 – диспергатор; 5 – подшипниковый узел; 6 – привод диспергатора; 7 – плита; 8 – прихваты; 9 – мешалка; 10 – привод мешалки; 11 – воронка; 12 – крышка; 13 – выпускной вентиль; 14 – термометр; 15 – кронштейн термометра; 16 – прижим; 17 – ниппель слива; 18 – накидная гайка; 19 – стопорный болт; 20 – ниппель; 21 – отвод; 22 – масленка

Оценку действия реагентов (молочной сыворотки и подкисленной воды) проводили по содержанию сахаров и влаги в патоке, длительности процесса и энергозатратам.

Дальнейшие исследования проводили с патокой, содержащей большее количество сахаров. Её смешивали с отрубями в следующих пропорциях: 1,5: 1,0; 2,0: 1,0; 2,5: 1,0, которым соответствует влажность 40, 50, 60%. Процесс ИК-сушки исследовали в полнофакторном эксперименте 3^2 в двух повторностях на лабораторной установке (см. рис. 1). Были заданы следующие уровни факторов (параметров): плотность потока ИК-излучения – 15; 17,5; 20 кВт/м², влажность сырого композита – 40; 50; 60%. Результаты сушки оценивали по показателям влажности, содержанию сахаров, времени сушки и затратам электроэнергии.

Математическую обработку данных проводили методом множественного регрессионного анализа на ПК с использованием программы STATISTICA 6. При этом определялись следующие статистические характеристики: коэффициент регрессии, вероятность нулевых значений коэффициентов на уровне 0,05, коэффициент регрессии (R), критерий Фишера (F), уровень доверительной значимости (p) критерия Фишера.

Кормовую ценность сухого кормового концентрата определяли по следующим методикам: содержание белковой фракции – на анализаторе Инфралюм ФТ-12 (ГОСТ 13496.4–93), растворимые и легкогидролизуемые углеводы – по методу Бертрана (ГОСТ 26176–91), сырую клетчатку – по ГОСТ 31675–2012, сырой жир – по ГОСТ 13496.15, сырую золу – по ГОСТ 26336–95, крахмал – по ГОСТ 26176–91.

Учет энергозатрат проводили по показаниям электросчетчика СОЭБ-1 (ГОСТ 31819.21–2012. Аппаратура для измерения электрической энергии переменного тока. Частные требования. Часть 21. Статические счетчики активной энергии классов точности 1 и 2).

Для проведения экспериментов зерно пшеницы увлажняли до 12% и подвергали ИК-обработке на лабораторной установке (см. рис. 1). Время ИК-обработки зерна в количестве 140 г, которое можно разово расположить на поддоне установки, составило 70 с, расход энергии – 0,01 кВт·ч. На эксперимент требуется 6 кг зерна, следовательно, суммарный расход энергии составил 0,428 кВт·ч. ИК-обработка обеспечивает пористую структуру зерна пшеницы, позволяет уменьшить общие энергозатраты на получение патоки [5].

В процессе ферментативного гидролиза с использованием в качестве реагента подкисленной воды максимальное содержание сахаров отмечено в пробе патоки, отобранной на 131-й мин (табл. 1). В последующих пробах содержание сахаров стабилизировалось, что свидетельствует об окончании ферментативного гидролиза. По содержанию влаги в ходе технологического процесса отмечена тенденция к её снижению, но эти изменения были незначительны. Затраты электроэнергии на получение патоки при максимальном содержании сахаров составили 3,65 кВт·ч.

Таблица 1

Динамика изменения показателей процесса получения патоки на основе воды

Длительность процесса, мин	Содержание сахаров, %	Влажность, %	Затраты электроэнергии, кВт·ч
71	13,6	76,92	2,8
131	15,4	76,57	3,65
191	14,2	76,41	4,05
251	14,2	76,29	4,45
311	14,1	76,16	4,80

В патоке, полученной на основе сыворотки, отмечено постепенное увеличение содержания сахаров и снижение влажности в процессе ферментативного гидролиза (табл. 2).

Таблица 2

Динамика изменения показателей процесса получения патоки на основе молочной (подсырной) сыворотки

Длительность процесса, мин	Содержание сахаров, %	Влажность, %	Затраты электроэнергии, кВт·ч
20	9,3	68,54	2,85
94	13,3	68,27	3,35
154	15,7	67,95	4,10
214	18,2	67,34	4,68
274	20,9	67,11	5,18

Анализ данных, приведенных в табл. 1 и 2, показывает, что процесс ферментативного гидролиза крахмала, содержащегося в зерне пшеницы, при использовании в качестве реагента молочной сыворотки протекает медленнее, чем при использовании воды. Подсырная сыворотка, в отличие от воды, является поликомпонентной системой, содержащей белки, углеводы, ферменты, минеральные соли, органические кислоты [7]. Содержание сухих веществ в ней составляет 6,5%. Всё это оказывает влияние на работу вносимых ферментов и протекание биохимических процессов. Так, содержание сахаров 15,4% в патоке, полученной на основе воды, наблюдается через 131 мин от начала процесса. При применении молочной сыворотки примерно такое же содержание сахаров в патоке (15,7%) достигнуто через 154 мин. При этом увеличиваются энергозатраты (соответственно 3,65 и 4,10 кВт·ч). Максимальное содержание сахаров в патоке, полученной на основе сыворотки, составляет 20,9%. Оно выше, чем у патоки, полученной при использовании воды, за счет лактозы, содержащейся в сыворотке. В ней также ниже влажность из-за наличия в сыворотке сухих веществ.

Для дальнейших исследований брали патоку, содержащую большее количество сахаров. Чтобы определить оптимальное соотношение патоки и отрубей, их смешивали в следующих пропорциях: 1,5: 1,0; 2,0: 1,0; 2,5: 1,0, которым соответствует влажность 40, 50, 60%, и сушили при плотностях потока ИК-излучения 15; 17,5; 20 кВт/м².

Данные, представленные в табл. 3, свидетельствуют о том, что при росте плотности потока ИК-излучения наблюдается уменьшение длительности сушки (40 и 22 мин) и, соответственно, энергозатрат (0,35 и 0,20 кВт·ч), а с ростом влажности при сушке концентрата с одной и той же плотностью длительность и энергозатраты возрастают. Большие значения сахаров наблюдаются при плотности потока излучения 17,5 кВт/м² при всех вариантах влажности сырого концентрата. Более полная и точная зависимость содержания сахаров в сухом концентрате от влажности и плотности потока ИК-излучения представлена на рис. 3 после статистической обработки данных табл. 3.

Таблица 3

Содержание сахаров в композите, длительность и энергозатраты ИК-сушки

Переменные факторы		Функция отклика		
W, %	E, кВт/м ²	Содержание сахаров, %	Длительность сушки, мин	Энергозатраты, кВт·ч
40	20,0	19,1	22	0,20
40	17,5	27,8	29	0,25
40	15,0	23,2	40	0,35
50	20,0	27,8	40	0,40
50	17,5	30,9	40	0,20
50	15,0	28,4	30	0,20
60	20,0	28,4	35	0,40
60	17,5	27,8	40	0,50
60	15,0	26,2	71	0,75
40	20,0	16,4	34	0,40
40	17,5	21,6	35	0,40
40	15,0	17,3	36	0,50
50	20,0	21,6	30	0,40
50	17,5	30,9	40	0,50
50	15,0	23,5	40	0,55
60	20,0	21,0	36	0,55
60	17,5	24,7	32	0,40
60	15,0	22,8	30	0,40

В табл. 3 приведены данные двух повторностей для ввода в программу ПК STATISTICA 6. Регрессионная зависимость содержания сахаров концентрата от его исходной влажности и плотности потока ИК-излучения выражена уравнением

$$\text{Сахара, \%} = -267,6224 + 3,8963 W + 22,5119 E - 0,0414 W^2 - 0,6875 E^2 + 0,0262 WE.$$

Анализируя регрессионное уравнение, можно сделать вывод, что в исследуемой области значений факторы плотность потока, влажность и их парное действие оказывают положительное влияние на рост содержания сахаров, так как перед линейными коэффициентами этих членов уравнения стоит знак плюс. Уравнение регрессии достоверно – уровень доверительной значимости ($p=0,023$) значения критерия Фишера $F=3,97$ ($F_{\phi} > F_{\tau}$). Значение коэффициента регрессии ($R=0,865$) свидетельствует о высокой корреляции связи между зависимыми и независимыми переменными факторами – плотностью потока ИК-излучения и влажностью сырого концентрата, образованного патокой и отрубями, при его сушке.

Зависимость содержания сахаров в концентрате при комбинациях варьируемых факторов влажности W (отражающей соотношение патоки и отрубей) и плотности потока ИК-излучения E представлена на рис. 3, из которого можно сделать вывод, что с ростом влажности содержание сахаров сначала растет, достигает максимума, а затем снижается. Это объясняется тем, что при влажности 40% количество патоки в смеси меньше, а отрубей больше, а значит, и сахаров будет меньше. При более высокой влажности (50%) количество патоки в смеси больше, а отрубей меньше, а значит, и сахаров в смеси будет больше. Абсолютное значение сахаров в смеси при соотношении патоки и отрубей 2,5: 1,0 меньше, чем при соотношении 1,0: 2,5. Максимальное значение содержания сахаров (30,9%) находится в области значений влажности $W=49-56\%$ (соотношение патоки и отрубей 2,0 : 1,0) и плотности потока ИК-излучения $E=17-18$ кВт/м² с точкой экстремума 52% влажности.

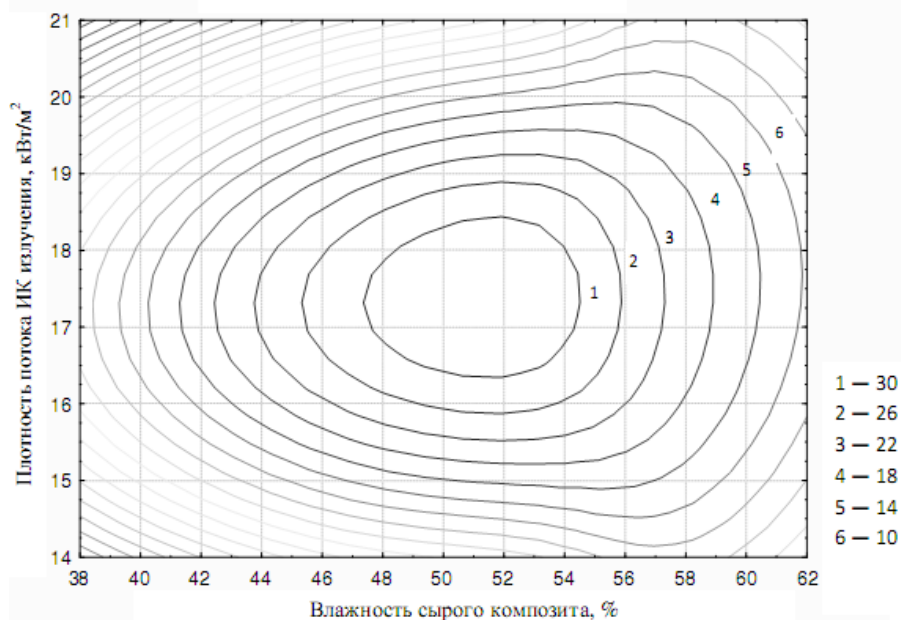


Рис. 3. Зависимость содержания сахаров в белково-углеводном композите от его влажности ($W, \%$) и плотности потока ИК-излучения ($E, \text{кВт/м}^2$)

Установлено, что содержание сахаров в сыром концентрате с влажностью 40% составило 10,8%, с влажностью 50% – 12,3%, с влажностью 60% – 17,0%, т.е. изменением соотношения массовых долей патоки и отрубей можно получить концентрат с нужной влажностью и нужным содержанием сахаров в нем. Чем больше доля патоки, тем выше содержание сахаров в концентрате.

Разработана блок-схема производства сырого и сухого концентрата, включающая ИК-обработку зерна, получение кормовой патоки из зерна пшеницы и молочной сыворотки, последующее смешивание её с пшеничными отрубями и ИК-сушку (рис. 4).

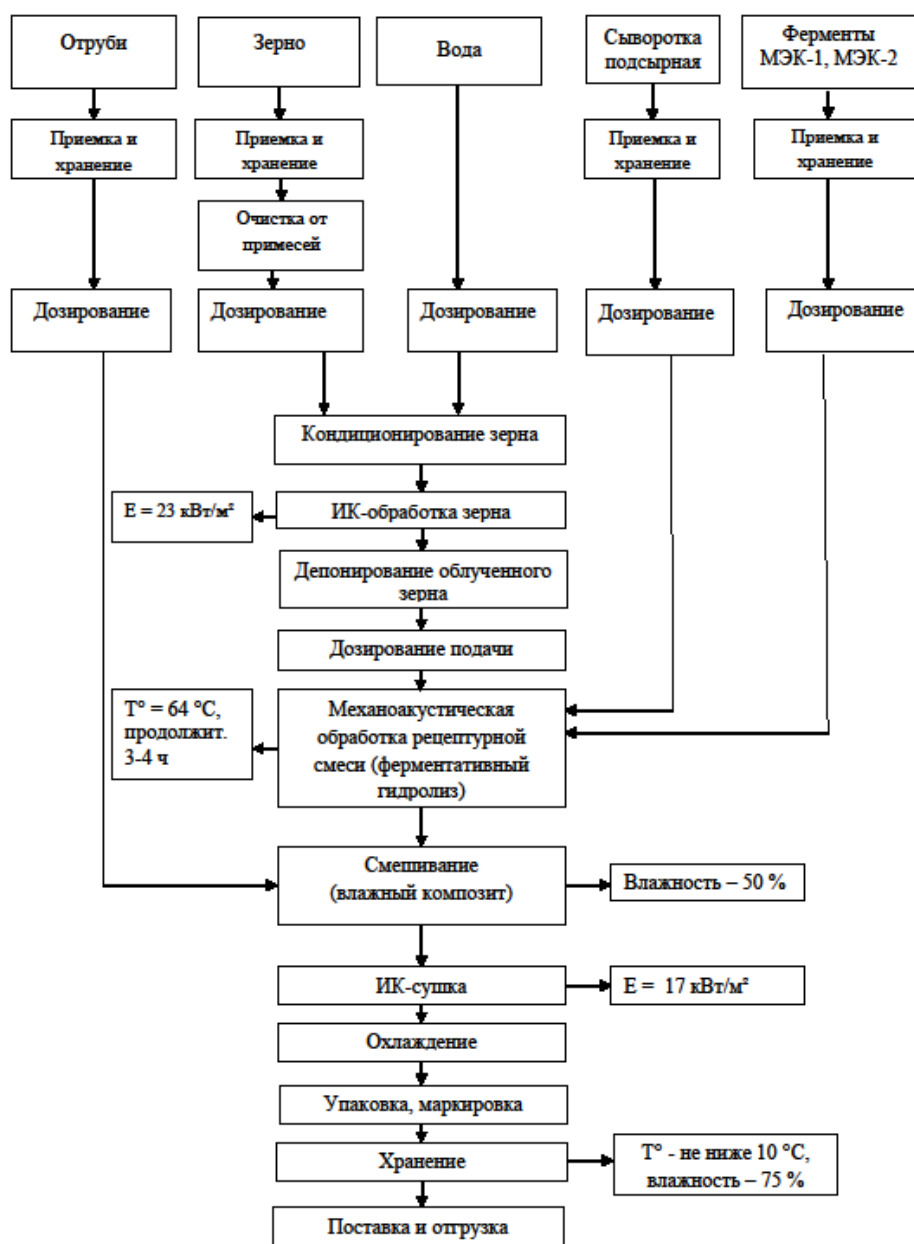


Рис. 4. Блок-схема получения кормового концентрата

Высушенный продукт представляет собой сыпучую смесь светло-коричневого цвета со следующими показателями кормовой ценности: сахара – 30,9%, белок – 17,6–18,4, клетчатка – 7,2–7,3, жир – 2,2–2,3, зола – 5,0–5,1, БЭВ – 60,0–68,6, влажность – 8–10%.

Таким образом, в ходе исследований обоснована технология получения кормового продукта, включающая микронизацию зерна пшеницы, получение кормовой патоки, смешивание её с отрубями и ИК-сушку влажного концентрата. Установлена возможность использования молочной подсырной сыворотки вместо воды при получении кормовой патоки. При этом в патоке повышается содержание сахаров, снижается влажность за счет лактозы и сухих веществ сыворотки. Определено оптимальное соотношение при смешивании патоки и отрубей, равное 2,0 : 1,0, и плотность потока излучения – 17,5 кВт/м².

Разработана блок-схема производства сырого и сухого кормового концентрата, предназначенного для устранения дефицита сахаров в рационе сельскохозяйственных животных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Мотовилов К. Я.* Перспективы использования углеводной кормовой добавки из зернового крахмалсодержащего сырья в животноводстве // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2008. – № 8. – С. 8–11.
2. *Способ* получения сахаристых продуктов из зернового сырья: пат. РФ № 2285725 МПК С13К 1/06 / В. В. Аксенов, Е. Г. Порсев, В. М. Незамутдинов, К. Я. Мотовилов. – Заявл. 16.11.2004; опубл. 20.10.2006.
3. *Аксенов В. В.* Технологии переработки зернового сырья на кормовые патоки и их применение в рационах крупного рогатого скота // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 1. – С. 147–152.
4. *Аксенов В. В.* Биотехнологические основы глубокой переработки зернового крахмалсодержащего сырья. – Новосибирск, 2010. – 168 с.
5. *Оценка* эффективности технологических приемов совершенствования способа получения кормовой патоки / В. В. Аксенов, С. К. Волончук, А. И. Резепин [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – Т. 31, № 2. – С. 45–47.
6. *Промтов М. А.* Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика: монография. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 260 с.
7. *Храмцов А. Г.* Феномен молочной сыворотки. – СПб.: Профессия 2012. – 804 с.

REFERENCES

1. *Motovilov K. YA.* Perspektivy ispol'zovaniya uglevodnoj kormovoj dobavki iz zernovogo krahmalsoderzhashchego syr'ya v zhivotnovodstve // Kormlenie sel'skohozyajstvennyh zhivotnyh i kormoproizvodstvo. – 2008. – № 8. – S. 8–11.
2. *Sposob* polucheniya saharistykh produktov iz zernovogo syr'ya: pat. RF № 2285725 MPK S13K 1/06 / V. V. Aksenov, E. G. Porsev, V. M. Nezamutdinov, K. YA. Motovilov – Zayavl. 16.11.2004; opubl. 20.10.2006.
3. *Aksenov V. V.* Tekhnologii pererabotki zernovogo syr'ya na kormovye patoki i ih primeneniye v racionah krupnogo rogatogo skota // Vestnik KrasGAU. – 2013. – № 1. – S. 147–152.
4. *Aksenov V. V.* Biotekhnologicheskie osnovy glubokoj pererabotki zernovogo krahmalsoderzhashchego syr'ya. – Novosibirsk, 2010. – 168 s.
5. *Ocenka* effektivnosti tekhnologicheskikh priemov sovershenstvovaniya sposoba polucheniya kormovoj patoki / V. V. Aksenov, S. K. Volonchuk, A. I. Rezepin [i dr.] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2017. – T. 31, № 2. – S. 45–47.
6. *Promptov M. A.* Pul'sacionnyye apparaty rotornogo tipa: teoriya i praktika: monografiya. – M.: Mashinostroenie-1, 2001. – 260 s.
7. *Hramcov A. G.* Fenomen molochnoj syvorotki. – SPb.: Professiya 2012. – 804 s.