

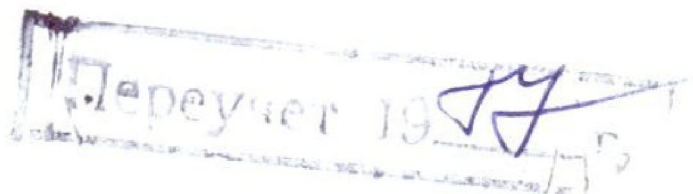
Автор ер.
с 60

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
У С С Р
ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
им. М.В. Ломоносова

На правах рукописи

СОЛОТОВКА Виктор Петрович

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ПРОИЗВОДСТВА СОЛЯНЫХ БРИКЕТОВ ДЛЯ ЖИВОТНОВОДСТВА



Специальность 05.18.02 - технология зерновых,
бобовых, крупиных продуктов и комбикормов

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1980

Работа выполнена в Одесском технологическом институте пищевой промышленности им. М.В.Ломоносова и Всесоюзном научно-исследовательском институте соляной промышленности.

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент И.К.Чайка

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор А.Д. Чмырь

кандидат технических наук,
доцент В.П. Бородинский

Ведущее предприятие - Всесоюзный научно-исследовательский
институт комбикормовой промышлен-
ности

Защита состоится "20" июня 1980 г. в 10 час. на заседании специализированного совета К 068.35.02 в Одесском технологическом институте пищевой промышленности им. М.В.Ломоносова, 270039, г. Одесса, ул. Свердлова, 112.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского технологического института пищевой промышленности им. М.В.Ломоносова.

Автореферат разослан "16" мая 1980 г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ. Основным условием повышения продуктивности животноводства является полноценное кормление животных. Недостаток в питании существенно важных веществ, макро- и микроэлементов, часто приводит к снижению продуктивности и увеличению заболеваний животных.

Макро- и микроэлементы вводят в питание животных различными способами: путем обогащения комбикормов, в виде растворов солей микроэлементов, в виде соляных брикетов и др. Как показала практика, одним из наиболее эффективных способов макро- и микроэлементной подкормки животных являются минеральные брикеты-лизунцы, изготовленные из поваренной соли с добавкой микроэлементов.

Общий объем производства солебрикетов в СССР составляет свыше 400 тыс. тонн в год. Однако потребность общественного животноводства в данном кормовом продукте удовлетворяется не полностью. Кроме того, солебрикеты имеют низкую прочность, вследствие чего при транспортировке образуется значительное количество боя. К 1985 г. производство соляных брикетов планируется увеличить вдвое.

Литературный анализ показал, что имеющихся исследований по брикетированию поваренной соли недостаточно для научно обоснованной разработки эффективной технологии изготовления соляных брикетов, ее аппаратного оформления и установления оптимальных параметров.

Вследствие большого значения проблемы исследования проводились в соответствии с планом научно-исследовательских работ МПИ СССР в 1971-79 гг. (№№ IP отчетов 70018398, 71034406, 74041553, 78071010).

ЦЕЛЬЮ РАБОТЫ является повышение эффективности технологического процесса производства соляных брикетов для нужд животноводства. Для достижения поставленной цели предусмотрено решить следу-

ОНАХТ 14.06.12
Исследование техноло



v013507

Одесский технологический
институт пищевой промышлен-
ности им. М. В. Ломоносова

v013507

щие задачи:

1. Изучить влияние на эффективность процесса прессования основных физико-механических и химических свойств поваренной соли и условий прессования: влажности и крупности исходной соли, вида и содержания примесей, давления прессования.

2. Изучить влияние на процесс конструктивных особенностей брикетировочных прессов и пресс-инструмента, в том числе: выявить эффективность брикетирования соли на механических коленорычажных прессах; выявить эффективность применения пресс-инструмента с конической, раздвижной матрицей и с зазором между матрицей и пуансоном.

3. Выявить возможность и эффективность использования пылевидных отходов солеперерабатывающих предприятий и поваренной соли, получаемой в виде отходов калийных предприятий, для производства кормовых солебрикетов.

4. Разработать рациональные технологические схемы производства соляных брикетов для животноводства и установить оптимальные параметры.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. Впервые выявлены закономерности влияния природных и искусственно вводимых в поваренную соль примесей на прочность соляных брикетов; установлены закономерности влияния на эффективность процесса прессования поваренной соли конструктивных особенностей пресс-инструмента. Исследована прессуемость галитовых отходов производства калийных удобрений и пылевидных отходов солепредприятий. Получены математические модели процесса производства соляных брикетов, позволившие установить оптимальный диапазон значений основных его параметров. Разработаны научно обоснованные предложения по совершенствованию технологического процесса.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ. Разработана усовершенствованная техно-

логия производства соляных брикетов для животноводства, внедрение которой позволило повысить прочность соляных брикетов на 50 - 60 % без снижения производительности; даны рекомендации по совершенствованию брикетировочных прессов и использованию для производства кормовых солебрикетов соляных отходов. Использование результатов исследования позволяет существенно повысить эффективность технологического процесса производства солебрикетов для животных и расширить его сырьевую базу.

РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ. На основании результатов выполненного исследования автором разработаны:

- технологический регламент процесса брикетирования поваренной соли при использовании гидравлических прессов (утвержден МПН СССР и внедрен на солепредприятиях производственного объединения "Артемсоль");

- действующий ОСТ 18-87-77 "Соль поваренная для животноводства", включающий требования к качеству соляных брикетов и методики его определения.

Испытан и внедрен в производство модернизированный для условий изготовления солебрикетов высокопроизводительный брикетировочный пресс. Результаты исследования использованы также при разработке проектов солебрикетных цехов комбината "Куулисоль" и Баскунчакского солепромысла.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Результаты исследования опубликованы в 8 статьях, защищены 4 авторскими свидетельствами и доложены на: 37-й и 39-й научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава и научных сотрудников Одесского технологического института пищевой промышленности им. М.В.Ломоносова в 1977 и 1979 гг.; ученом совете Всесоюзного научно-исследовательского института соляной промышленности в 1969, 1971-74, 1976-79 гг.; совещании в Упрсоли МПН СССР и техническом совете Баскунчакского соляного

промысла в 1973 г.; техническом совете ПО "Артемсоль" в 1971, 1975 гг.; секциях соляной промышленности в августе (Н.Баскунчак) и ноябре (г.Артемовск) 1978 г.; школах передового опыта и курсах повышения квалификации специалистов соляной промышленности в 1970, 1971, 1978 и 1979 гг.; 3-й научно-технической конференции молодых соляников, посвященной 60-летию комсомола Украины, в 1979 г.

ОБЪЕМ И СТРУКТУРА РАБОТЫ. Диссертация состоит из пяти глав, общих выводов и рекомендаций, изложена на 126 страницах машинописного текста, включает 37 рисунков, 56 таблиц, 67 страниц приложений. Список литературы включает 166 источников, в том числе 12 иностранных.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ приведен обзор работ по исследованию процесса брикетирования сыпучих материалов, дан краткий анализ теорий брикетирования, объясняющих природу сил сцепления частиц дисперсного материала в брикете. Наиболее полной и универсальной является молекулярная теория брикетирования, разработанная на основе термодинамической теории прилипания В.В.Дерягина, одного из основоположников новой области науки - физико-химической механики, направленной на создание материалов с заданной структурой и свойствами, и развитой в работах В.М.Наумовича, А.Д.Чмыря и др. Согласно данной теории решающая роль в сцеплении частиц в брикете отводится силам молекулярного взаимодействия.

Приведен анализ исследований по влиянию на прочность и плотность брикетов таких факторов, как влажность и крупность исходного материала, скорость и давление прессования, конструктивные особенности брикетировочных прессов. Показано что процесс брикетирования поваренной соли изучен недостаточно, в связи с чем не представляется возможным обосновать рациональную технологию производства соляных

брикетов и оптимизировать ее параметры. Не изучена возможность и эффективность использования в производстве кормовых солебрикетов пылевидных отходов солеперерабатывающих предприятий и галитовых отходов производства калийных удобрений, которые представляют интерес как дополнительная сырьевая база для производства солебрикетов. Дан анализ конструкций брикетировочных прессов, на основании которого для условий промышленного производства кормовых солебрикетов выбрана базовая модель для создания эффективного солебрикетного пресса.

Сформулированы цель и задачи исследования.

ВО ВТОРОЙ ГЛАВЕ приведена методика исследования и описание экспериментальной базы. Для испытания солебрикетов на прочность использованы два метода: на изгиб и на растяжение путем раскалывания. С целью исследования характера распределения плотности брикета по его высоте в работе применен метод оценки плотности по значению твердости. Экспериментально установлена зависимость между плотностью солебрикета γ и твердостью по методу вдавливания стального конуса H_K :

$$\gamma = (1,98 H_K + 1487,4) + 56,2 \text{ кг/м}^3, \quad (I)$$

при коэффициенте корреляции $\rho = 0,88$.

Для отыскания оптимальных значений основных параметров брикетирования в работе использован многофакторный экстремальный эксперимент с построением математических моделей. Поскольку брикет является прежде всего результатом уплотнения сыпучего материала под действием силы, а также учитывая, что основной характеристикой штемпельных брикетировочных прессов является усилие, эффективность процесса брикетирования должна оцениваться степенью полезного использования рабочего усилия пресса при максимальной его производительности и прочности брикетов.

В связи с этим требования оптимизации процесса брикетирования

сводятся к производству солебрикетов заданной массы, обладающих необходимой прочностью при минимальном усилии прессования. В качестве параметра оптимизации процесса брикетирования на промышленном гидравлическом прессе типа БО134 принят показатель удельного усилия прессования, учитывающий массу прессуемых брикетов и их прочность:

$$q = \frac{Q_{пр.}}{G_{бр.} \cdot K}, \quad (2)$$

где $Q_{пр.}$ - усилие прессования, МН;

$G_{бр.}$ - масса брикета, кг;

K - относительная прочность брикета, равная

$$K = \frac{\sigma_u}{\sigma_{u \max}},$$

где σ_u - текущее значение прочности брикета на изгиб, МПа;

$\sigma_{u \max}$ - наибольшее значение прочности брикета, условно принятое равным прочности каменной соли, определенной по той же методике.

Для оптимизации процесса брикетирования на механическом прессе типа СМ-1085 были выбраны два выходных параметра: суммарное значение тока статора приводного электродвигателя в момент прессования брикета и в момент его выталкивания, отнесенное к массе брикета, и прочность брикета на растяжение путем раскалывания.

На основании анализа литературных источников и оценки экспериментальных данных по брикетированию соли в качестве варьируемых выделены четыре наиболее влияющих на процесс фактора. Уровни и интервалы варьирования факторов на гидравлическом прессе БО134 приведены в табл. I.

В процессе эксперимента было установлено, что крупность соли (X_2) является наименее существенным из выделенных факторов и с экономических соображений его учитывать нецелесообразно. В связи с этим процесс брикетирования соли на механическом прессе оптимизировали при варьировании трех факторов.

Таблица I

Фактор	Размерность	Уровень			Интервал варьирования
		-I	0	+I	
X_1 - давление прессования, Р	МПа	90	100	110	10
X_2 - средневзвешенный диаметр частиц исходной соли, $d_{ср}$	$10^{-3} м$	1,00	1,25	1,50	0,25
X_3 - влажность исходной соли, W	%	0,55	0,70	0,85	0,15
X_4 - отношение высоты брикета к его диаметру, h/d	-	0,20	0,25	0,30	0,05

Лабораторные эксперименты проводили на установке, включающей гидравлический пресс марки БКК-100 усилием 1 МН и универсальную испытательную машину модели УМ-5 усилием 50 кН. Усилие на верхнем и нижнем основаниях брикета определяли тензометрическим методом, для чего использовали фольговые тензорезисторы, усилитель модели ЗАНЧ-7М и шлейфовый осциллограф Н-700.

В ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ приведены результаты лабораторных и производственных экспериментов. На рис. I представлена зависимость прочности солебрикетов на изгиб от влажности исходной соли при различном давлении прессования, полученная по результатам эксперимента в лабораторных условиях. Для прессования использовали соль класса $-2,5 \cdot 10^{-3} м$ Артемовского месторождения. Наибольшей прочности солебрикетов соответствует влажность исходной соли в пределах 0,2-0,3%. Оптимум влажности смещается в сторону меньших значений с ростом давления прессования, что согласуется с молекулярной теорией, предполагающей наличие оптимума за счет появления интенсивных водородных связей и контракции системы мономолекулярным слоем воды.

На рис. 2 представлена зависимость прочности солебрикетов на изгиб от давления прессования в диапазоне 60-140 МПа. В качестве

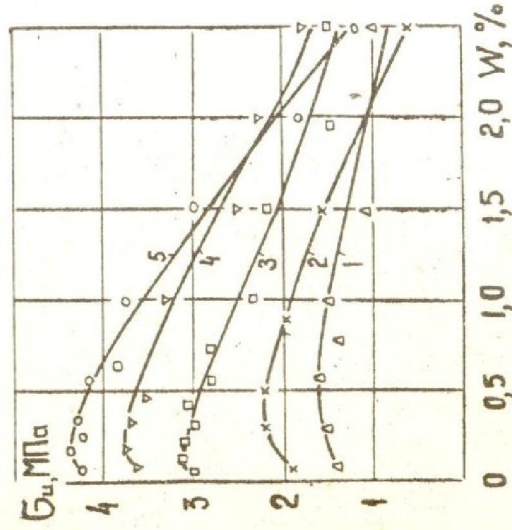


Рис.1. Зависимость прочности солебрикетов на изгиб σ_u от влажности исходной соли при давлении прессования, МПа: 1 - 50; 2 - 70; 3 - 90; 4 - 110; 5 - 130.

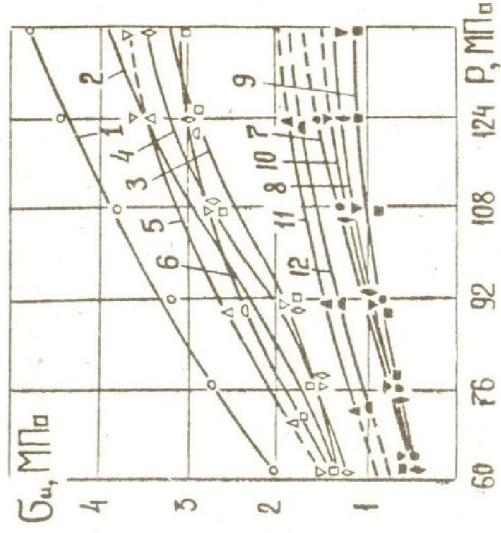


Рис.2. Зависимость прочности солебрикетов на изгиб σ_u от давления прессования P: 1,7 - соль Артемовского месторождения; 2,8 - соль озера Баскунчак; 3,9 - оз. Таволжан; 4,10 - оз. Коркиовское; 5,11 - оз. Б.Калкаман; 6,12 - со-лепроязла "Аралсоль". 7-6 - соль без добавок; 7-10 - соль с добавкой микроэлементов.

исходной использовали соль шести месторождений, на базе которых организовано производство соляных брикетов. Прессовали соль помола №2 с добавкой солей микроэлементов по полному рецепту в соответствии с ОСТ 18-87-77 и без добавок. Брикеты изготавливали на промышленном прессе модели БО134. Как следует из графика соль различных месторождений прессуется неодинаково. Химический анализ показал, что соль Коряковского месторождения, у которой наихудшая прессуемость, содержит наибольшее количество нерастворимых веществ (0,91%). Далее по этому показателю соответственно улучшению прессуемости следуют соли месторождений Калкаманского (0,74%), Таволжанского (0,49%), Баскунчакского (0,16%) и Аральского (0,13). Значительно более высокая прессуемость соли Артемовского месторождения может быть объяснена как более высокой ее чистотой, так и тем, что нерастворимые в соли Артемовского месторождения содержатся в виде прочных зерен ангидрита, в то время как в озерных солях нерастворимые представлены в виде тонкодисперсного ила, покрывающего поверхность частиц соли.

На рис. 3 представлена зависимость прочности солебрикетов на изгиб от содержания в исходной соли соединений микроэлементов, введенных в соль в сухом виде. Исследовано влияние на прочность солебрикетов добавки химических соединений каждого в отдельности. Как следует из графика все исследованные соединения снижают прочность солебрикетов в равной степени.

При введении растворимых соединений в водном растворе также резко снижается прочность солебрикетов. Однако зависимость в диапазоне влажности 0,10-0,35% имеет максимум. Различия в падении прочности солебрикетов при введении микроэлементов сухим и мокрым способами незначительно. Снижение прочности солебрикетов с введением в соль микроэлементов многократно подтверждено как в лабораторных, так и в производственных условиях. Аналогично снижает

прочность свежепрессованных солебрикетов меласса, вводимая в соль в качестве связующего вещества.

Опытное изготовление солебрикетов из галитовых отходов Солигорского калийного комбината производили на прессе БО134. Параллельно изготавливали и испытывали на прочность солебрикеты из соли Артемовского месторождения с добавкой соединений микроэлементов по полному рецепту согласно ОСТ 18-87-77. Результаты эксперимента представлены в табл. 2.

Таблица 2

Брикетируемый материал	Влажность, %	Давление прессования, МПа	Размеры брикетов, 10^{-3} м		Прочность брикетов на изгиб, МПа
			диаметр	высота	
Галитовые отходы	0,2	9I	145	65	1,15
"	1,5	9I	145	71	0,88
"	2,5-3,0	9I	145	70	0,01
Соль Артемовского месторождения с микроэлементами	0,8	9I	145	67	1,21
Соль Артемовского месторождения без микроэлементов	0,1	9I	145	66	1,82

Из табл. 2 следует, что прессуемость галитовых отходов ниже прессуемости соли Артемовского месторождения. При влажности в пределах 0,2-0,3% из галитовых отходов могут быть получены солебрикеты, удовлетворяющие по прочности требованиям стандарта. Солебрикеты из галитовых отходов были испытаны при опытном скормлении крупному рогатому скоту. Солебрикеты потреблялись животными охотно, отрицательных явлений от скормливания солебрикетов из галитовых отходов не обнаружено.

В связи с экспериментально подтвержденным фактом повышения прочности солебрикетов с уменьшением частиц исходной соли и нали-

чием пылевидных соляных отходов, в настоящей работе, с целью расширения сырьевой базы, утилизации отходов производства и получения прочных солебрикетов, был предложен следующий способ брикетирования пылевидных соляных отходов. Пылевидные отходы делили на две части. В одну часть вводили соединения микроэлементов и гранулировали. Гранулы смешивали с другой частью и прессовали. Смесь пылевидной соли с гранулами приобретала сыпучесть, необходимую для ее брикетирования на автоматических брикетировочных прессах. Высокая прочность солебрикетов обеспечивалась за счет прочного каркаса из чистой соли, расположенной между содержащими микроэлементы гранулами, а также за счет использования более мелкой соли по сравнению с применяемой (кл. $-2,5 \cdot 10^{-3}$ м). На рис. 4 представлены результаты лабораторных экспериментов по брикетированию соляной пыли, из которого следует:

1. С добавлением в соляную пыль гранулированной соли прочность брикетов возрастает на 20-30%. При этом прочность увеличивается с увеличением содержания в смеси гранул. Повышение прочности брикетов в данном случае может быть объяснено тем, что гранулы в процессе прессования в основном не разрушаются, а деформируются.

2. Прочность брикетов при концентрировании микроэлементов в гранулах повышается, при этом ее значение растет с увеличением в смеси доли чистой, без микроэлементов соли.

В ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ приведены результаты исследования влияния конструктивных особенностей пресс-инструмента брикетировочных прессов на эффективность процесса брикетирования поваренной соли. Теоретически получено уравнение распределения относительного объема по высоте брикета с учетом конусности матрицы:

$$\beta^2 = \beta_n^2 - \frac{4A(f \cos d - \sin d) z}{d_s + 2(h-z) \operatorname{tg} d}, \quad (3)$$

где $\beta = \frac{\gamma_{\max}}{\gamma}$ - относительный объем брикета;

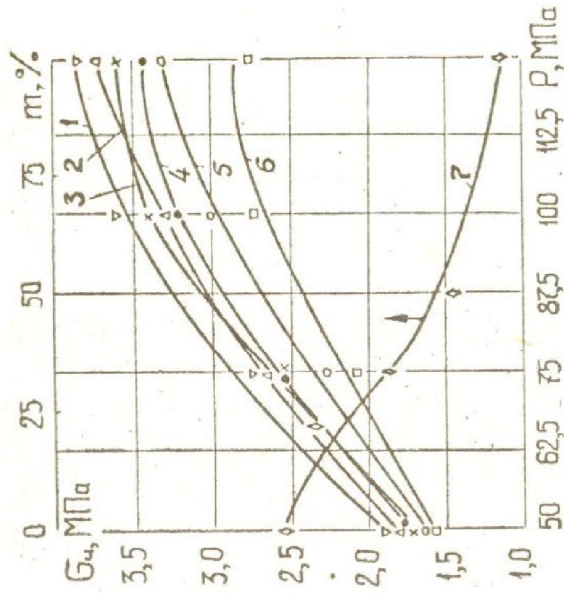


Рис.4. Зависимость прочности солебрикетов от давления прессования при различной концентрации в исходной смеси гранул из чистой соли Р и от содержания в смеси гранул, обогащенных микроэлементами М: 1, 2, 3, 4 - смесь соли кл. -0,2·10³ м с чистыми гранулами в соотношении 1:4; 3:7, 2:3, 1:1; 5 - соль кл. -0,2·10³ м; 6 - соль кл. -2,5·10³ м; 7 - смесь соли кл. -0,2·10³ м с гранулами, обогащ. микроэлементами.

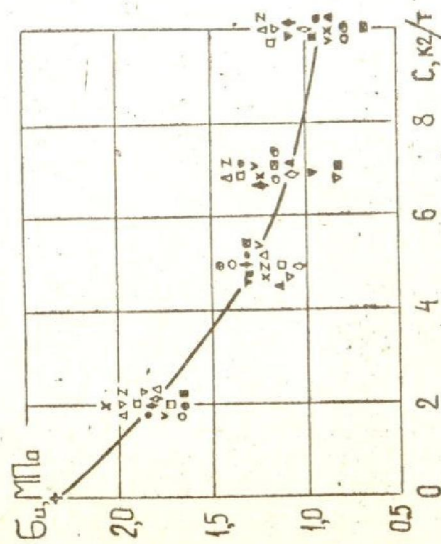


Рис.3. Зависимость прочности солебрикетов σ_c от содержания в исходной соли химического соединения С, введенного в соль сухим способом: • - FeSO₄·7H₂O; ◦ - CuCl₂·2H₂O; ◐ - CuSO₄·5H₂O; ▽ - CuCO₃; ▾ - CoCl₂·6H₂O; ▲ - CoSO₄·7H₂O; △ - CaCO₃; ◊ - ZnSO₄·7H₂O; ◆ - ZnCl₂; ◑ - ZnCO₃; ■ - ZnO; ▽ - MnSO₄·5H₂O; × - MnO₂; z - MnCO₃; ■ - MnCl₂·4H₂O; * - соль без добавок.

γ_{max} - наибольшая плотность брикета, равная плотности материала частиц;

γ - текущее значение плотности;

β_n - относительный объем слоя брикета у неподвижного пуансона;

$A = \frac{2\mu}{\rho(1-\mu)}$ - коэффициент;

μ - коэффициент Пуассона прессуемого материала;

ρ - фактор прессования, постоянная величина в некотором интервале давлений;

f - коэффициент трения прессуемого материала о матрицу;

α - угол уклона стенки матрицы;

z - текущее значение координаты по высоте брикета;

d_0 - диаметр верхнего основания брикета;

h - высота брикета.

Из уравнения (3) следует, что с увеличением уклона стенки матрицы α разница между β_z и β_n убывает, т.е. неравномерность распределения плотности по высоте брикета с увеличением конусности матрицы уменьшается.

Увеличение конусности на прессах типа Б6238 усилием 6,3 МН на Аванском солеруднике позволило повысить прочность выпускаемых солебрикетов на 15-20% без снижения производительности и увеличения энергозатрат.

В ПЯТОЙ ГЛАВЕ приведены усовершенствованные технологические схемы и результаты оптимизации процесса брикетирования соли в производственных условиях, выполнен расчет экономического эффекта от использования результатов исследования в промышленности.

Основные отличия усовершенствованной технологии от существующей:

- предусмотрена операция контрольного дробления соли, обеспечивающая подачу на прессование соли заданной крупности;
- отсутствует операция введения в исходную соль мелассы;
- раздельное приготовление раствора микроэлементов, реагирующих

между собой;

- для озерной соли и галитовых отходов, имеющих повышенную влажность, предусмотрена операция сушки.

Для изготовления солебрикетов из пылевидных соляных отходов разработана технологическая схема (а.с. №643144), представленная на рис. 5. Схема отработана в опытно-промышленных условиях.

Оптимизацию процесса изготовления солебрикетов осуществляли на промышленных брикетировочных прессах. Для отыскания оптимального сочетания выделенных факторов, при котором значение параметра оптимизации (2) было бы минимальным при заданной массе и прочности брикетов, на гидравлическом прессе модели БО134 вначале был проведен эксперимент, включающий 8 опытов, составляющих полуреплику от полного факторного эксперимента типа 2^4 с генерирующим соотношением $X_4 = X_1 X_2 X_3$ и определяющим контрастом $I = X_1 X_2 X_3 X_4$. Была получена линейная модель процесса изготовления солебрикетов, которая оказалась неадекватной реальному процессу. Затем была выполнена программа крутого спуска и осуществлено ортогональное центральное композиционное планирование, в результате которого получена адекватная модель в виде уравнения регрессии второй степени:

$$Y = 13,0101 + 0,4803X_1 + 0,3675X_2 + 0,6186X_3 - 2,7525X_4 - 0,4131X_1X_2 + 1,2969X_1^2 + 0,8013X_2^2 + 0,6411X_3^2 + 1,6728X_4^2 \quad (4)$$

Коэффициенты канонической формы уравнения (4) все положительны, следовательно, поверхность отклика имеет экстремум, при этом минимум, а центр поверхности находится вблизи центра эксперимента.

По модели (4) были определены оптимальные параметры брикетирования на гидравлическом прессе типа БО134: $P_0 = 83,5$ МПа;

$$d_{об} = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}; W_0 = 0,28 \%; h/d = 0,47.$$

В результате реализации матрицы центрального рототабельного композиционного планирования на прессе СМ-1085 получили два адекватных уравнения, имеющих каноническую форму:

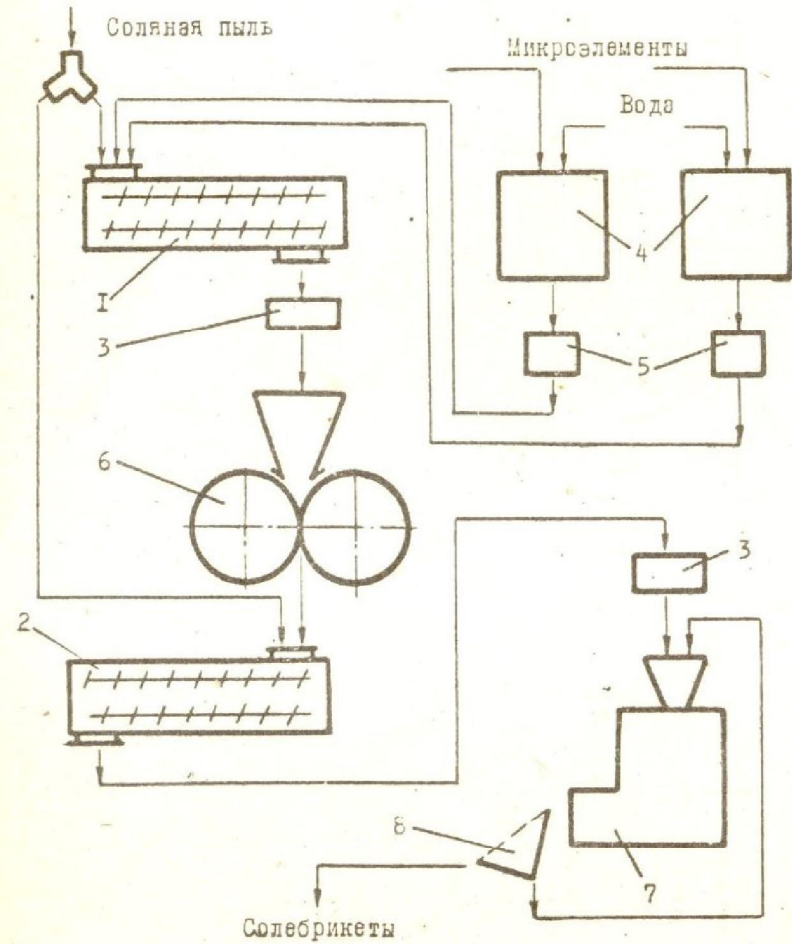


Рис.5. Технологическая схема производства солебрикетов из пылевидных соляных отходов:

- 1, 2 - смеситель; 3 - магнитный сепаратор; 4 - реактор;
- 5 - насос-дозатор; 6 - валковый гранулятор; 7 - брикетировочный пресс; 8 - колосниковый грохот.

Одесский технологический институт пищевой промышленности им. М. В. Ломоносова

с/в 13507

$$Y_1 = 9,5542 + 0,2472 Z_1^2 + 0,0399 Z_2^2 - 0,0580 Z_3^2 \quad (5)$$

$$Y_2 = 0,5163 - 0,0040 Z_1^2 - 0,0112 Z_2^2 - 0,0135 Z_3^2 \quad (6)$$

Поверхность отклика, описываемая уравнением (5), относится к типу "минимум". Уравнение (6) описывает поверхность, имеющую экстремум. Поскольку коэффициенты отрицательные, экстремум является максимумом. Оптимальный режим определяли нахождением условного экстремума (компромиссного оптимума) функции Y_1 с наложением ограничений функцией Y_2 , для чего в работе использован метод неопределенных множителей Лагранжа. Систему дифференциальных уравнений, полученных при реализации метода Лагранжа, решали на ЭВМ ЕС-1020, используя методы Ньютона и Стеффенсена.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Выполненные теоретические и экспериментальные исследования процесса изготовления соляных брикетов позволяют сделать следующие выводы и рекомендации:

1. Получены зависимости прочности и плотности соляных брикетов от основных параметров и условий прессования; влажности и крупности исходной соляной смеси; количества примесей в соли; количества и способа введения в исходную соль микроэлементов и мелассы; давления прессования. Наличие естественных и искусственно вводимых в соль примесей снижает прочность солебрикетов по сравнению с солебрикетами, изготовленными в равных условиях из соли без примесей.

При увлажнении исходной соли водой прочность солебрикетов достигает максимума при влажности соли 0,2-0,3%. С увеличением давления прессования максимум смещается в сторону меньших влагосодержаний. При увлажнении исходной соли раствором микроэлементов прочность солебрикетов также имеет максимум при 0,2-0,3% влажности, при дальнейшем введении раствора прочность брикетов резко снижается и при влажности 0,5-0,6% снижается в среднем в 2,5 раза. В такой же степени снижает прочность солебрикетов введение в соль соедине-

ний микроэлементов в сухом виде, но зависимость не имеет максимума.

2. Исследованные закономерности процесса прессования поваренной соли согласуются с молекулярной теорией брикетирования.

3. Установлено, что с увеличением уклона стенок матрицы в направлении прессования неравномерность распределения плотности по высоте брикета уменьшается. Теоретически получена аналитическая зависимость распределения плотности брикета по высоте, подтвержденная результатами экспериментов.

4. Разработан усовершенствованный пресс-инструмент для гидравлических прессов, позволяющий получать более качественные по прочности и плотности солебрикеты и улучшающий условия работы прессов, разработан пресс-инструмент к механическому колесорычажному прессу типа СМ-1085, позволяющий эффективно его использовать в условиях брикетирования поваренной соли.

5. Разработаны усовершенствованные технологические схемы изготовления кормовых солебрикетов:

- на основе каменной соли: размол соли - приготовление раствора солей микроэлементов - дозирование и смешивание добавок с солью - прессование;

- на основе озерной соли и галитовых отходов калийного производства: сушка соли - размол соли - приготовление раствора солей микроэлементов - дозирование и смешивание добавок с солью - прессование;

- на основе пылевидных соляных отходов: приготовление раствора солей микроэлементов и смешивание соляных отходов с раствором микроэлементов - гранулирование смеси - смешивание гранул с пылевидными соляными отходами - прессование.

6. Установлено, что галитовые отходы калийных предприятий могут быть эффективно использованы для кормления сельскохозяйственных животных в виде соляных брикетов, обогащенных микроэлементами. Рекомендуемая технология изготовления брикетов из галитовых отходов

аналогична технологии изготовления солебрикетов на основе озерной поваренной соли.

7. Применение метода многофакторного планирования эксперимента позволило получить математические модели процесса изготовления соляных брикетов на гидравлических и механических коленорычажных прессах, при помощи которых были выделены главные факторы, определяющие эффективность процесса брикетирования, получить оптимальные их значения.

8. На основании результатов проведенных исследований разработаны технологические регламенты изготовления кормовых солебрикетов для животных с использованием гидравлических и механических брикетировочных прессов. Разработан отраслевой стандарт ОСТ 18-87-77 "Соль поваренная для животноводства", включающий требования к прочности солебрикетов и методики ее определения.

9. Для внедрения в промышленность рекомендуются:

- усовершенствованные технологические схемы и оптимальные параметры (технологические регламенты);
- технологическая схема изготовления кормовых солебрикетов с использованием пылевидных отходов солеперерабатывающих предприятий;
- модернизированные механические коленорычажные прессы, обеспечивающие высокую производительность при необходимой прочности солебрикетов, а также строгую геометрию брикета, как необходимое условие для комплексной механизации погрузочно-разгрузочных и транспортно-складских работ с солебрикетами;
- усовершенствованный пресс-инструмент для изготовления солебрикетов: с конической матрицей; зазором между матрицей и пуансоном; с раздвижной матрицей.

10. Расчетный годовой экономический эффект от использования результатов исследования в промышленности составляет 832 тыс. руб. Внедрение технологического регламента процесса изготовления соле-

брикетов на солепредприятиях позволило повысить прочность выпускаемых солебрикетов на 50-60% без снижения производительности прессов и получить экономический эффект от снижения боя брикетов свыше 75 тыс. руб. в год.

II. Результаты исследования использованы при разработке проектов солебрикетного цеха комбината "Куулисол" и реконструкции солебрикетного цеха Баскунчакского соляного промысла.

РАБОТЫ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Влияние добавок микроэлементов и мелассы на прочность кормовых солебрикетов / В.П.Солотовка, Н.И.Лях, А.И.Науменко, В.А.Глуценко.- Экспресс-информация. Соляная промышленность / ЦНИИТЭИпищепром.- М., 1973, вып. 3, с. 18-20.

2. Регламент процесса брикетирования поваренной соли при использовании гидравлических прессов типа Б652, БО134, Б654, Б6238 / В.П.Солотовка, Н.И.Лях.- Утвержден МП СССР 25 июня 1973 г.- ВНИИсоль, г. Артемовск, 1973.- 14 с.

3. Опыт совершенствования процесса брикетирования поваренной соли на Аванском солеруднике / В.П.Солотовка, В.А.Глуценко и др.- Экспресс-информация. Соляная промышленность / ЦНИИТЭИпищепром.- М., 1974, вып. II, с. 6-9.

4. Солотовка В.П., Яроцкий В.Г. Производство минеральных брикетов-лизунцов.- Экспресс-информация. Соляная промышленность / ЦНИИТЭИпищепром.- М., 1974, вып. I, с.1-23.

5. Использование галитовых отходов калийных предприятий в качестве кормовой соли / В.П.Солотовка, В.А.Глуценко, В.М.Венедиктов, Н.М.Назаренко.- РЖ 191, М., ВИНТИ, 1977, №2, реф. 02Л161.

6. Солотовка В.П., Чайка И.К. Исследование процесса изготовления кормовых солебрикетов.- Известия вузов СССР. Пищевая технология, 1978, №5, с. 122-124.

7. Солотовка В.П., Чайка И.К. Брикетирование поваренной соли

на прессе СМ-1085.- Известия вузов СССР. Пищевая технология, 1978, № 6, с. 107-109.

8. Солотовка В.П., Чайка И.К., Воротников А.В. Исследование процесса прессования соляной пыли. Депонирована в ЦНИИТЭИпищепроме 29.01.80 г. № 265.

9. А.с. 388914 (СССР). Матричный узел / ВНИИсоль; Авт. изобрет. В.П.Солотовка. - Заявл. 27.07.71, №1685475/25; опубл. в Б.И., 1973, № 29.

10. А.с. 420477 (СССР). Пресс для изготовления соляных брикетов-лизунцов / ВНИИсоль; Авт. изобр. В.П.Солотовка, В.Г.Яроцкий, В.Г.Ильин. - Заявл. 25.02.72, № 1752634/30; опубл. в Б.И., 1974, № 11.

11. А.с. 469617 (СССР). Штемпельный пресс для брикетирования соли / ВНИИсоль; Авт. изобрет. В.П.Солотовка, В.Г.Яроцкий. - Заявл. 04.07.73, № 1940664/25; опубл. в Б.И., 1975, № 17.

12. А.с. 643144 (СССР). Способ изготовления соляных брикетов для животных / ВНИИсоль; Авт. изобрет. И.Р.Резанцев, В.П.Солотовка, Ю.М.Малецкий, И.Т.Мерко, И.К.Чайка.- Заявл. 21.09.77, № 2534246/30; опубл. в Б.И., 1979, № 3.