

Авторефер.
Б 20
ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

БАЛАЦКИЙ Олег Тимофеевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНОВОГО
И ГРАНУЛИРОВАННОГО СЫРЬЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ
КОМБИКОРМОВ ДЛЯ МОЛОДНЯКА ЖИВОТНЫХ

Специальность 05.18.02 – технология зерновых,
бобовых, крупяных 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 Украинском филиале Всесоюзного научно-исследовательского института комбикормовой промышленности и Всесоюзном ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательском институте зерна и продуктов его переработки (ВНИИЗ).

Научные руководители - кандидат технических наук, старший научный сотрудник, лауреат Государственной премии СССР П.П.ТАРУТИН;
- кандидат технических наук
Е.А.ДМИТРУК.

Официальные оппоненты - доктор сельскохозяйственных наук, профессор А.М.НИКИТИН;
- кандидат технических наук, доцент А.А.КОЧЕТОВА.

Ведущее предприятие: Киевский комбикормовый завод.

Защита состоится "21" марта 1980г. в 10⁰⁰ час. на заседании специализированного совета К 068.35.02 Одесского технологического института пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова г.Одесса, ул.Свердлова, II2).

Оттацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского технологического института пищевой промышленности им. М.В.Ломоносова.
Звослан "11" февраля 1980г.

ОНАХТ 21.03.11
Исследование процесс



v013478

И.К.ЧАЙКА

СКИЙ
НИИ-
СУБЕ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

"Основными направлениями развития народного хозяйства СССР на 1976-1980 годы", принятыми на XXV съезде КПСС, предусмотрено увеличить выпуск продукции комбикормовой промышленности не менее чем в 1,5 раза, довести объем производства комбикормов в 1980 году на государственных промышленных предприятиях до 53 миллионов тонн.

Перспективы развития животноводства требуют дальнейшего расширения ассортимента и освоения новых видов комбикормов. На июльском (1978г.) Пленуме ЦК КПСС подчеркивалось, что значительное увеличение продукции животноводства может быть достигнуто за счет повышения качества кормов и соблюдения установленной технологии их производства.

Актуальность темы. При интенсивном развитии животноводства большое значение приобретает производство комбикормов для молодняка животных. Выращивание телят и поросят ранних возрастных групп с использованием специальных комбикормов позволяет сократить расход цельного и снятого молока на выпойке телят более чем на 40% и получить от свиноматок дополнительные опоросы.

Отечественными и зарубежными исследованиями установлено, что комбикорма для молодняка животных должны соответствовать определенным показателям качества. Одним из основных показателей является крупность, характеризующаяся не только физиологически оптимальным средним размером частиц, но и соответствующим содержанием крупной и мелкой фракций. Средний размер частиц комбикормов для ранних возрастных групп животных должен быть в пределах 0,7-1,0 мм. Содержание крупной фракции - остаток на сите с отверстиями диаметром 2,0мм должно быть не более 5%, а мелкой - проход сита с отверстиями 0,2 мм - не более 25%. Крупность комбикорма и его фракционный состав зависят в основном от способов и режимов измельчения сырья.

Вопросами измельчения зернового сырья на молотковых дробилках и вальцовых станках занимались отечественные ученые - П.А.Козьмин, А.Р.Демидов, Я.Н.Куприц, В.А.Елисеев, С.В.Мельников, П.П.Тарутин, Л.Б.Аизикович, И.Т.Мерко, И.А.Наумов, А.П.Макаров, Б.М.Максимчук, И.Е.Мамбиш, Ф.Г.Плохов, В.И.Сыроватка, Г.И.Шуб, а также зарубежные исследователи - Р.Гийо, Б.Хаунер, А.Рус, М.Брандт и другие. Все эти исследования обогатили теорию и практику измельчения новыми данными и были направлены на повышение эффективности работы измельчающих машин, улучшение качества получаемых продуктов и снижение энергоемкости процесса.

Однако, при измельчении зернового и гранулированного сырья в комбикормовом производстве до настоящего времени не решен вопрос ограничения содержания тонкодисперсной фракции (при определенном среднем размере частиц) в комбикормах для молодняка животных. Недостаточно изучен также вопрос выбора параметров и режимов работы измельчающего оборудования. Из-за отсутствия обоснованной технологии измельчения сырья предприятия не вырабатывают комбикормов необходимого качества по крупности.

Цель работы заключалась в получении комбикормов для молодняка животных требуемого качества по крупности с ограниченным содержанием крупной и мелкой фракций с обоснованием и разработкой технологии измельчения зернового и гранулированного сырья.

Научная новизна работы заключается в разработке и обосновании схемы измельчения зернового и гранулированного сырья с использованием на I и II ступенях вальцовых станков и отсева, позволяющей получать продукты измельчения заданной крупности с минимальным содержанием мелкой фракции.

Практическая ценность исследования состоит в определении режимов работы вальцового станка на I и II ступенях и в разработке конк-

ретных рекомендаций промышленности по двухступенчатому измельчению зернового и гранулированного сырья (диаметр гранул до 10 мм) при выработке комбикормов для телят и поросят ранних возрастных групп.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на: втором республиканском совещании по комбикормам Латвийской ССР (Рига, 1975г.), Ученом совете Всесоюзного научно-исследовательского института комбикормовой промышленности (Воронеж, 1976г.), республиканском семинаре по организации производства и использованию специальных комбикормов, минеральных премиксов, карбамидного концентрата и других видов продукции, вырабатываемой на межколхозных комбикормовых заводах (Ковель, 1978г.), Ученом совете Всесоюзного научно-исследовательского института зерна (Москва, 1979г.).

Результаты исследований прошли производственную проверку на Каунасском комбикормовом заводе (1974г.), на Калитянском экспериментальном комбикормовом заводе (1975г.), внедрены на Изяславском межколхозном комбикормовом заводе и других предприятиях Хмельницкой области.

Структура и объем. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и предложений промышленности, перечня литературы и приложений. Изложена на 191 странице машинописного текста, в том числе содержит 26 рисунков, 42 таблицы и 6 приложений. Список литературы включает 182 источника, из которых 16 иностранных.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования выбрано наиболее широко применяющееся при выработке комбикормов для молодняка животных сырье: зерновое - ячмень без пленок и кукуруза, гранулированное - шрот подсолнечный и дрожжи кормовые (гранулы диаметром до 10 мм). Показатели качества исследованных образцов сырья представлены в табл. I.

Таблица I

Показатели качества исследованных образцов сырья

Показатели качества		В и д ы с ы р ь я			
		ячмень без пленок	кукуруза	гранули- рованный шрот	гранули- рованные дрожжи
Влажность,	%	12,6±0,8	12,3±0,5	8,4±0,3	9,6±0,8
Объемная масса,	кг/м ³	782±6	708±13	612±10	617±9
Масса 1000 зерен,	10 ⁻³ кг	32±4	423±10	-	-
Содержание сорной примеси,	%	0,7±0,6	0,9±0,8	-	-
Диаметр гранул,	мм	-	-	8,1±0,1	8,0±0,1
Длина гранул,	мм	-	-	15,6±0,7	15,8±0,5
Крошимость,	%	-	-	1,6±0,4	2,2±0,3

Лабораторные исследования проведены на экспериментальном стенде, включавшем молотковую дробилку ДДК, установку типа "Нагема" (вальцовый станок, рассев), емкости, приборы и оборудование для контроля и проведения анализов. Экспериментальные исследования выполнены путем проведения четырех серий опытов.

Параметры работы молотковой дробилки в первой и третьей сериях опытов соответствовали паспортным. Рабочие органы и параметры работы вальцового станка во всех опытах характеризовались следующими показателями: взаиморасположение рифлей "острие по острию", уклон рифлей - 4%, профиль рифлей - 35°/65°, окружная скорость вращающегося вальца - 4,5 м/с, отношение окружных скоростей 2,5. Количество рифлей в третьей серии опытов на I ступени 5, на II - 8 на 1 см. При выполнении второй серии опытов на молотковой дробилке и четвертой - на вальцовом станке - принятые параметры изменялись согласно планам экспериментов. Производительность оборудо-

вания во всех сериях опытов была постоянной и соответствовала для молотковой дробилки паспортной, а для вальцового станка - "Правилам организации и ведения технологического процесса на комбикормовых предприятиях".

Гранулометрический состав продуктов измельчения определялся ситовым анализом на лабораторном рассевке-анализаторе, а показатели качества зернового сырья приняты в соответствии с ГОСТом 3040 - 55 "Зерно. Методы определения качества", гранулированного - в соответствии с ОСТом 8-14-75 "Комбикорма гранулированные".

Оценка процесса измельчения осуществлялась по следующим основным показателям: содержание крупной фракции в продуктах измельчения - остаток на сите с отверстиями диаметром 2,0 мм, содержание мелкой фракции в продуктах измельчения - проход металлотканого сита с отверстиями 0,2 мм, средний размер частиц измельченного продукта, условная технологическая эффективность, и дополнительному - удельный расход электроэнергии.

В ряде случаев между изучаемыми признаками устанавливали корреляционные связи. При обработке экспериментальных данных статистически достоверным был принят уровень значимости 95%.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

I. Разработка критерия условной технологической эффективности процесса измельчения

Главное требование, предъявляемое к качеству комбикормов для молодняка животных, состоит в ограничении содержания как крупной, так и мелкой фракций при определенном среднем размере частиц ($d_{cp} = 0,7-1,0$ мм). Эффективность процесса тем выше, чем большее количество продуктов соответствует этим требованиям. Для оценки процесса измельчения разработан критерий условной технологической эффективности, определяющийся по формуле:

$$\eta_m = \frac{Q_n - (q_{к.ф} + q_{м.ф})}{Q_n} \cdot 100\%, \quad (I)$$

где Q_n - количество измельченного продукта, г;

$q_{к.ф}$ - содержание крупной фракции в продуктах измельчения, г;

$q_{м.ф}$ - содержание мелкой фракции в продуктах измельчения, г.

Показатель технологической эффективности имеет пределы от 0 до 100%.

Разработанный критерий дает возможность получить одновременно количественную и качественную технологическую оценку результатов работы не только отдельной измельчающей машины, но и процесса в целом, им можно также характеризовать крупность рассыпного комбикорма. Критерий справедлив и не теряет физического смысла, если ограничение накладывается на одну из фракций или когда ее содержание равно нулю.

2. Исследование влияния размера и формы отверстий сита молотковой дробилки на фракционный состав продуктов измельчения

Результаты измельчения зернового и гранулированного сырья на молотковой дробилке с различными размерами и формой отверстий сит показали, что средний размер частиц в пределах 0,7-1,0 мм можно обеспечить при установке сит: для ячменя диаметром 2 и 3 мм; кукурузы - диаметром 4 и 5 мм и чешуйчатого - 1,5x14 мм; гранулированного шрота подсолнечного - диаметром 5,6 и 7 мм, а также чешуйчатого - 2,0x14 и 2,5x14 мм. Однако, с учетом требований, предъявляемых к содержанию в продуктах измельчения крупной и мелкой фракций, для второй серии опытов были выбраны сита со следующими размерами отверстий: чешуйчатое 2,0x14 - для всех видов сырья; гладкие с круглыми отверстиями диаметром 5 мм - для ячменя без пленок и диаметром 6 мм - для кукурузы и гранулированного сырья.

3. Исследование влияния отдельных факторов на процесс измельчения в молотковой дробилке

Результаты работы молотковой дробилки зависят от многих факторов - вида сита, окружной скорости молотков, зазора, толщины молотков, их количества и формы, - поэтому их необходимо рассматривать комплексно и во взаимодействии. Сложность объекта исследования и наличие многих факторов обусловили применение методов планирования многофакторного эксперимента.

Для выделения основных факторов из 6 априори значимых проводились опыты по методу "случайного баланса", а поверхность отклика описывалась линейной моделью вида:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_5 x_5 + b_6 x_6 \quad (2)$$

План эксперимента и уровни варьирования факторов при измельчении зернового и гранулированного сырья приведены в табл.2. Значимость каждого фактора для всех показателей определялась по доверительному интервалу с учетом критерия Стьюдента при 5 и 10%-ном уровне значимости.

Эффекты факторов и характер их воздействия на показатели процесса измельчения приведены в табл.3. При измельчении зернового сырья направленность одноименных факторов совпадает для ячменя и кукурузы, гранулированного - для шрота подсолнечного и дрожжей.

Реализация эксперимента позволила количественно описать изменение фракционного состава продуктов измельчения зернового и гранулированного сырья в молотковой дробилке и оценить влияние факторов на технологические показатели процесса.

Установлено, что все основные факторы, которые снижают содержание крупной фракции, одновременно увеличивают количество мелкой. Коэффициенты корреляционной связи между содержанием крупной и мелкой фракции составляют для продуктов измельчения ячменя без пленок

Матрица планирования эксперимента по методу "случайного баланса"

№ опы- тов	Натуральное обозначение факторов					
	вид сита	окруж- ная скорость	зазор a ,	толщина молот- ков	коли- чество молот- ков Z ;	форма молотков,
	в.с.	$V, м/с$	мм	$\delta, мм$	шт.	$\Phi, м.$
Кодированное обозначение факторов						
X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	
1.	-гладкое	-60	-4	+6	+24	+ступенчатые
2.	+чешуйчатое	-60	-4	-2	+24	-прямые
3.	-гладкое	+90	-4	-2	+24	+ступенчатые
4.	+чешуйчатое	+90	-4	+6	-8	-прямые
5.	-гладкое	-60	+10	+6	-8	+ступенчатые
6.	+чешуйчатое	-60	+10	-2	-8	-прямые
7.	-гладкое	+90	+10	-2	-8	-прямые
8.	+чешуйчатое	+90	+10	+6	+24	+ступенчатые
9.	+чешуйчатое	-60	-4	-2	-8	+ступенчатые
10.	-гладкое	+90	+10	+6	+24	-прямые

$0,95 \pm 0,03$, кукурузы - $0,82 \pm 0,11$ и гранулированного шрота подоол-
ечного - $0,93 \pm 0,05$, что не позволяет одновременно изменять дей-
ствие факторов в желательном направлении.

Изменением кинематических и конотруктивных характеристик ра-
бочих органов молотковой дробилки при одноступенчатом измельчении
не представляется возможным получить продукты размола заданного
фракционного состава.

Значение коэффициентов регрессии b_i для показателей q к.ф., q м.ф., d ср., η_m , R уд. и факторов ν , z , Φ .м., в.с. процесса измельчения

Натуральное обозначение факторов	Наименование показателей и численные значения факторов					
	крупная фракция, q к.ф.	мелкая фракция, q м.ф.	средний размер частиц, d ср.	технологическая эффективность, η_m	удельный расход энергии, R уд.	
ν	-6,28 \pm 3,10	+1,17 \pm 0,65	-0,14 \pm 0,06	+5,12 \pm 2,45	+0,94 \pm 0,47	
z	-4,69 \pm 3,10*	+1,29 \pm 0,65	-0,10 \pm 0,06	+3,37 \pm 2,45	+0,81 \pm 0,47	
в.с.	+2,18 \pm 2,09	-0,68 \pm 0,65	+0,05 \pm 0,04	-	-	
Φ .м.	-	+0,80 \pm 0,70*	-	-	-	
b	-	+0,73 \pm 0,70*	-	-	-	
<u>Ячмень без пленок</u>						
ν	-2,13 \pm 0,90	+2,70 \pm 1,72	-0,09 \pm 0,05	-0,67 \pm 0,52*	+0,72 \pm 0,17	
z	-1,53 \pm 0,90	+1,98 \pm 1,72	-0,06 \pm 0,05	-	+0,54 \pm 0,17	
в.с.	+0,76 \pm 0,61*	-	+0,04 \pm 0,03	-	-	
Φ .м.	-	+1,31 \pm 1,28*	-	-0,87 \pm 0,70	+0,20 \pm 0,19*	
a	-	-	-	-0,53 \pm 0,45*	-	
<u>Гранулированный шрот подсолнечный</u>						

* Коэффициенты значимы с 90%-ной вероятностью.

4. Исследование процесса двухступенчатого измельчения
зернового сырья с применением молотковой дробилки
и вальцового станка

Для определения технологической эффективности и уровня энергозатрат процесса двухступенчатого измельчения зернового сырья проведены в лабораторных условиях опыты с применением пяти вариантов схем (рис. I). Результаты исследований (табл. 4) свидетельствуют о том, что самые высокие технологические показатели процесса измельчения обеспечиваются при работе по схеме №5, а самые низкие — по схеме №1.

Таблица 4

Результаты измельчения ячменя без пленок по различным схемам

Показатели	Варианты схем				
	№1	№2	№3	№4	№5
Технологическая эффективность, %	73,9±0,2	75,7±0,1	76,4±0,1	83,3±0,3	87,4±0,2
Содержание мелкой фракции, %	25,5±0,1	23,8±0,1	22,9±0,2	16,3±0,2	12,4±0,2
Средний размер частиц, мм	0,75±0	0,78±0	0,75±0	0,85±0,01	0,9±0,01
Удельный расход электроэнергии, кВт.ч т	14,74±0,06	8,66±0,02	7,22±0,02	6,5±0,04	5,75±0,03
Техническая производительность схем, %	81,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Снижение производительности при работе по схеме №1 происходит за счет возврата скодовой фракции (15–19%) на доизмельчение. Целесообразность работы дробилки в замкнутом цикле (схема №1) следует рассматривать только с учетом количества скодовой фракции, направляемой на повторное измельчение.

Применение на первой ступени измельчения молотковой дробилки

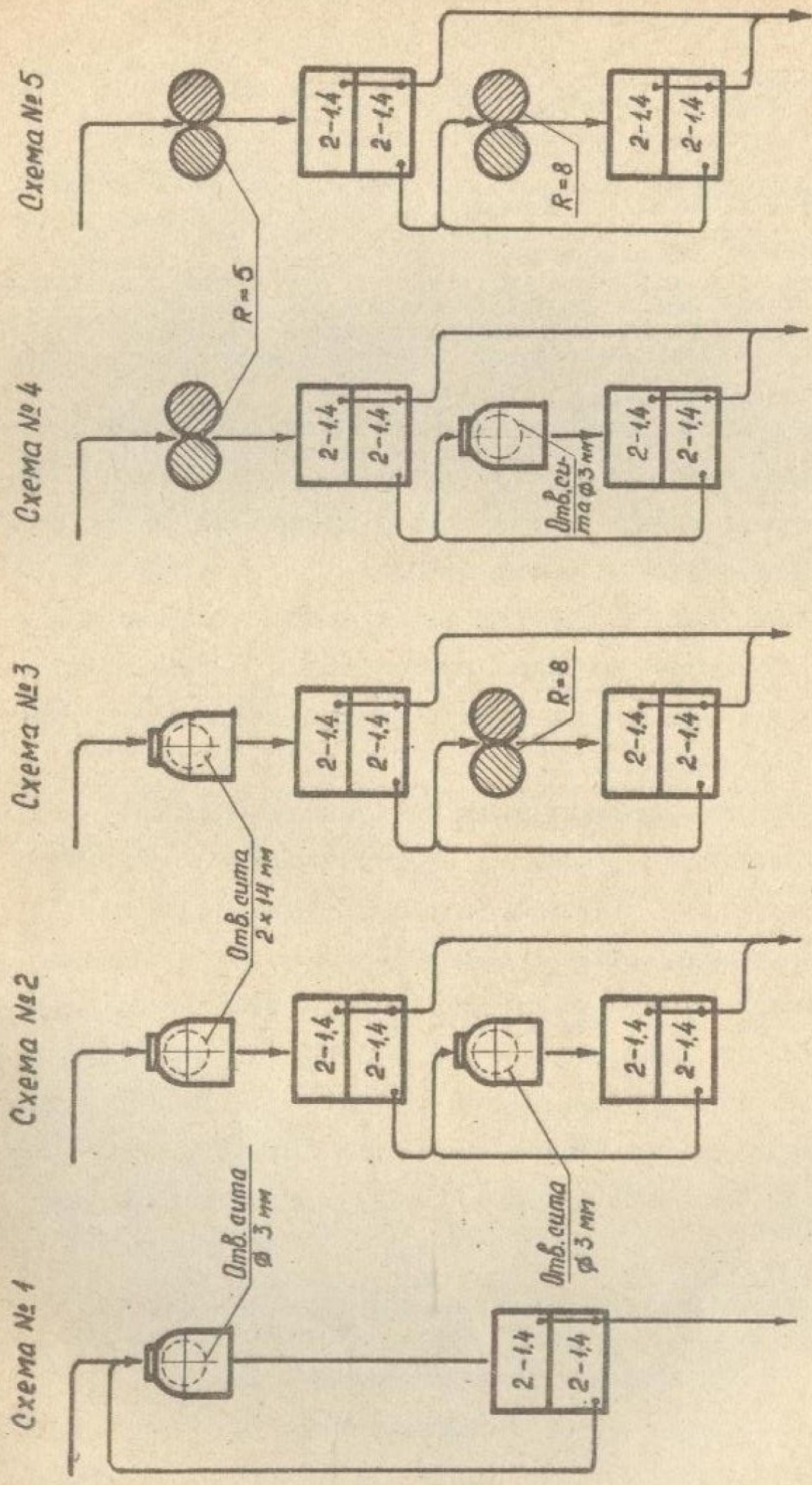


Рис. 1. Варианты технологических схем измельчения зернового сырья.

(схемы №2 и №3) не дает существенного улучшения технологических показателей процесса. Так, снижение содержания мелкой фракции, по сравнению со схемой №1, составило для схем №2 и №3 соответственно: 6,7 и 10,2%. Технологическая эффективность повысилась от 2 до 10% в зависимости от измельчаемой культуры. При двухступенчатом измельчении происходит существенное снижение удельного расхода электроэнергии.

Высокая технологическая эффективность и низкий удельный расход энергии при работе по схеме №5 обусловлен кратковременным воздействием рабочих органов на измельчаемый продукт при наличии менее энергоемких деформаций сжатия и сдвига.

Аналогичные закономерности по всем принятым критериям установлены при измельчении пшеницы и гороха, причем экспериментальные данные по измельчению пшеницы близки к данным по измельчению ячменя, а гороха - к кукурузе.

Сопоставление полученных данных позволяет установить:

- целесообразность применения двухступенчатого измельчения с использованием на I и II ступенях вальцовых станков (схема №5), что способствует повышению технологической эффективности и снижению удельного расхода энергии по сравнению с применением других схем;

- зависимость гранулометрического состава продуктов измельчения не только от физико-механических свойств сырья, но и от принципа воздействия рабочих органов на перерабатываемый продукт (удар и истирание на молотковой дробилке, сжатие и сдвиг на вальцовом станке).

5. Исследование основных факторов процесса измельчения зернового и гранулированного сырья на I и II ступенях с использованием вальцового станка

В четвертой серии опытов изучалось влияние на процесс измельчения количества рифлей на I см окружности R и рабочего зазора

между валками a .

По матрице двухфакторного эксперимента выполнено 4 опыта для каждого вида сырья в трехкратной повторности. Оценка результатов опытов проводилась по одному показателю – условной технологической эффективности, так как стабилизирующее действие рассева при двух – ступенчатом измельчении ограничивает содержание крупной фракции и обеспечивает средний размер частиц в пределах 1,0 мм.

При обработке результатов эксперимента по измельчению на I ступени были получены уравнения регрессии:

$$\text{для ячменя без пленок } \bar{y} = 56,19 + 15,02X_1 + 11,20X_2 + 0,58X_1X_2 \quad (3)$$

$$\text{для кукурузы } \bar{y} = 54,32 + 8,77X_1 + 13,37X_2 + 1,58X_1X_2 \quad (4)$$

$$\text{для гранулированного шрота подсолнечного } \bar{y} = 67,91 - 4,48X_1 + 6,94X_2 + 2,64X_1X_2 \quad (5)$$

Дисперсия воспроизводимости по критерию η_m и доверительный интервал были равны: 0,23 и 0,33; 0,24 и 0,33; 0,38 и 0,41.

Уравнения регрессии после реализации экспериментов по измельчению на II ступени имели вид:

$$\text{для ячменя без пленок } \bar{y} = 83,26 - 0,34X_1 + 3,85X_2 - 1,79X_1X_2 \quad (6)$$

$$\text{для кукурузы } \bar{y} = 77,37 + 0,67X_1 + 4,55X_2 - 1,45X_1X_2 \quad (7)$$

$$\text{для гранулированного шрота подсолнечного } \bar{y} = 79,23 - 1,26X_1 + 0,38X_2 - 3,12X_1X_2 \quad (8)$$

Дисперсия воспроизводимости и доверительный интервал соответственно были равны: 0,25 и 0,33; 0,27 и 0,35; 0,06 и 0,21.

Уравнения (3)–(8) не адекватно описывают область изменения факторов по показателю η_m . Сравнение абсолютных значений коэффициентов регрессии с величиной доверительного интервала показывает, что существенное влияние на технологическую эффективность оказывают не только линейные эффекты, но и их взаимодействие.

5.1. Оценка линейных влияний факторов на результаты измельчения. Изменение количества рифлей на I см длины окружности вальца R зна-

чительно влияет на гранулометрический состав продуктов измельчения. Величина влияния фактора R зависит от размера частиц исходного продукта. Так, на I ступени измельчения фактор R имел первостепенное значение для ячменя и второстепенное - для кукурузы и гранулированного сырья. Изменение уровня R с 3 до 6 рифлей на I см повышало показатель η_m при измельчении ячменя с 30,3 до 59,5%, а кукурузы и гранул соответственно с 33,8 до 48,2% и с 53,8 до 68,1%. Технологическая эффективность процесса повышалась за счет снижения содержания крупной фракции.

На II ступени измельчения влияние фактора R снизилось, и во всех опытах было меньше величины парных взаимодействий факторов. Увеличение количества рифлей снижает технологическую эффективность процесса за счет повышения содержания мелкой фракции.

Рабочий зазор a в большинстве опытов оказался основным фактором, влияющим на технологическую эффективность процесса измельчения. С уменьшением зазора от 0,9 до 0,3 мм на I ступени эффективность процесса повышается при 3 рифлях на I см с 30,3-53,8 до 51,7-73% в зависимости от измельчаемого сырья. Влияние фактора a возрастает с увеличением количества рифлей. Величина зазора на I ступени оказывает большее влияние на показатель η_m при измельчении кукурузы и гранул и меньшее - ячменя. Такая зависимость между рабочим зазором и размером частиц исходного сырья позволяет направленно изменять величину зазора для обеспечения высокой эффективности процесса.

Опытами установлено, что изменение зазора в большей степени снижает количество сходовой фракции с отсева (сито №1,4), чем увеличение количества рифлей. Так, уменьшение зазора с 0,9 до 0,3 мм ($R = 3$) снижает содержание схода в продуктах измельчения ячменя на 17,6%, а изменение рифлей с 3 до 6 на I см (при зазоре 0,9 мм) - только на 4,5%. В меньшей степени зазор влияет на крупность сходовой фракции. Аналогичные зависимости установлены и при измельчении

других видов сырья.

Определяющее влияние зазора на показатель η_m установлено в опытах по измельчению зернового сырья на II ступени. Изменение зазора от 0,7 до 0,3 мм способствует повышению технологической эффективности до 82-84% при измельчении ячменя и кукурузы, а дальнейшее уменьшение зазора до 0,1 мм ее снижает.

5.2. Оценка влияния взаимодействия факторов

Влияние отдельного фактора на процесс определяется не только его собственным уровнем, но и уровнем взаимодействующих с ним факторов, если они значимы. Из уравнений регрессии (3)-(8) следует, что все парные взаимодействия факторов значимы. Направленность действия и величина влияния линейных факторов, а также парных взаимодействий обусловила построение плана опытов по крутому восхождению. Во всех опытах крутое восхождение проводилось до тех пор, пока значение критерия η_m не начинало убывать.

Результаты экспериментов показали, что получение продуктов измельчения с ограниченным содержанием крупной и мелкой фракций обусловлено выбором величины межвальцового зазора b во взаимодействии с межрифельным пространством, которое зависит от шага t и высоты h рифлей. Влияние указанных параметров подтверждается гранулометрическим составом продуктов измельчения ячменя без пленок (рис.2). Аналогичные зависимости получены на II ступени измельчения.

Как видно из рис.2, суммарное количество частиц, размер которых превышает рабочий зазор 0,9 мм, составляет при 3 рифлях - 89,3%, а при 6 рифлях - 82,3%. В продуктах измельчения кукурузы и гранул шрота количество частиц со средним размером, превышающим зазор 0,9 мм, соответственно составляет: при 3 рифлях - 83,1 и 65%, а при 6 рифлях - 79,9 и 57,4%. Уменьшение зазора с 0,9 до 0,3 мм существенно снижает количество частиц со средним размером 3,5 мм и увеличивает количество частиц с размером 1,25 и 1,75 мм за счет

с.б. 13478

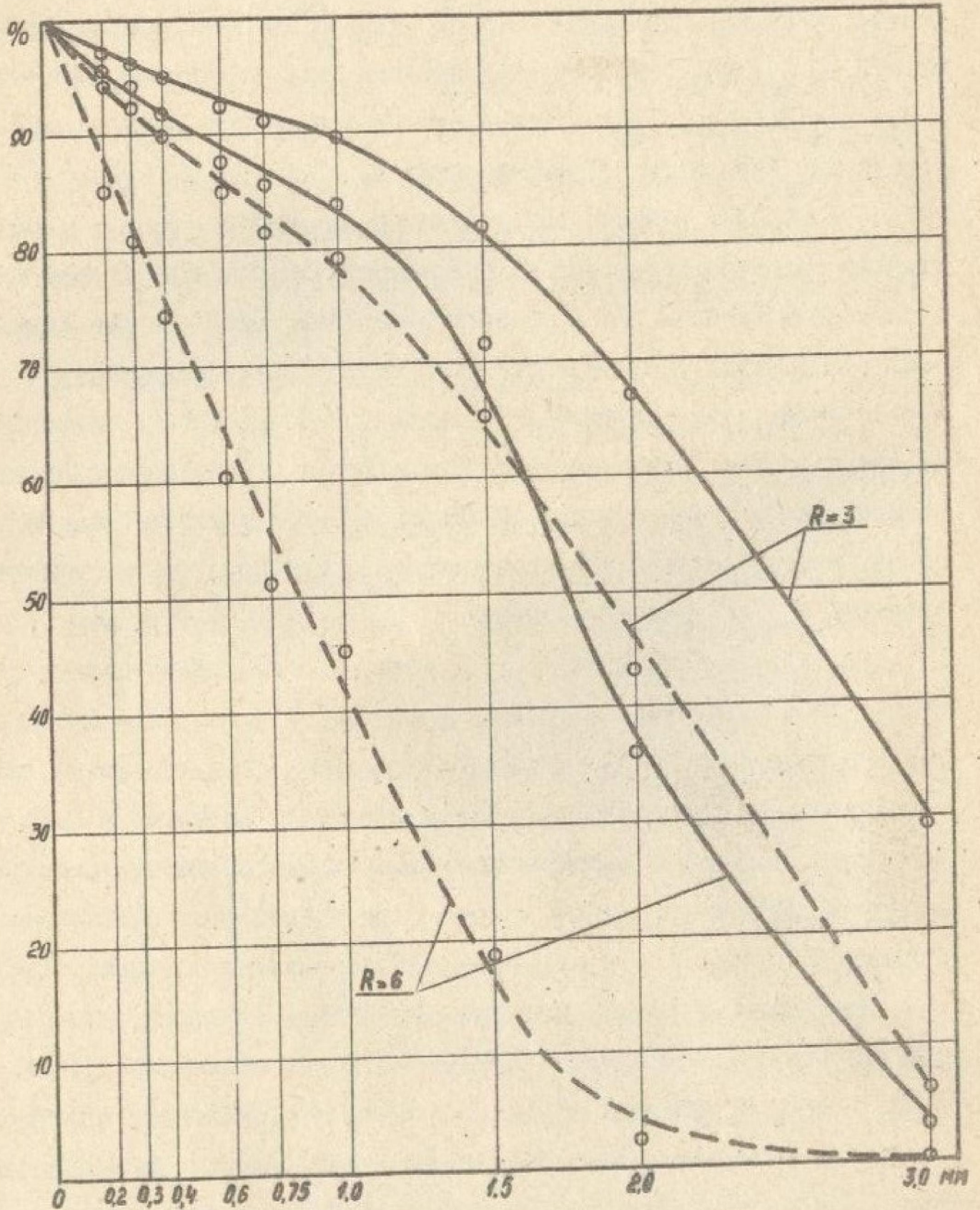


Рис. 2. Гранулометрический состав продуктов измельчения ячменя без пленок (сход с рис. 6) на I ступени при различном межвалцовом зазоре и количестве дифлей: — зазор 0,9 мм; - - - зазор 0,3 мм.

снижения содержания крупных фракций. Аналогичные зависимости получены при измельчении других видов сырья. Наличие большого количества крупных фракций в продуктах измельчения находит объяснение, если предположить, что рабочий зазор — величина переменная и изменяется в пределах от \bar{b} до $\bar{b} + 2h$, где \bar{b} — средний зазор между вершинами рифлей, h — высота рифли.

Лабораторные опыты по измельчению сырья с применением установленных параметров и режимов работы вальцовых станков обеспечили технологическую эффективность от 83 до 90% при содержании мелкой фракции менее 15%.

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОВЕРКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Двухступенчатое измельчение зернового сырья проводилось на мельнице №5 Каунасского заводууправления (Литовская ССР). При производственной проверке использовались вальцовые станки ЗМ и рассев ЗРМ. Готовый продукт был получен проходом сит №1,4.

В производственных условиях подтверждена высокая технологическая эффективность предлагаемого приема измельчения. Готовый продукт отвечает требованиям по крупности (табл.5).

Таблица 5

Результаты измельчения зернового сырья при выполнении производственных опытов

Показатели		К у л ь т у р а			
		ячмень шелуш.	кукуруза	пшеница	горох
Технологическая эффективность,	%	91,4	89,8	90,7	88,1
Содержание крупной фракции,	%	0,10	0,30	0,13	0,35
Содержание мелкой фракции,	%	8,50	9,85	9,15	11,50
Средний размер частиц,	мм	1,04	0,96	0,80	0,98
Удельный расход электроэнергии,	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$	5,46	4,12	4,70	4,40

Для зоотехнической оценки комбикормов были выработаны опытные партии по единому рецепту. Для партии №1 дробление зерновых культур проводилось по двухступенчатой схеме с использованием вальцовых станков, для партии №2 - на молотковых дробилках ДДМ с установкой чешуйчатых сит 1,0x14 мм.

Рассыпной комбикорм по крупности и фракционному составу характеризовался следующими показателями: для партии №1 $d_{cp}=0,79$ мм, $q_{к.ф.}=2,0\%$ и $q_{м.ф.}=26,5\%$, а для партии №2 $d_{cp}=0,83$ мм, $q_{к.ф.}=7,2\%$ и $q_{м.ф.}=38,5\%$.

Эффективность использования комбикормов проверялась на поросятах раннего отъема в Литовском научно-исследовательском институте животноводства. При равных затратах корма прирост живой массы поросят, получавших комбикорм партии №1, были выше на 21,4% по сравнению с приростом поросят, которые получали комбикорм партии №2. Увеличение прироста живой массы позволило снизить себестоимость 1 т прироста на 94 рубля.

Проверка эффективности использования комбикормов, выработанных с измельчением зернового сырья по предлагаемой технологии в сравнении с измельчением, рекомендуемым технологией итальянской фирмы Джи-Э-Джи, проведена на Калитянском животноводческом комплексе. Партии комбикормов вырабатывались согласно рецептам, применяемым на комплексе. Средний размер частиц и содержание мелкой фракции для контрольной и опытной партий имел соответственно следующие показатели: 0,69 и 0,76 мм, 44,2 и 25%. Зоотехнические опыты по скармливанию проведены Полтавским научно-исследовательским институтом свиноводства. Эффективность использования 1 т опытного комбикорма составила 5,75 рубля.

ВЫВОДЫ

1. Получены математические модели, количественно описывающие

изменения фракционного состава продуктов при измельчении зернового и гранулированного сырья в молотковой дробилке и позволяющие оценить влияние вида сита, окружной скорости молотков, зазора между молотками и ситом, толщины молотков, их количества и формы на технологические показатели процесса.

2. Исследованиями процесса одноступенчатого измельчения зернового и гранулированного сырья в молотковой дробилке установлено, что изменения кинематических и конструктивных параметров, направленные на снижение содержания крупной фракции, одновременно приводит к увеличению количества мелкой фракции.

3. Определена корреляционная связь между содержанием крупной (остаток на сите с отверстиями диаметром 2,0 мм) и мелкой (проход через сито с отверстиями 0,2 мм) фракциями. Коэффициенты корреляции при различных режимах измельчения составили для ячменя без пленок $0,95 \pm 0,03$; кукурузы - $0,82 \pm 0,11$ и гранулированного шрота - $0,93 \pm 0,05$. Поэтому при одноступенчатом измельчении в молотковой дробилке зернового и гранулированного сырья не обеспечивается возможность получения продукта выравненного состава заданной крупности ($d_{cp} = 0,7-1,0$ мм) с ограниченным содержанием крупной (не более 5%) и мелкой (не более 15%) фракций.

4. Исследованиями установлено, что требуемая крупность продуктов размола с ограниченным содержанием мелкой фракции обеспечивается при двухступенчатом измельчении с использованием на I и II ступенях вальцовых станков и просеивающего оборудования. При этом удельный расход электроэнергии снижается по сравнению с одноступенчатым измельчением на 25-60%.

5. Получены математические модели, позволяющие количественно оценить влияние величины зазора между вершинами рифлей рабочих вальцов, количества рифлей на I см окружности и взаимодействие

этих факторов на технологические показатели процесса измельчения зернового и гранулированного сырья.

6. На основании выполненных исследований предложена технологическая схема двухступенчатого измельчения зернового и гранулированного сырья (гранулы диаметром до 10 мм), определены режимы и параметры работы вальцовых станков на I и II ступенях, обеспечивающие требуемые качественные показатели готового продукта.

7. Производственная проверка подтвердила, что рекомендуемые технологические приемы позволяют получить требуемую крупность ($d_{cp} = 0,7-1,0$ мм) и фракционный состав (остаток на сите с отверстиями 2,0 мм не более 5%, проход через сито с отверстиями 0,2 мм не более 15%), повысить производительность линии измельчения, снизить удельный расход электроэнергии.

8. Зоотехническими опытами, проведенными Литовским интитутотом животноводства и Полтавским институтом свиноводства, выявлена эффективность комбикормов для молодняка животных, выработанных по рекомендуемой технологии.

Расчетная годовая экономия от снижения затрат на измельчение по комбикормовому заводу 360 т/сутки составит 2,2 тыс.рублей.

Экономия от снижения затрат корма по свиноводческому комплексу на 108 тыс.свиней в год составит 116,7 тыс.рублей.

Общая расчетная годовая экономия за счет внедрения предлагаемого способа измельчения составит 118,9 тыс.рублей.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Для обеспечения молодняка животных комбикормами требуемого качества по крупности и гранулометрическому составу рекомендуется:

- зерновое и гранулированное сырье (гранулы диаметром до 10мм) измельчать по двухступенчатой схеме с использованием на I и II сту-

пены вальцовых станков (рис.3);

- для получения продуктов измельчения с минимальным содержанием мелкой фракции при переработке сырья предлагаются следующие режимы работы вальцовых станков (табл.6);

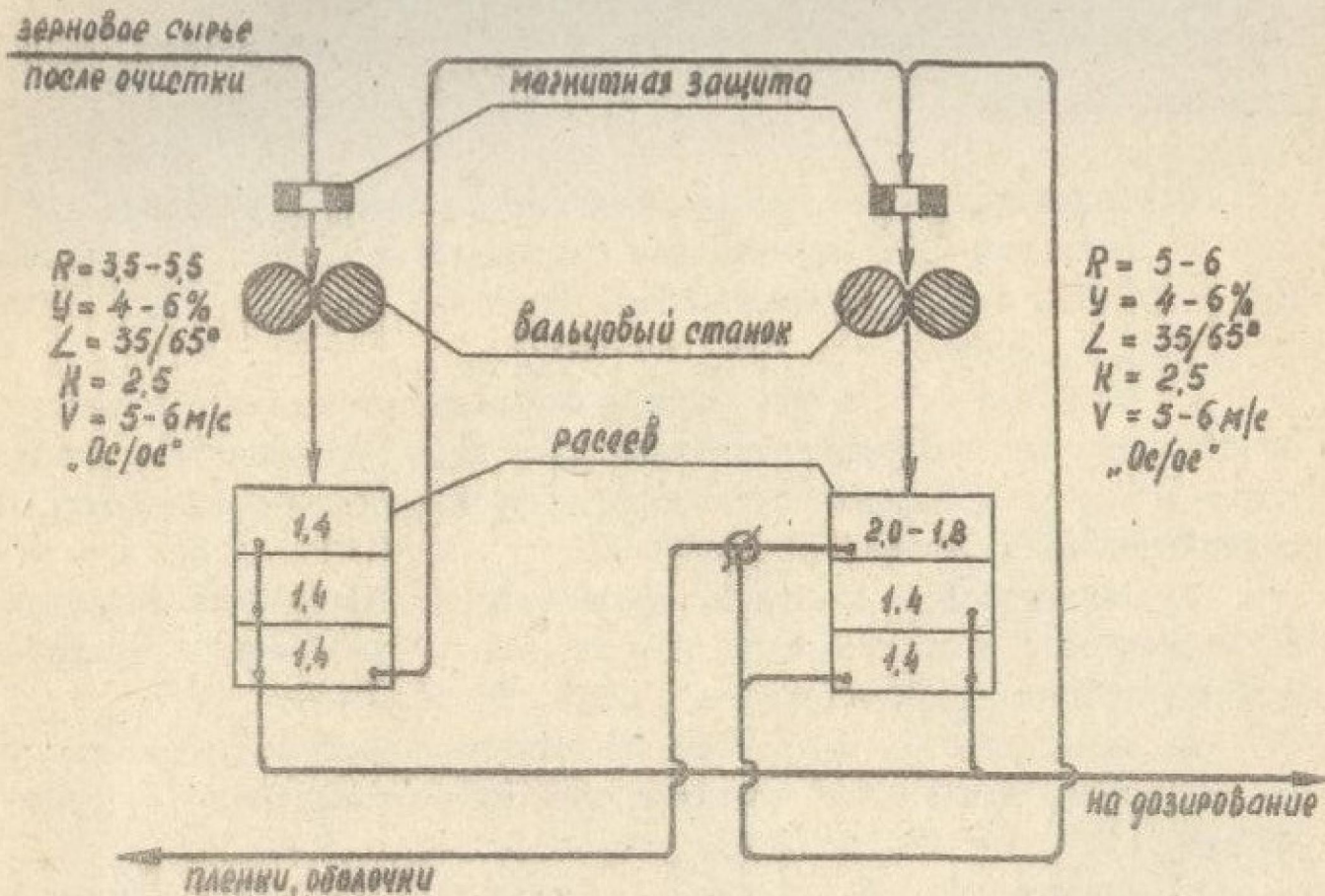


Рис.3. Принципиальная схема измельчения зернового сырья при производстве комбикормов для молодняка животных.

Таблица 6

Режимы измельчения зернового и гранулированного сырья

Перерабатываемая культура	Проход через сито №	в % от веса продукта, направляемого на отступень	
		I	II
Ячмень без пленок	I,4	70	95
Кукуруза, горох	I,4	65	90
Гранулированные прот подсолнечный и дрожки кормовые (гранулы диаметром не более 10 мм)	I,4	65	90

- предложенную схему и разработанные режимы и параметры целесообразно отразить в "Правилах организации и ведения технологического процесса на комбикормовых предприятиях";

- ограничения по содержанию крупной (остаток на сите с отверстиями диаметром 2,0 мм) и мелкой (проход металлотканого сита с отверстиями 0,2 мм) фракций отразить в ГОСТах на комбикорма для молодняка животных.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Балацкий О.Т. Эффективные способы измельчения комбикормов для молодняка сельскохозяйственных животных. "Вісник с.-г. науки", 1978, №11, с.80-83.

2. Балацкий О.Т. и др. Технологический процесс производства комбикормов для молодняка животных. - В кн.: Прогрессивные направления в развитии техники и технологии производства комбикормов в Латвийской ССР. Рига, 1975, с.84-88.

3. Левченко В., Ильчук В., Балацкий О. Измельчение зерновых ингредиентов при производстве комбикормов. "Мукомольно-элеваторная и комбикормовая промышленность", 1975, №5, с.38-39.

4. Балацкий О.Т. и др. Производственная выработка комбикормов для молодняка животных и эффективность их скармливания. - Труды ВНИИКП, 1977, вып.12, с.77-83.

5. Ильчук В.Б., Балацкий О.Т. Измельчение зерновых компонентов при производстве комбикормов для молодняка животных. - Труды ВНИИКП, 1978, вып.13, с.5-7.