

Автор ер.

М 12

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
У С С Р

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА

---

На правах рукописи

Маголец Александр Степанович

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЛАГОТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ  
ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ В ПРОЦЕССЕ ЭКСТРУЗИИ

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

Переучет 1987

Одесса - 1980

Работа выполнена на кафедре технологии комбикормовых и гидролизных производств Одесского технологического института пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова и в Херсонском филиале ОТИПИ имени М.В.Ломоносова.

Научный руководитель -

кандидат технических наук, доцент

К.И.Шмат

Официальные оппоненты:

доктор сельскохозяйственных наук,

профессор

В.Я.Максаков

кандидат технических наук, доцент

В.А.Яковенко

Ведущее предприятие - Тираспольский комбинат хлебопродуктов.

Защита состоится "30" мая 1980г. в 10<sup>15</sup> час. на заседании специализированного совета К 068.35.02 в Одесском технологическом институте пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова (270039, г.Одесса, ул.Свердлова, II2).

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

отслан "26" апреля 1980г.

К. В. 13480  
Одесский технологический институт пищевой промышленности имени М. В. Ломоносова

БИБЛИОТЕКА

СПАХТ

03.07.12

Исследование эффективности



v013480

12

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**А к т у а л ь н о с т ь р а б о т ы.** В постановлении июль - ского (1978г.) Пленума ЦК КПСС намечено к концу XI пятилетки довести производство мяса до 19,5 млн.т, увеличив также производство молока, яиц, шерсти. Успешное решение этих задач зависит от дальнейшего развития комбикормовой промышленности, снабжающей животноводство доброкачественными, высокопитательными кормами. Только за счет повышения качества комбикормов и соблюдения технологии их производства можно значительно увеличить выход готовой продукции животноводства.

В себестоимости комбикормов на долю зерновых и жмыхов приходится около 90%, а потребление зерновых на корм за последние годы составляет 31% от общего мирового производства зерна. Учитывая дефицит зернового сырья в целом по стране, проблема его эффективного использования в кормлении сельскохозяйственных животных выдвигается на первое место.

Основными факторами, определяющими питательную ценность любого кормового средства, являются углеводы, белки, жир, витамины и др. В зерновом сырье основным источником доступной энергии является крахмал, который в нативном состоянии в желудке животного медленно подвергается гидролизу, а недостаточная активность амилолитических ферментов у молодняка животных является одной из основных причин его плохой переваримости. Поэтому возникла необходимость с помощью механических и химических воздействий на зерно изменить структуру крахмальных зерен.

К одному из направлений, вызывающих изменения в структуре крахмала, относится влаготепловая обработка зернового сырья методом экструзии. Однако, ее влияние на физико-химические свойства зерна и технологические свойства готового продукта изучены недостаточно.

**Ц е л ь ю р а б о т ы** является повышение питательной цен -

ности и сохранности зернового сырья при его подготовке к вводу в комбикорма способом экструзии. При достижении этой цели были решены следующие задачи: выявлены и обоснованы основные факторы, влияющие на процесс экструзии; изучено влияние режимов экструзии на изменение биохимических, технологических и санитарно-гигиенических свойств обрабатываемого зернового сырья; исследована динамика движения зернового сырья в экструдере; получена математическая модель технологического процесса экструзии и определена область оптимальных значений параметров; разработаны практические рекомендации по оптимизации процесса экструзии.

**Научная новизна работы.** Исследована эффективность влаготепловой обработки зернового сырья способом экструзии, обеспечивающая существенные изменения в его углеводном комплексе. Впервые получена математическая модель технологического процесса экструзии, включающая основные и наиболее существенно-влияющие параметры; определена область оптимальных значений параметров; получены аналитические выражения, описывающие динамику процесса; исследовано влияние режимов экструзии на изменение углеводного и белкового комплексов, витаминов и жира зернового сырья, а также на технологические свойства и санитарное состояние экструзионного продукта.

**Практическая ценность работы.** На основе результатов исследований разработана схема технологического процесса экструзии зернового сырья и установлены оптимальные режимы процесса экструзии. Применение разработанной технологии обработки зернового сырья при подготовке его к скармливанию позволит повысить питательную ценность и усвояемость на 11%.

**Апробация работы.** Основные результаты работы доложены и одобрены на научных конференциях профессорско-преподавательского и научного состава ОТИШ им.М.В.Ломоносова в 1978, 1979 и 1980 годах; на научно-технической конференции "Молодежь Херсонщины

200-летию родного города" (Херсон, 1978г.); республиканской конференции "Совершенствование техники и технологии комбикормового производства - путь улучшения качества" (Тбилиси, 1979г.).

Полученные результаты исследований опубликованы в 4-х статьях. Зерно кукурузы, входящее в состав рациона, обрабатывалось по предложенной схеме и рекомендованных режимах и скармливалось пороссятам-сосунам в совхозе им.60 лет Советской Украины Херсонской области.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, общих выводов и рекомендаций, списка литературы и приложения. Работа изложена на 177 страницах машинописного текста, содержит 29 таблиц и 34 рисунка. Дополнительно в приложении помещено 2 рисунка и 11 таблиц. Список литературы включает 180 наименований, из них 25 иностранных.

**В главе I** приведено обоснование применения влаготепловой и тепловой обработки зернового сырья при его подготовке к вводу в комбикорма. Отмечены основные изменения, происходящие с крахмалом, белками, витаминами и жирами при влаготепловой обработке, и влияние основных факторов влаготепловой обработки на биохимические и технологические свойства зернового сырья.

Анализ применяемых способов и технологических линий тепловой и влаготепловой обработки показал, что в последние годы в технологии производства комбикормов широко применяются новые, более перспективные способы подготовки сырья к основному процессу дозирования и смешивания. Их суть заключается в сочетании тепла и влаги с механическим воздействием для обеспечения оптимальных условий прохождения биохимических процессов в зерновом сырье при подготовке его к скармливанию животным.

Отмечено недостаточное исследование и отсутствие экспериментально обоснованных параметров процесса экструзии, также отсутствуют данные по комплексному изучению влияния и взаимодействия режимов экстру-

зии на характер протекающих биохимических процессов. На основании проведенного анализа литературных данных поставлена цель и определены задачи исследования.

В главе II описана экспериментальная база, дано обоснование выбора объекта исследования, приведена методика исследований на экспериментальном экструдере, обоснованы выбор критериев для оценки эффективности процесса экструзии и методика исследований с применением математической теории планирования эксперимента. Экспериментальная часть работы выполнена на лабораторной установке (рис. I) в Херсонском филиале ОТИП им. М. В. Ломоносова и в лаборатории комбикормового производства ОТИП им. М. В. Ломоносова.

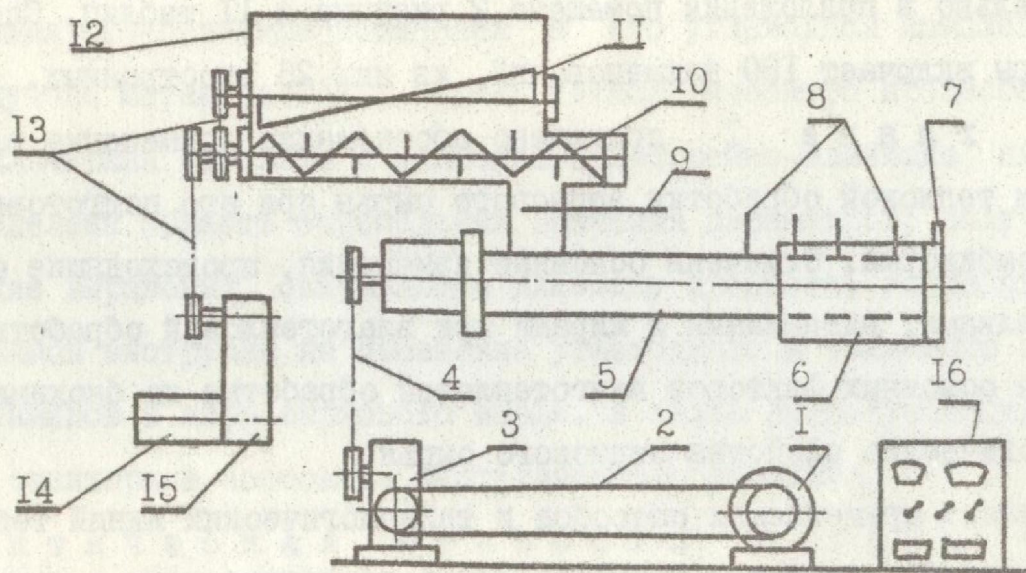


Рис. I. Схема лабораторной установки для экструзии зернового сырья

1, 14 - электродвигатель; 2 - клиноременная передача; 3, 15 - редуктор; 4, 13 - цепная передача; 5 - экструдер; 6 - электрообогревательные элементы; 7 - датчик давления; 8 - датчики температуры; 9 - заслонка; 10 - шнек-питатель; II - ворошитель; 12 - емкость; 16 - пульт управления.

Геометрическое подобие экспериментальной и промышленной установок обеспечено равенством линейных размеров пресс-экструдера, а гидродинамическое и тепломассообменное подобие - равенством объемного расхода продукта через экструдер и подобием температурных режимов.

В качестве основного объекта исследований для разработки оптимальных режимов экструзии принято зерно пшеницы, а при оптимальных режимах экструзии исследования проводились дополнительно на ячмене, кукурузе и комбикорме К 55-13 для мясного откорма свиней. Программа экспериментальных работ предусматривала следующие взаимосвязанные стадии постановки исследований:

- теоретические и экспериментальные исследования по изучению: движения зернового сырья и степени его сжатия в межвитковом пространстве экструдера, распределения давления вдоль шнека экструдера и закономерного изменения "свободного объема" витков ;

- влияние технологических параметров процесса экструзии на биохимические, технологические и санитарно-гигиенические свойства обрабатываемого зернового сырья;

- составление математической модели для установления взаимосвязи входных (факториальных) и выходных (результативных) параметров, определяющих процесс экструзии с целью его оптимизации.

В качестве критериев оптимальности технологического процесса приняты:

- степень декстринизации, которая представляет собой отношение разности между общим содержанием сахаров и декстринов в обработанном зерновом сырье  $D_1$  и их количеством в исходном  $D_0$  к общему содержанию сахаров и декстринов в обработанном зерновом сырье  $D_1 - Y_1, \%$

$$Y_1 = \frac{D_1 - D_0}{D_1} \cdot 100 \% ; \quad (I)$$

- энергоемкость технологического процесса, т.е. полезная удельная энергия, затрачиваемая на единицу вырабатываемой продукции,  $- Y_2, \text{ кВт-ч/т.}$

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили по схеме с равномерным дублированием опытов.

Содержание сахаров и декстринов в зерновом сырье определяли по

их способности в присутствии серной кислоты превращаться в производное фурфурола, конденсирующее с антроном. Оптическую плотность растворов измеряли на спектрофотометре СФ-26 при длине волны 610 нм. Клейстеризацию крахмала определяли методом, основанным на определении высвобожденной амилазы при клейстеризации с помощью колориметрического определения йодного (синего) комплекса. Оптическую плотность растворов определяли на спектрофотометре СФ-26 при длине волны 610 нм.

Содержание белка определяли по методу Кьельдаля, аминокислот - методом ионообменной хроматографии на автоматическом анализаторе КЛА-5 (Япония). Фракционирование белка проводили по методике А.Н.Белозерского. Атакуемость белка протеолитическими ферментами определяли по модифицированной методике *in vitro*. Общее содержание бактерии в Ig определяли высевом из десятикратных разведений смыва с продукта под мясопептонный агар. Содержание жира, витаминов, микроэлементов и кислотность, а также технологические свойства до и после экструзии определяли стандартными методами в соответствии с ГОСТами.

В главе III приведены результаты исследований движения зернового сырья в межвитковом пространстве экструдера, определена степень его сжатия и продолжительность обработки, закономерность изменения "свободного объема" витков шнека экструдера. Исследование процесса экструзии проводили на экструдере, у которого свободный объем витков шнека изменялся по зависимости:

$$V_c^* = V_0^* \cdot e^{-k \cdot u}, \quad (2)$$

где  $V_0^*$  - свободный объем первого витка;  $k$  - постоянный коэффициент;  $u$  - номер соответствующего витка,  $u = 1, 2, \dots, 12$ .

Математическая обработка геометрических размеров экспериментальной установки позволила определить  $V_0^*$  и  $k$ , с учетом которых уравнение (2) приняло вид:

$$V_c^* = 0.174 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-0.184 \cdot u} \quad (M^3). \quad (3)$$

Полученное уравнение адекватно описывает изменение "свободного объема" витков шнека.

Масса экструдированного зернового сырья, продвигаясь передними поверхностями витков в пространстве кольцеобразного сечения, подвергается уплотнению и сжатию, которое происходит за счет уменьшения зазора между частицами продукта и проникновения одних частиц в промежутки между другими. При этом происходит пластическая деформация частиц, следствием которой является разрушение структуры крахмальных зерен.

Из представленной на рис.2 кривой видно, что начиная с 5-го витка, степень сжатия продукта уменьшается, и на последнем витке ее величина меньше первоначальной. Это объясняется тем, что обрабатываемый продукт попадает в зону высокой температуры (160-180°C), где происходит "мгновенное" испарение поверхностной влаги и увеличение давления, что приводит к биохимическим изменениям в структуре зерна. При выходе продукта из экструдера в результате резкого перепада да-

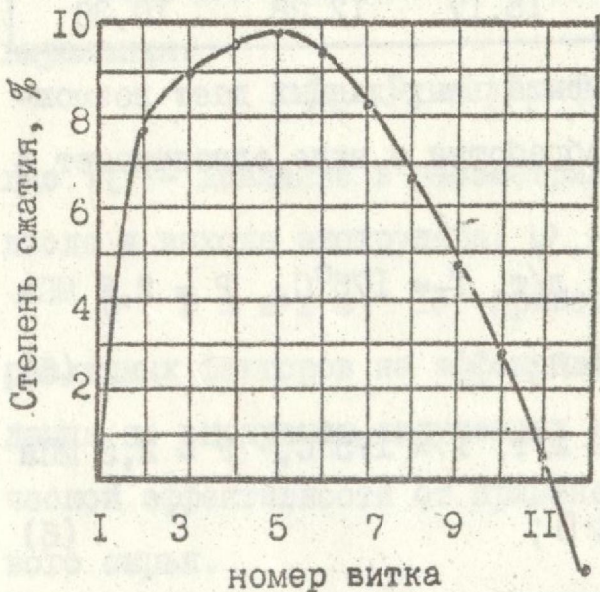


Рис.2. Изменение степени сжатия зерна пшеницы по длине шнекового вала экструдера.

вления от значительного (1,0 - 2,5 МПа) до атмосферного происходит сильное парообразование, разрыв клеточной структуры, разбухание и понижение первоначальной плотности продукта на 10%. Продолжительность обработки зернового сырья в экструдере зависит от режимов обработки, технологических свойств сырья и конструктивных характеристик шнека и выражается зависимостью:

$$\tau = \frac{1}{\pi \cdot D_s \cdot n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{T_u}{\sin \alpha_u \cdot \cos \alpha_u} \cdot r, \quad (4)$$

где  $T_u$  - шаг витка;  $\alpha_u$  - угол наклона нитки витка;  $D_s$  - диаметр экструдера;  $n$  - частота вращения шнека;  $\gamma$  - коэффициент, учитывающий технологические свойства зерна.

Однако, значения времени прохождения продукта через экструдер, полученные экспериментально, значительно отличаются от расчетных (табл. I). Это является результатом действий потока, направленного против основного движения, а также обратного движения продукта в разрыв между витками шнека, торможения некоторой части продукта, отстающей от основной массы, и проворачиванием продукта вместе со шнеком.

Таблица I

Теоретическое и экспериментальное время обработки зерна пшеницы при различных режимах экструзии, с

Режим обработки	Частота вращения, об/мин				
	36	42	51	63	75
$Q = 300$ л/т $T = 175^\circ\text{C}$	105	95	85	70	50
$Q = 350$ л/т $T = 175^\circ\text{C}$	90	80	68	47	25
Теоретическое	21,49	18,42	15,17	12,28	10,30

Математическая обработка экспериментальных данных дает возможность получить выражения для времени обработки в виде однопараметрических регрессий:

- при режимах обработки -  $Q = 300$  л/т,  $T = 175^\circ\text{C}$ ,  $P = 2,5$  МПа

$$\tau = 148,10 - 1,279 \cdot n; \quad (5)$$

- при режимах обработки -  $Q = 350$  л/т,  $T = 175^\circ\text{C}$ ,  $P = 2,5$  МПа

$$\tau = 151,69 - 1,652 \cdot n; \quad (6)$$

где  $n$  - частота вращения шнека экструдера.

Движение измельченного и увлажненного до 30-35% зернового сырья может быть описано уравнениями гидродинамики вязкой жидкости. Однако, отсутствие данных о вязкости исследуемой смеси и градиента дав -

ления затрудняет определение скорости движения или дает ее приближенное значение. Поэтому скорость движения и величину давления в любой точке экструдера определяли с помощью метода электрогидродинамических аналогий, согласно которому скорость продукта определяется из соотношения:

$$V_{cp} = K_c \cdot V_p, \quad (7)$$

где  $V_p$  - скорость потока при равномерном движении,  $K_c$  - коэффициент сопротивления. Коэффициент сопротивления  $K_c$  и скорость  $V_p$  определяются из выражений:

$$K_c = \frac{S'}{m' \cdot \Delta S'}; \quad V_p = \frac{Q}{S_{эkv}}, \quad (8)$$

где  $S'$  - длина заданной эквипотенциали;  $\Delta S'$  - отрезок эквипотенциали между соседними силовыми линиями;  $Q$  - общая производительность в данной точке;  $S_{эkv}$  - площадь заданной эквипотенциали по сечению экструдера;  $m'$  - число силовых линий.

Величина давления для любой точки экструдера определяется из выражения:

$$P_i = P_0 + (P_1 - P_0) \cdot \varphi / 100, \quad (9)$$

где  $P_i$  - давление в рассматриваемой точке;  $P_0$  и  $P_1$  - давление на входе и выходе экструдера;  $\varphi$  - величина потенциала в данной точке.

В главе IV приведены результаты исследований влияния различных факторов на эффективность процесса экструзии, даны рекомендации по внедрению полученных результатов, приведен расчет экономической эффективности от применения технологии экструдирования зернового сырья.

Для получения полной информации о действии и взаимодействии факторов, а также с целью сокращения числа опытов, проводили многофакторный эксперимент  $N = 2^4$ . Значение уровней изменяемых факторов, а также интервалы варьирования, выбраны на основании априорной информации и предварительных исследований (табл.2).

Уровни и интервалы варьирования параметров

Показатели	К-во воды Q, л/т	Температура T, °C	Время τ, с	Давление P, МПа
Интервал варьирования	25	10	22,5	0,5
Верхний уровень	350	180	95	3,5
Основной уровень	325	170	72,5	3,0
Нижний уровень	300	160	50	2,5
Кодовое обозначение	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>

После реализации планов эксперимента его результаты обрабаты - вались на ЭЦВМ "Наири-К". По вычисленным значениям коэффициентов регрессии составляли уравнения регрессии:

для первого критерия оптимальности

$$\hat{y}_1 = -224,094 + 0,0853Q + 2,548T + 0,01\tau + 18,188P - 0,0007Q\tau - 0,000128Q\tau - 0,03374Q\cdot P + 0,00374T\cdot P + 0,049\tau\cdot P - 0,00046T\cdot\tau + 0,0002Q^2 - 0,00638T^2 + 0,00025\tau^2 - 1,3348P^2; \quad (10)$$

для второго критерия оптимальности

$$\hat{y}_2 = -95,68 - 0,1216Q + 1,087T - 0,5297\tau + 26,955P - 0,000022Q\cdot T + 0,00045Q\cdot\tau + 0,0155Q\cdot P + 0,00115T\cdot\tau - 0,1387TP - 0,00388\tau\cdot P + 0,00008Q^2 - 0,00199T^2 + 0,0012\tau^2 - 1,0248P^2.$$

Полученные модели процесса экструзии проверялись: по критерию Кохрена - однозначность дисперсий и воспроизводимость опытов; по критерию Стьюдента - значимость коэффициентов уравнений регрессии; по критерию Фишера - адекватность полученных математических моделей реальному процессу. Кодированные и раскодированные оптимальные величины факторов приведены в табл.3.

Влаготепловая обработка способом экструзии оказывает существенное влияние на углеводный комплекс зерна. Нагрев зерна в процессе экструзии до высоких температур вызывает декстринизацию крахмала,

т.е. образование легкорастворимых углеводов, а наличие влаги в сочетании с высокой температурой способствует клейстеризации крахмала.

Таблица 3

Оптимальные величины факторов и критериев оптимизации

Показатели	Значения	
	$Y_1$	$Y_2$
Кодированное обозначение факторов:		
количество вводимой влаги - $X_1$	-0,877286	-0,63984
температура - $X_2$	-1,17350	2,71193
время - $X_3$	1,82900	0,25459
давление - $X_4$	-0,75810	-0,67440
Раскодированные оптимальные значения факторов:		
$Q$	303,067	309,00
$T$	181,735	197,12
$\tau$	30,340	78,22
$P$	2,620	2,66
Оптимальное значение критерия оптимизации:	48,183	8,1624

Исследование процесса экструзии измельченного зерна пшеницы показало, что общее содержание сахаров и декстринов возрастает с увеличением продолжительности обработки и температуры, но снижается с увеличением количества вводимой влаги. Экструзия исследуемых образцов при температуре 170-190°C и продолжительности обработки 70-80 с увеличивает содержание сахаров и декстринов в 2-2,5 раза, а клейстеризация крахмала при этом составляет 23-33% (рис.3,4,5). Дальнейшее повышение температуры в процессе экструзии вызывает незначительное увеличение степени декстринизации крахмала.

Изучено влияние процесса экструзии на атакуемость крахмала амилолитическими ферментами. Переваримость зерна кукурузы, прошедшего обработку в экструдере при оптимальных режимах, увеличивается по сравнению с необработанным в 2 раза, что объясняется изменениями, которые произошли с крахмалом в процессе экструзии в результате на-

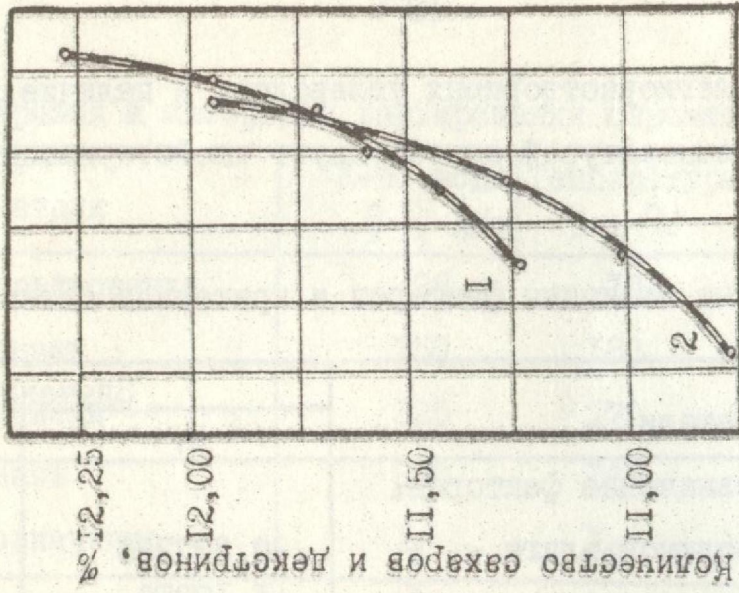


Рис. 5. Влияние времени обработки на содержание сахаров и декстринов —  
 1- Q=300л/т, T=175°C;  
 2- Q=350л/т, T=175°C

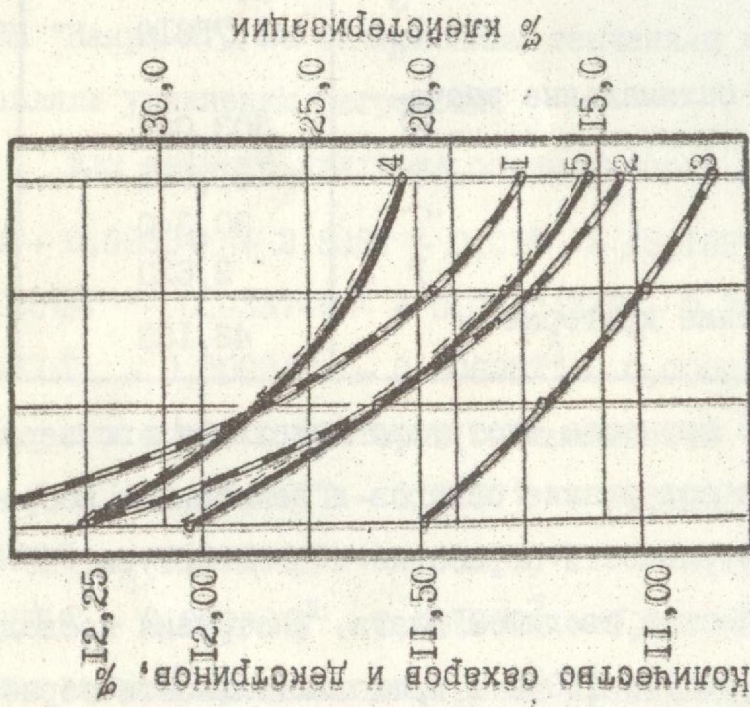


Рис. 4. Влияние количества вводимой влаги на содержание сахаров и декстринов — и клейстеризацию крахмала: 1- T=180°C, τ=85с;  
 2, 4- T=180°C, τ=70с;  
 3, 5- T=160°C, τ=70с

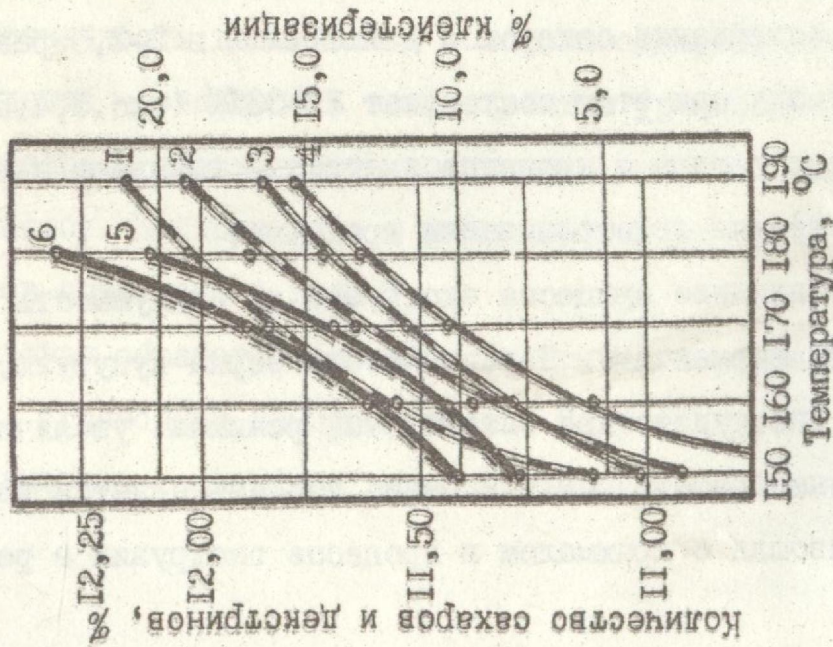


Рис. 3. Влияние температуры на содержание сахаров и декстринов — и клейстеризацию крахмала —  
 1, 6- Q=300л/т, τ=85с;  
 2- Q=350л/т, τ=85с;  
 3- Q=300л/т, τ=70с;  
 4, 5- Q=350л/т, τ=70с

рушения связей между молекулами крахмала и внутримолекулярных связей. Следствием этих изменений является ускорение процесса ферментации при скармливании обработанного зерна.

Изучение влияния процесса экструзии на фракционный состав белков зернового сырья показало, что режимы обработки практически не изменяют суммарного содержания белков (табл.4), хотя изменения в соотношении белковых фракций существенны.

Таблица 4

Влияние режимов экструзии на фракционный состав зернового сырья и комбикорма

Объект исследования		Фракции белка, %				
		водосо- левая	спирто- вая	щелоч- ная	остаток	сумма
Пшеница	без обработки	2,10	3,50	3,90	1,50	10,90
	обработанная	0,94	2,20	3,80	3,90	10,90
Кукуруза	без обработки	3,20	1,80	3,90	1,20	10,00
	обработанная	1,90	1,60	3,60	2,80	9,90
Комбикорм К 55-13	без обработки	3,87	1,30	3,20	1,70	10,00
	обработанный	2,60	1,80	3,20	2,60	10,20

Наиболее чувствительны к влаготепловой обработке водо- и соле-растворимые фракции белка. Их количество, по сравнению с необработанным, значительно снижается, в то время как количество щелочерастворимой фракции практически не изменяется. Уменьшение водо- и соле-растворимой фракции белка вызвано изменениями в свойствах белка в результате теплового воздействия в процессе экструзии и связанным с ним явлением денатурации, сопровождающейся некоторым снижением растворимости белка и может быть объяснена изменением формы его строения.

Поскольку белки обуславливают пищевую ценность зерна, а также его биохимические и технологические свойства, был исследован аминокислотный состав белков зерна, подвергнутого обработке способом экструзии. Исследования показали, что экструзия существенно не влияет на изменение содержания аминокислот белка. В процессе обработки про-

исходит лишь значительное изменение содержания глутаминовой кислоты, ее содержание уменьшается с 43,91 до 36,63%, в то время как содержание других аминокислот практически не изменяется, а в некоторых случаях происходит увеличение содержания аминокислот. Эти изменения в сторону увеличения происходят за счет глутаминовой кислоты, которая, как и ее амиды, легко подвергается переаминированию и различным ферментным превращениям.

Наличие антиферментных веществ в зерне, в частности ингибитора трипсина в сое, снижает ценность белков. Проведенными исследованиями установлено, что при экструзии происходит резкое снижение токсичности зерна. Так, содержание ингибитора трипсина в необработанном зерне пшеницы и сои, а также в смеси этих компонентов (пшеница 70% + соя 30%), обработанной при оптимальном режиме, составило соответственно 159,1; 2885,9 и 288,3 ед.ингибитор/г.

Изучение изменения растворимости белков и содержания в них аминокислот позволяет сделать лишь косвенный вывод об изменении питательной ценности экструдированного зерна. В результате исследований атакуемости белков пищеварительными ферментами установлено, что экструзия зерна не ухудшает переваримость белка. Так, переваримость белков как пепсином, так и трипсином, в обработанном зерне пшеницы составляет 45,8 против 37,6% в необработанном.

Исследование влияния процесса экструзии на содержание в зерновом сырье и комбикорме К 55-13 жира и витаминов показало, что независимо от первоначального содержания жира в исследуемых образцах, его содержание после экструзии уменьшается на 35,6-37,1%. Снижение содержания жира в процессе экструзии приводит к тому, что кислотность экструдированных продуктов на 12-40% ниже, чем исходных. В процессе хранения зернового сырья его кислотность возрастает, причем в обработанном продукте интенсивность роста в 1,5-2 раза ниже, чем в исходном. Витамины зерна, особенно витамин В<sub>3</sub>, очень чувст-

вительны к воздействию высоких температур, что подтверждается результатами опытов (табл.5).

Таблица 5

Влияние экструзии на содержание жира и витаминов в зерновом сырье и комбикорме

Объект исследования		Пшеница	Кукуруза	Ячмень	Пшеница 70% + соя 30%	Комби - корм рецепт К 55-13
Жир, %	до обработки	1,66	3,45	2,16	7,71	2,93
	после обработки	1,07	2,18	1,71	4,85	2,35
Витамин В <sub>2</sub> , мг/кг	до обработки	1,52	1,70	1,52	1,66	1,66
	после обработки	1,30	1,30	1,24	1,36	1,36
Витамин В <sub>3</sub> , мг/кг	до обработки	7,30	не определялся			5,20
	после обработки	5,60	не определялся			4,80

Зерновое сырье, используемое для производства комбикормов, обсеменено бактериальной и грибной микрофлорой, инактивировать которые можно применением тепловой обработки. Поэтому и было исследовано изменение санитарного состояния зерна и комбикормов в процессе экструзии. Результаты проведенных исследований указывают на тесную зависимость обсемененности зерна микроорганизмами от продолжительности и уровня влаготепловой обработки, в результате которой остаточная бактериальная микрофлора обработанных образцов составила всего 0,01 - 0,5% от исходной, а обсемененность микромицетами снизилась в 120 раз.

В процессе полуторамесячного хранения количественный состав бактериальной микрофлоры в обработанных образцах почти не изменялся, в то время как на необработанном, особенно ячмене и кукурузе, отмечается тенденция к нарастанию (табл.6).

В процессе экструзии зернового сырья и комбикорма происходит существенное изменение их физико-механических свойств. Анализ гранулометрического состава показал, что при одинаковых режимах измельчения средний размер частиц экструдированных образцов, по сравнению с необработанными, снижается для зерна пшеницы на 24%, кукурузы - 59, комбикорма - 43%.

к-0 13480

Изменение содержания бактерий в зерновом сырье  
в зависимости от сроков хранения

Объект исследования		Бактерии, шт в 1 г			
		1-й день	15-й день	30-й день	45-й день
Ячмень	без обработки	291000	1090000	1560000	не иссл.
	обработанный	35	30	100	48
Кукуруза	без обработки	88000	222500	342000	не иссл.
	обработанная	320	107	102	155
Смесь пшеница 70% + соя 30%	без обработки	37000	40000	26000	67500
	обработанная	60	200	95	98
Пшеница	без обработки	156000	70000	37000	70000
	обработанная	65	85	43	152

Объемная масса продуктов в процессе экструзии изменяется незначительно. Так, для зерна пшеницы она увеличивается на 5%, комбикор-ма на 6, а для кукурузы уменьшается на 4,5%. Угол естественного от-коса пшеницы и кукурузы в процессе обработки практически не изменяет-ся, а у комбикорма снижается в 1,3 раза. Сыпучесть экструдированно-го зерна пшеницы и кукурузы несколько увеличивается, по сравнению с исходными образцами.

Сорбционные свойства зернового сырья являются важной характе-ристикой его структуры, отражающей одну из сторон взаимодействия би-ополимеров зерна с окружающей средой, во многом определяющим его со-хранность. Гигроскопичность экструдированного зерна пшеницы несколь-ко ниже исходного. Наибольшая скорость сорбции наблюдается в течение первых двух-трех суток, затем влажность продукта стабилизируется.

При погружении продукта в воду происходит набухание его гидро-фильных биополимеров. Степень и скорость набухания химических ве-ществ пшеницы, кукурузы и комбикорма представлены на рис.6. Для эк-струдированного продукта наблюдается более значительное увеличение объема, по сравнению с необработанным. Скорость набухания имеет чет-

ко выраженный максимум, при этом интенсивное набухание происходит в первые 10 минут.

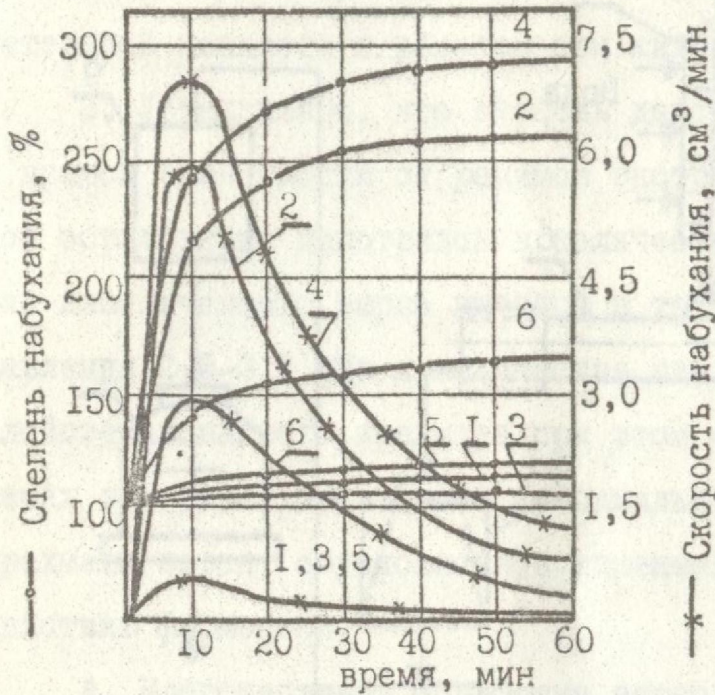


Рис. 6. Динамика и скорость набухания продуктов в воде

1 — пшеница до обработки; 2 — пшеница после обработки; 3 — кукуруза до обработки; 4 — кукуруза после обработки; 5 — комбикорм до обработки; 6 — комбикорм после обработки.

Результаты проведенных исследований позволили разработать схему технологического процесса экструзии (рис. 7). С целью проверки разработанных режимов экструзии зернового сырья в производственных условиях в совхозе им. 60 лет Советской Украины Херсонской области проведены испытания опытной партии зерна кукурузы, обработанного в экструдере по рекомендуемой схеме при исследованных режимах.

Результаты производственной проверки показали, что при весе поросят при скармливании им в течение 35-ти дней рациона, содержащего экструдированную кукурузу, увеличились в 1,15 раза, по сравнению с результатами, полученными при скармливании рациона с неэкструдированной кукурузой.

Экономическая эффективность, полученная от внедрения процесса влаготепловой обработки способом экструзии на животноводческом комплексе по откорму 108 тыс. голов свиней, составит 148577 рублей в год.

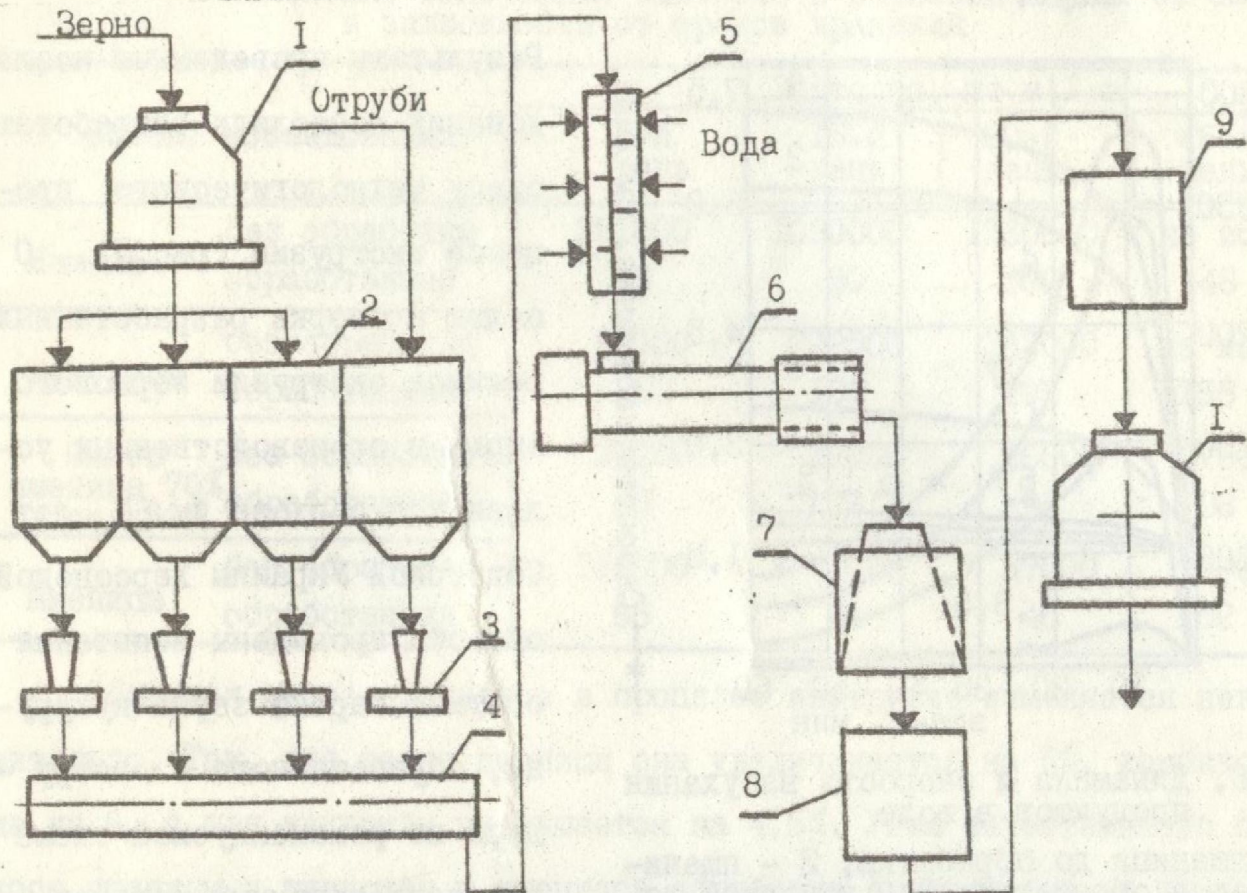


Рис.7. Схема технологического процесса экструзии зернового сырья

I - дробилка; 2 - емкость; 3 - дозатор; 4 - сборный транспортер; 5 - смеситель; 6 - экструдер; 7 - горизонтальный охладитель; 8 - жмыхоломач; 9 - вибросушилка.

## ВЫВОДЫ

Полученные результаты исследований и их анализ позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Установлено, что влаготепловая обработка зернового сырья в процессе экструзии является эффективным методом повышения питательной ценности и усвояемости кормовых средств и комбикормов, а также одним из способов улучшения их доброкачественности.

2. При влаготепловой обработке происходит изменение биохимических, физико-механических, структурных свойств зернового сырья и его

санитарного состояния, глубина и направленность которых определяются конкретными режимами процесса экструзии. Это позволяет придать зерновому сырью заранее заданные свойства с целью повышения его питательной ценности и усвояемости животными.

3. Установлено, что степень декстринизации крахмала находится в прямой зависимости от режимов экструзии зернового сырья. Максимальное образование декстринов в количестве 12,5% достигается при экструзии измельченного зерна пшеницы в течение 85 с при температуре 180°C, давлении 2,5-3,0 МПа и количестве вводимой влаги 300 л/т, количество клейстеризованного крахмала при этом составляет 25-27%. При этих режимах экструзии происходит максимальное увеличение переваримости крахмала зерен, обусловленное изменением устойчивости крахмала к действию ферментов.

4. Влаготепловая обработка зернового сырья и комбикорма при исследованных режимах практически не вызывает изменения общего содержания белков. Однако, значительные изменения в сторону снижения происходят в водо- и солерастворимой фракции белка: для зерна пшеницы они составляют 55%, кукурузы - 40 и комбикорма - 31%. При этом содержание спиртоворастворимой фракции снижается незначительно, а содержание щелочной фракции практически не изменяется.

5. Экструзия измельченного зерна пшеницы при исследованных режимах вызывает некоторое изменение содержания в нем аминокислот. Происходит повышение содержания незаменимых аминокислот лизина, треонина, фенилаланина, в то время как содержание глутаминовой кислоты снижается с 43,91 до 36,63-39,00%. Эти изменения обуславливают повышение переваримости белков пшеницы на 21,8%.

6. Влаготепловая обработка приводит к снижению содержания жира в зерновом сырье и комбикорме в среднем на 35-37%. Снижается также и содержание витаминов: витамина B<sub>2</sub> (рибофлавина) на 8-25%, витамина B<sub>3</sub> (пантотеновой кислоты) на 24-40%, витамина А на 30-43%.

7. Экструзия губительно действует на микрофлору зернового сырья и комбикорма. При оптимальных режимах обработки зернового сырья остаток микроорганизмов составляет 0,01-0,5% от их исходного количества. В процессе полуторамесячного хранения качественный и количественный состав бактериальной микрофлоры в обработанных образцах практически не изменялся. Кроме этого, в зерновом сырье в процессе экструзии резко (в 5 раз) снижается содержание ингибитора трипсина.

8. Изучение технологических свойств экструдированного зернового сырья и комбикорма показало, что после их измельчения объемная масса изменяется на 4,5-6,0%, средний размер частиц уменьшается на 24-50%, выравненность - на 10-23%, угол обрушения - на 3-8°, сыпучесть и угол естественного откоса остаются без существенных изменений. Заметно улучшается набухание продуктов в воде, и для зерна пшеницы оно составляет 160%, кукурузы - 185 и комбикорма - 65%.

9. Изучена кинетика процесса экструзии зернового сырья. Определены оптимальные условия технологического процесса экструзии - степень сжатия продукта в межвитковом пространстве экструдера, продолжительность обработки и скорость его движения, а также величина давления в любой точке экструдера в зависимости от режимов экструзии.

10. Использование вероятностно-статистических методов исследования позволило с достаточной достоверностью установить, что эффективность процесса экструзии зависит от количества введенной в продукт влаги, температуры, давления и продолжительности обработки. Получены в виде полиномиальных уравнений второго порядка адекватные математические модели процесса экструзии при степени декстринизации зерен крахмала 48-52%.

11. Анализ математических моделей с использованием результатов на ЭВМ показал, что при экструзии измельченного зерна пшеницы область оптимальных значений воздействующих факторов лежит в следующих пределах: количество вводимой влаги - 305 л/т; температура об -

работки - 180°C; давление в рабочей зоне экструдера - 2,5 МПа; продолжительность обработки - 70 с.

12. Использование экструдированной кукурузы в рационах поросят-сосунов и поросят отъемышей увеличивает прирост живой массы на 15% при снижении затрат корма на единицу привеса на 11,5%, по сравнению с результатами, полученными при скармливании животным рационов, включающих необработанную кукурузу.

Годовой экономический эффект от внедрения технологической линии экструзии зернового сырья составляет 22900 руб. в год по комбикормовому заводу 315 т/сутки. Экономия от снижения затрат корма по свиноводческому комплексу на 108 тыс. свиней составит 148577 руб. в год. На основе материалов настоящей диссертационной работы можно рекомендовать комбикормовой промышленности технологическую схему процесса экструзии зернового сырья и комбикормов и следующие режимы:

Параметры обработки		Режимы
Исходная влажность зерна,	%	12-14
Исходная крупность размола,	мм	1,4-1,8
Температура обработки	°C	170-180
Количество вводимой влаги,	л/т	300-320
Продолжительность обработки,	с	70-85

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Шмат К.И., Магопец А.С. Обработка зерна методом экструзии. - Корма, 1979, №1, с.38-39.
2. Шмат К.И., Магопец А.С. Результаты испытаний высокопроизводительного пресс-экструдера. - Тезисы докладов республ.конференции "Совершенствование техники и технологии комбикормового производства-путь улучшения качества". Тбилиси, 1979.
3. Магопец А.С., Шмат К.И. Распределение давления и движения материала в экструдере. - Республ. межвед. научно-техн.сб. Конструирование и технология производства сельскохозяйственных машин, - Киев, ТехнІка, 1980, вып.10, с.43-46.
4. Магопец А.С., Кочетова А.А., Шмат К.И. Изменение углеводного комплекса зерна пшеницы при экструдировании. Научно-техн.ферер.сб. Хранение и переработка зерна, серия: Комбикормовая промышленность. -М., ЦНИИТЭИ Минзага СССР, 1980, вып.1, с.8-10.