

На правах рукописи



Садов Виктор Викторович

ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СОСТАВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ЛИНИЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОМБИКОРМОВ
В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Барнаул – 2018

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет»

Научный консультант: доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Механизация производства и переработка сельскохозяйственной продукции» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет»
Федоренко Иван Ярославович

**Официальные
оппоненты:**

Семинихин Александр Михайлович, доктор технических наук, профессор, Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», профессор кафедры «Технологии и средства механизации агропромышленного комплекса»

Сергеев Николай Степанович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», заведующий кафедрой «Технология и механизация животноводства и инженерной графики»

Сабиев Уахит Калижанович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина», профессор кафедры «Агроинженерия»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет»

Защита состоится «16» мая 2018 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.004.02 при ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» по адресу: 656038, РФ, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, тел/факс: (3852) 36-71-29, официальный сайт: <http://www.altstu.ru>; epb_401@mail.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» и на официальном сайте: <https://www.altstu.ru/media/f/Dissertaciya-Sadov-V.V..pdf>

Автореферат разослан «__» _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор



Л.В. Куликова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время перед агро-промышленным комплексом России стоит задача интенсификации сельского хозяйства. Поэтому для развития отрасли необходим поиск путей повышения эффективности производства. Очевидно, что этот процесс невозможен без изучения теоретических аспектов эффективного развития, использования обоснованных критериев и показателей, а также требует применения научной методологии определения и мобилизации резервов в конкретных производственных условиях.

Ситуация в животноводстве во многом зависит от состояния кормовой базы, т.к. в процессе производства продукции животноводства на долю кормов приходится более половины затрат. Особое значение в рационе животных имеет комбикорм, позволяющий довести питательность рациона до требуемых значений, что влечет за собой повышение продуктивности. В связи с этим рассмотрение вопросов, связанных с определением сущности процессов повышения эффективности комбикормового производства, носит сложный и многосторонний характер.

Использование в рационах животных комбикормов, сбалансированных по всем элементам питания, позволяет получить прибавку продуктивности на 10-15% по сравнению с кормлением измельченными зерновыми кормосмесями, а организация полнорационного кормления, в том числе и за счёт использования в рационах животных и птицы комбикормов, имеет большое значение для сельскохозяйственных предприятий всех форм собственности. Приготовление комбикормов на крупных предприятиях не решает проблемы, так как не учитываются особенности животных каждого хозяйства. Кроме того, на перевозку исходного сырья и готовых комбикормов расходуются значительные средства.

В настоящее время многие из существующих комбикормовых агрегатов не отвечают требованиям современного производства, т.к. содержат элементы ручного труда, энерго- и материалоемки и в связи с этим имеют низкую эффективность.

Это является предпосылкой для разработки структурно-технологической схемы комбикормовых агрегатов с минимально достаточным количеством оборудования для качественного выполнения всего технологического процесса.

В связи с этим исследования, направленные на повышение эффективности использования цехов для производства комбикормов в сельскохозяйственных предприятиях, являются актуальными и представляют научный и практический интерес.

Степень разработанности темы. Большой вклад в исследование процессов приготовления комбикормов на фермах, разработку теоретических основ проектирования линий, машин и оборудования комбикормового производства внесли ученые: В.А. Афанасьев, В.П. Горячкин, Г.А. Егоров, В.И.

Земсков, С.В. Золотарев, Е.М. Клычев, Л.И. Кропп, Г.М. Кукта, П.И. Леонтьев, Л.И. Лыткина, С.В. Мельников, Н.П. Мишуков, А.И. Орлов, В.А. Панфилов, В.И. Пахомов, У.К. Сабиев, А.М. Семинихин, Н.С. Сергеев, В.И. Сыроватка, А.В. Фоминых, Н.П. Черняев, В.А. Шаршунов и др.

Исследованиям эффективности функционирования поточных линий кормоцехов посвящены работы В.Р. Алешкина, А.А. Артюшина, Б.И. Вагина, А.Ф. Галкина, В.А. Голикова, С.М. Доценко, А.И. Завражнова, В.И. Земскова, А.И. Игитова, А.Н. Ковальчука, Л.П. Кормановского, Л.И. Кроппа, Г.М. Кукты, С.В. Мельникова, Н.М. Морозова, В.П. Ожигова, Е.И. Резника, Р.М. Славина, В.А. Стремнина, В.И. Сыроватки, Н.С. Яковлева и др.

Однако при всей значимости выполненных исследований некоторые аспекты данной проблемы недостаточно изучены. В частности не рассмотрено обоснование структуры и состава линий при комплексном использовании критериев эффективности, надежности и сложности системы, а также при полной и неполной исходной информации по имеющимся машинам и обоснования типоразмерного ряда в зависимости от поголовья животных на фермах.

Цель исследования – повышение эффективности производства комбикормов в сельскохозяйственных предприятиях путем разработки научно-методических основ обоснования структуры и состава технологических линий, оптимизации энергоемких процессов и типоразмерного ряда выпускаемого оборудования.

Задачи:

1) На основе анализа, систематизации и классификации различных технологических схем комбикормовых предприятий сформировать критерии, по которым оценивается структура технологических схем комбикормовых цехов на этапе концептуального проектирования.

2) Разработать совокупность моделей и методов, с помощью которых можно осуществить, привлекая экспертную информацию, объективную многокритериальную оценку структуры технологических линий комбикормовых цехов.

3) Разработать методы и алгоритмы решения сформированных задач оптимизации состава оборудования, как единой технологической системы, с учетом полной и неполной исходной информации.

4) Сформулировать постановки задач и разработать методы решения многокритериальной оптимизации энергоемких технологических процессов комбикормового производства.

5) Разработать метод обоснования типоразмерного ряда комбикормовых предприятий на основе статистических данных о поголовье животных и количественном составе животноводческих ферм.

6) Внедрить разработанные методы, алгоритмы в практику проектирования сельскохозяйственных комбикормовых цехов. Дать технико-экономическую оценку результатов исследования и разработать рекомендации по их использованию.

Объект исследования: технологические линии и процессы приготовления комбикормов в условиях сельскохозяйственного производства.

Предмет исследования: методы, модели, закономерности и зависимости функционирования, обоснования и оптимизации технологических линий сельскохозяйственных комбикормовых предприятий.

Научную новизну и теоретическую значимость составляют:

1) Модели оценки эффективности, надежности, сложности и интегральный критерий на основе идеальной точки, позволяющие оценить структуру технологических схем комбикормовых цехов на этапе концептуального проектирования.

2) Метод адаптирующихся коэффициентов, позволяющий провести многокритериальную оценку и обосновать машинный состав комбикормового цеха при неполных сведениях об объектах выбора.

3) Математическая модель оценки комбикормовых цехов на основе нечеткого многокритериального анализа и экспертной информации, позволяющая провести оценку существующих схем комбикормовых цехов.

4) Математические модели многокритериальной оптимизации энергоемких технологических процессов комбикормового производства, что позволяет повысить эффективность производства и качество продукции.

5) Метод обоснования типоразмерного ряда комбикормовых предприятий на основе статистических данных о поголовье животных и количественном составе животноводческих ферм.

Новизна технических решений подтверждена 4 патентами на изобретения.

Практическая значимость. Предложенные в диссертации принципы моделирования и оптимизации параметров и режимов функционирования, рациональные технологические структуры комбикормовых цехов, методика оценки их эффективности с учетом условий функционирования могут быть использованы при проектировании и выборе технологических линий сельскохозяйственных комбикормовых предприятий.

Методология и методы исследования – в работе использованы методы системного анализа, математического моделирования, многокритериальной оптимизации, экспертных оценок и нечетких множеств. В соответствии с задачами исследований разрабатывались частные методики.

Положения, выносимые на защиту:

– критерии и модели оценки структуры технологических схем комбикормовых цехов на этапе концептуального проектирования, позволяющие произвести комплексное сравнение различных схем;

– метод адаптирующихся коэффициентов важности критериев, при помощи которого можно обосновать набор машин в технологической схеме по введенным критериям при соблюдении технологического и функционального сопряжения машин в технологических линиях;

- математическая модель оценки существующих комбикормовых цехов на основе экспертной информации, позволяющая по введенным критериям принять правильное решение по выбору технологической системы цеха;
- математические модели оптимизации энергоемких технологических процессов комбикормового производства, таких как измельчение, смешивание и гранулирование, позволяющие снизить энергоемкость процесса и повысить качество продукции;
- метод обоснования типоразмерного ряда оборудования сельскохозяйственных комбикормовых цехов;
- оценка экономической эффективности и применимости результатов работы при приготовлении комбикормов на сельскохозяйственных предприятиях.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на: V и VI научно-практических конференциях «Молодежь-Барнаулу» (г. Барнаул, 2003, 2004); Международной научно-практической конференции «Вузовская наука – сельскому хозяйству» (г. Барнаул, 2005); III, IV, VII, VIII, XI, XII Международных научно-практических конференциях «Аграрная наука – сельскому хозяйству» (г. Барнаул, 2008, 2009, 2012, 2013, 2016, 2017); Всероссийской научно-практической конференции «Современное состояние механизации животноводства, переработки с.-х. продукции и подготовки кадров» (г. Новосибирск, 2013); XVIII Международной научно-практической конференции «Современные проблемы техники и технологий пищевых производств» (г. Барнаул, 2017); XIV Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь» (г. Барнаул, 2017). VIII Всероссийской научно-практической конференции «Современная техника и технологии, проблемы, состояние и перспективы» (г. Рубцовск, 2017).

Степень достоверности теоретических положений и выводов подтверждена результатами производственной проверки и внедрения комбикормовых цехов, экспертной оценкой технологических линий, непротиворечивостью результатам исследований других авторов.

Реализация результатов исследований – материалы исследований и рекомендации по совершенствованию технологической структуры линий для производства комбикормов используются в учебном процессе Алтайского государственного аграрного университета. Результаты исследований для разработки конструкторской документации внедрены в ООО «Агромаштехсервис» и ООО «Перспектива». Линии по производству комбикормов, в которых частично использованы наши предложения, внедрены на предприятиях: ОАО «Бурлинский элеватор» Бурлинского района, СПК «Искра» (ООО «Система») Топчихинского района, ЗАО «Колыванское» Павловского района, ООО «Малаховское» Косихинского района, ООО «Зиминское» Ребрихинского района, ООО «Хлеборобное» Родинского района, АО «Кипринское» Шелаболихинского района, ГКУП «Антипинское» Тогульского района, ОАО «Ярко Поле» Смоленского района, СПК «Колхоз «Фрунзенский» и

СПК «Чистоозерный» Завьяловского района, ФГУП ПЗ «Комсомольское» Павловского района.

Связь темы исследований с государственными программами и НИР.

Исследования выполнялись в соответствии с:

- «Государственной программой развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы» (утверждена постановлением Правительства РФ 14 июля 2012 года № 717);

- «Федеральной научно-технической программой развития сельского хозяйства на 2017 - 2025 годы» (утверждена постановлением Правительства РФ 25 августа 2017 г. № 996);

- темой «Обоснование, разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий и технических средств для приготовления кормов» РК ЦИТИС № 01201157189 (от 21.04 2011 г.).

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертация соответствует научной специальности 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» по пунктам 5 и 7:

- Разработка методов повышения надежности и эффективности функционирования производственных процессов, использования агрегатов, звеньев, технологических комплексов и поточных линий, создание безопасных и нормальных условий труда, соблюдение требований охраны труда.

- Разработка методов оптимизации конструкционных параметров и режимов работы: технических систем и средств в растениеводстве и животноводстве по критериям эффективности и ресурсосбережения технологических процессов.

Публикации. Основные положения опубликованы в 39 печатных работ, в том числе в 13 изданиях по перечню ВАК РФ, в 4 учебных пособиях, в т. ч. одно с грифом УМО, в 4 патентах РФ на изобретения, 1 монографии и 17 статья в других изданиях.

Личный вклад состоит в непосредственном участии при разработке математических моделей эффективности и сложности технологической системы комбикормового цеха, разработке алгоритмов выбора состава технологических линий, многокритериальной оценке энергоемких технологических процессов и обосновании типоразмерного ряда комбикормового цеха. Постановка задач, направление и методология исследований осуществлялись совместно с научным консультантом, д.т.н., профессором И.Я. Федоренко.

При внедрении технологических линий для производства комбикормов автор участвовал в разработке технологических схем линий под конкретные требования предприятий.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов, библиографического списка из 250 наименований, 9 приложений. Общий объем работы составляет 294 страницы, в том числе 26 таблиц, 50 рисунков. Работа выполнена в Федеральном государственном

бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Алтайский государственный аграрный университет».

Автор выражает глубокую и искреннюю признательность научному консультанту, заслуженному деятелю науки РФ, доктору технических наук, профессору Федоренко Ивану Ярославовичу за помощь и ценные замечания при выполнении диссертационной работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель, поставлены задачи исследования, отмечена научная новизна, теоретическая и практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние проблемы приготовления комбикормов в сельскохозяйственных предприятиях» дается общая оценка комбикормового производства и перспективы приготовления комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий.

Анализ литературных данных показывает, что существующее большое количество на рынке отдельных машин и готовых комбикормовых цехов затрудняет сделать правильный выбор производителям.

Структура и состав комбикормовых цехов в конечном итоге говорят об эффективности функционирования системы. Количественная оценка эффективности позволяет сравнить одно- и разнотипные системы, выполняющие одинаковые функции и выбрать для практической реализации те из них, которые дают больший эффект.

По эффективности функционирования линий имеются три основных направления исследований: – разработка различных комплексных показателей, учитывающих экономические, энергетические, технологические, конструктивные и другие особенности объектов; – разработка показателей, характеризующих вероятность выполнения исследуемым объектом его производственных функций; – разработка экономических показателей применительно к исследуемым объектам.

Большую работу по этому направлению проводит Всероссийский НИИ комбикормовой промышленности. Так, Афанасьев В.А. и Орлов А.И. проанализировали 15 вариантов построения технологических схем. По их расчетам, лучшие технико-экономические показатели имеют варианты технологических процессов с очисткой сырья на приеме, совместной переработкой всех видов сырья порционно или в составе смеси. Энергоемкость и материалоёмкость для таких производств снижаются.

На основании проведенного анализа представлена цель и сформулированы задачи исследования.

Вторая глава «Системный анализ технологических схем комбикормовых предприятий» основывается на целостном рассмотрении комбикормового цеха. В этом случае свойство системы как целого определяется не только свойствами его отдельных элементов, но и свойствами структуры системы.

Технологическая система комбикормового цеха в целом – это совокупность множества разнородных технологических процессов, протекающих в машинах. Академик В.А. Панфилов указывает, что технологическую систему характеризует технологический поток, имеющий свою пространственно-временную структуру. В связи с этим технологическая система комбикормового цеха может быть представлена в виде дерева целей (рисунок 1).

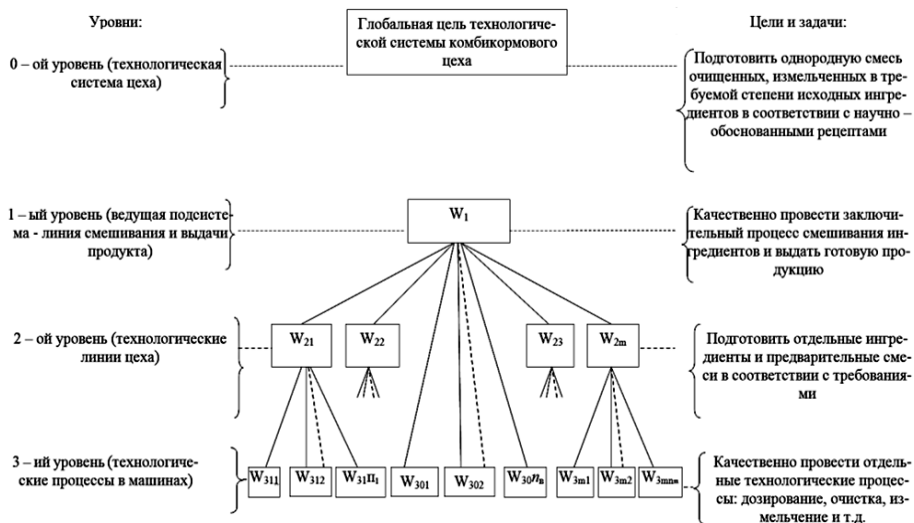


Рисунок 1 – Иерархическая структура целей технологической системы комбикормового цеха: m – число технологических линий, за исключением линии смешивания; $n_1, n_2, \dots, n_m$ – число машин в каждой из m технологических линий; n_g – число машин в ведущей технологической линии

Как видно из рисунка 2, системный анализ технологической системы комбикормовых цехов, ее расчленение на подсистемы разного уровня (технологические линии) и элементы (технологические и транспортные машины) позволяют определить этапы исследования.

Из рисунка 3 видно, что положения системного анализа соблюдены в полном объеме. Исследования начинаются с изучения глобальной цели технологической системы и ее декомпозиции. В результате исследований формируются частные цели, которые подчинены глобальной цели.

Эффективность является одной из функциональных характеристик сложных технических систем. Обобщенный показатель эффективности должен учитывать объем производства, качество продукции (поскольку с ними связаны цены), эксплуатационные и капитальные затраты. Однако такой обобщенный показатель наиболее приемлем при оптимизации функционирующих предприятий в целом или отдельного цеха.

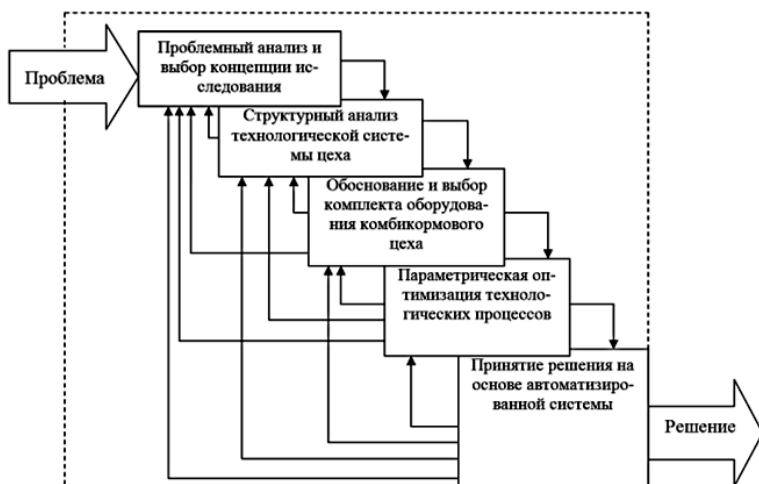


Рисунок 2 – Основные этапы исследования, оптимизации и принятия решений по технологической системе комбикормового цеха

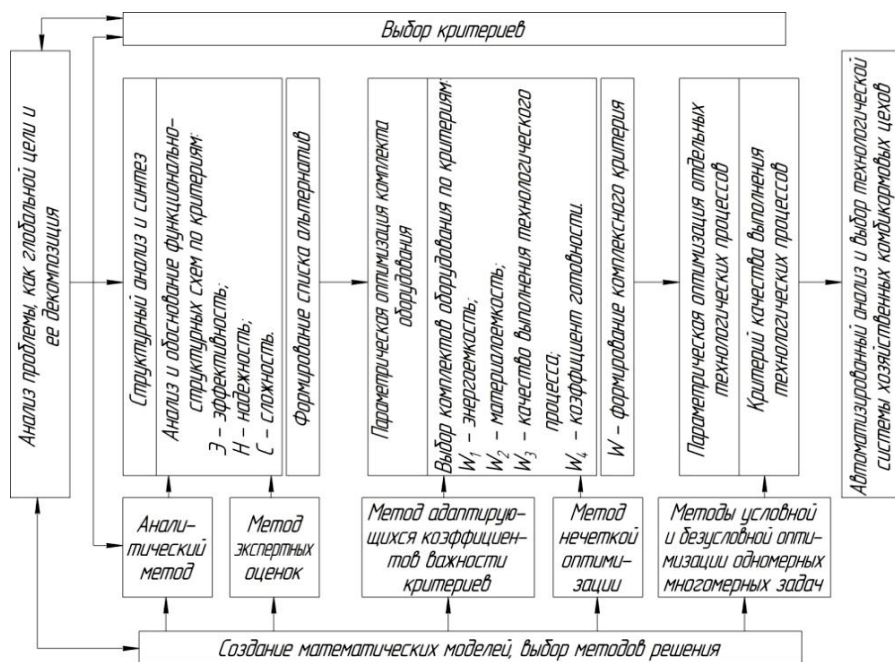


Рисунок 3 – Схема анализа, синтеза и выбора технологической системы комбикормового цеха

В случае исследования и проектирования технологической системы комбикормового цеха задачу можно упростить и свести ее к достижению экстремума такого технологического показателя эффективности, как качество процесса (при соответствующих ограничениях на минимальную производительность), поскольку в структуре себестоимости пищевой или кормовой продукции основную часть (свыше 90%) составляет стоимость сырья, и основной экономический эффект получается вследствие увеличения выхода готовой продукции.

На основании формулы оценки эффективности, разработанной в Институте прикладной механики РАН во главе с Г.Г. Малинецким,

$$S_{q,r} = (s_1 q + e_1)(s_2 r + e_2) - e_1 e_2, \quad (1)$$

где $S_{q,r}$ – эффективность всей системы;

s_1, s_2 – эффективность элементов 1-го и 2-го уровней;

q, r – количество элементов на первом и втором уровнях;

e_1, e_2 – коэффициенты,

и с использованием метода экспертных оценок разработана модель эффективности комбикормового цеха.

Для получения экспертом более точной информации о каждой машине и системе в целом нужно проводить снижение размерности пространства критериев, т.е. переходить от большого числа исходных критериев к существенно меньшему их числу. Это продемонстрировано на рисунке 4.

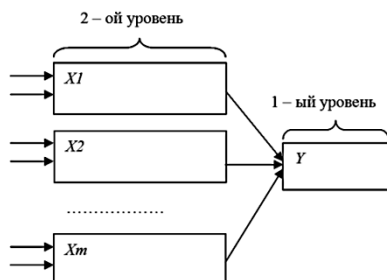


Рисунок 4 – Верная структурная схема движения потоков компонентов в комбикормовом цехе

Условиям иерархической системы управления комбикормовым цехом (рисунок 2) соответствует рассмотрение подсистем 1-го и 2-го уровней. При этом $X1, X2, \dots, Xm$ – подсистемы 2-го уровня (технологические линии); Y – подсистема 1-го уровня (технологическая система смешивания и выдачи готовой продукции).

Эффективность подсистем 2-го уровня, поскольку они не взаимодействуют друг с другом, будет отражаться простой суммой показателей отдельных линий

$$W(X) = W(X1) + W(X2) + \dots + W(Xm) = \sum_{i=1}^m W(Xi), \quad (2)$$

где m – число подсистем.

Если бы системы X_i и Y не взаимодействовали, то их общая эффективность также была бы простой суммой

$$W(X, Y) = W(X) + W(Y). \quad (3)$$

Однако взаимодействие подсистем разного уровня должно приводить к повышению эффективности в целом, следовательно, к нелинейной зависимости. С учетом формулы (1) получим:

$$W(\hat{X}, Y) = [W(X) + \epsilon][W(Y) + \epsilon] - \epsilon^2, \quad (4)$$

где запись $\hat{X}, Y$ указывает на связанность систем.

Коэффициент ϵ равен

$$\epsilon = W(X1) \cdot W(X2) \cdot \dots \cdot W(Xm) = \prod_{i=1}^m W(X_i). \quad (5)$$

Относительный показатель эффективности равен

$$E = \frac{W(\hat{X}, Y)}{W(X, Y)}. \quad (6)$$

Математическую модель максимизации относительного показателя эффективности можно записать в таком виде

$$E[W(X1), W(X2), \dots, W(Y_i)] = \frac{\sum_{i=1}^m W(X_i) \cdot W(Y)}{\sum_{i=1}^m W(X_i) + W(Y)} + \prod_{i=1}^m W(X_i) \rightarrow \max, \quad (7)$$

при ограничениях $0 \leq W(X1) \leq 1$; $0 \leq W(X2) \leq 1$; ..., $0 \leq W(Y) \leq 1$.

При реальных значениях $W(X_i)$ и $W(Y)$ относительный показатель E принимает значения, о которых можно судить по рисунку 5. Относительный показатель эффективности E неуклонно повышается с ростом $W(Y)$ и $W(X_i)$ достигая максимума при $W(Y) = W(X_i) = 1$. Это согласуется со здравым смыслом. Ценность предложенной зависимости (7) состоит в том, что она позволяет сравнивать разные технологические системы комбикормовых цехов по показателям их относительной эффективности.

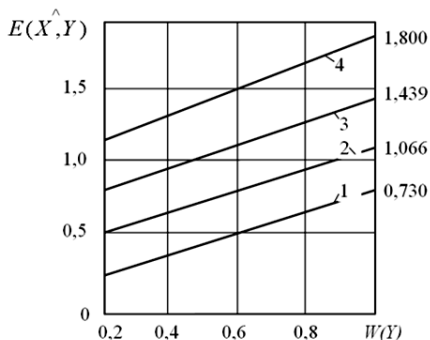


Рисунок 5 – Зависимость показателя E технологической системы приготовления комбикормов в зависимости от эффективности $W(Y)$ ведущей технологической линии при эффективности других линий: 1 – $W(X_i) = \text{idem} = 0,5$; 2 – $W(X_i) = \text{idem} = 0,75$; 3 – $W(X_i) = \text{idem} = 0,9$; 4 – $W(X_i) = \text{idem} = 1,0$

Наряду с эффективностью технологической системы комбикормового цеха важным показателем является его надёжность. Анализ причин отказов машин в сельском хозяйстве, проведенный В.И. Земсковым, по-

казывает, что 40-45% случаев от общего их количества связано с ошибками при проектировании, 20% происходит от неправильного использования машин и только 10-15% – от естественного износа и старения.

В работах по надежности кормоцехов чаще всего используется комплексный показатель надежности – коэффициент готовности.

Коэффициент готовности K_r – вероятность того, что технологическая схема комбикормового цеха окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение системы по назначению не предусматривается. Определяется как отношение наработки на отказ к сумме этой наработки и среднего времени восстановления после отказа

$$K_r = \frac{t}{t + t_n},$$

где t – среднее время между отказами, т.е. наработка на отказ;

t_n – среднее время устранения отказа.

За счет отказов и их устранения фактическая производительность Q_ϕ оказывается меньше теоретической Q_T , т.е. имеет место соотношение

$$Q_\phi = Q_T \cdot K_r. \quad (8)$$

Фактическая производительность не должна быть меньше потребной $[Q_\phi]$ для конкретного хозяйства. Потребная производительность определяется поголовьем скота в хозяйстве и другими нуждами хозяйства (например, необходимостью продажи комбикорма населению). Тогда

$$K_r = \frac{Q_\phi}{Q_T}. \quad (9)$$

Правая часть приобрела смысл показателя эффективности технологической системы, исходя из ее производительности. Этот показатель как раз и оценивается коэффициентом готовности K_r . Очевидно, что этот показатель должен стремиться к максимуму.

Считалось, что коэффициент готовности в некоторой степени отражает свойство сложности. Однако очевидно, что снижение сложности, упрощение любого технического или технологического объекта имеет прагматический смысл, поскольку ведет к удешевлению капитальных и эксплуатационных затрат.

При оценке сложности технологической системы следует учесть следующие общие свойства систем:

- множество элементов системы и их связи;
- внутреннее разнообразие системы, подсистем и элементов;
- многоуровневость, иерархическое строение системы;
- открытость системы, ее обмен веществом, энергией и информацией с окружающей средой;
- эмерджентность системы, т.е. появление свойств, не присущих ее элементам.

Очевидно, что создание математической модели, учитывающей все эти свойства, является сложнейшей задачей. В связи с этим есть смысл рассмотреть существующие подходы к решению этой задачи.

Количественный подход к понятию «сложность» был сформулирован в статистической физике равновесных систем в 1877 г. с введением Л. Больцманом понятия энтропии:

$$H = k \ln p + C, \quad (10)$$

где k – постоянная Больцмана;

p – число микросостояний системы, реализация которых возможна в имеющемся микроскопическом состоянии;

$C = \text{const.}$

Сложность работы каждой машины комбикормового цеха мы соотнесим, прежде всего, с режимом ее работы. При осуществлении технологического процесса машина может находиться в следующих состояниях: технологический простой, загрузка, обработка ингредиента комбикорма, выгрузка. Простои за счет отказов машин мы здесь не рассматриваем.

Число состояний машины может быть: 1) одно состояние – непрерывный режим работы; 2) работа – технологический простой (2 состояния); 3) загрузка – работа – выгрузка (3 состояния); 4) загрузка – работа – выгрузка – технологический простой (4 состояния). Поэтому здесь напрашивается аналогия со статистической механикой, где рассматривается число доступных состояний системы (при этом используется понятие энтропии (10)).

Обилие транспортных машин и бункеров также усложняет технологическую систему комбикормового цеха. Это усложнение также должно отражаться математической моделью.

Исходное выражение сложности системы S выразим в виде

$$S = \mu N, \quad (11)$$

где μ – коэффициент пропорциональности;

N – число технологических машин в системе.

Коэффициент пропорциональности μ должен отражать усложнение технологической системы в связи с факторами, указанными выше. В соответствии с этим в качестве коэффициента μ может выступить величина, сходная с энтропией Больцмана.

Применительно к работе машин комбикормового цеха мы пытаемся выявить сравнительную структурную сложность их работы, причем нас устраивает безразмерное значение величины S . Поэтому, не нарушая общности для нашего случая, можем положить в формуле (10) $k = 1$, т.е.

$$\mu = \ln p + C, \quad (12)$$

где p – возможное число состояний системы;

$C = \text{const.}$

С учетом (11)

$$S = (\ln p + C)N. \quad (13)$$

Величину можно представить в виде произведения двух величин, т.е.

$$p = p_1 \cdot p_2, \quad (14)$$

где p_1 – число состояний системы, обусловленное режимом работы технологических машин;

p_2 – число состояний, обусловленное наличием, кроме технологических машин, еще транспортных машин и бункеров.

Величину p_1 можно представить в виде

$$p_1 = \frac{\sum_{i=1}^N p_{1i}}{N}, \quad (15)$$

где в числителе представлена сумма состояний по режиму работы всех технологических машин.

Для величины p_2 , отражающей состояние всех машин и устройств по отношению только к технологическим машинам, будем иметь

$$p_2 = \frac{N + n_1 + n_2}{N}, \quad (16)$$

где n_1 – число транспортных машин;

n_2 – число бункеров.

Сложность технологической системы комбикормового цеха равна

$$S = \left\{ \ln \left[\frac{\sum_{i=1}^N p_{1i} \cdot (N + n_1 + n_2)}{N^2} \right] + 1 \right\} N. \quad (17)$$

Проанализируем формулу (17) для некоторых случаев состояния технологической системы:

1. Идеальная система ($\sum_{i=1}^N p_{1i} = N$; $n_1 = n_2 = 0$):

$$S_{\min} = (\ln 1 + 1)N = N.$$

Для идеальной системы имеем наименьшую сложность, обусловленную лишь количеством технологических машин.

2. Критически сложная система ($\sum_{i=1}^N p_{1i} = 4N$; $N + n_1 + n_2 = 3N$ – каждая

технологическая машина имеет свою транспортную машину и бункер):

$$S_{\text{кр}} = \left(\ln \frac{4N \cdot 3N}{N^2} + 1 \right) N = 3,485N.$$

Критическая сложность работы одной машины может так же, как и сложность системы, лежать в пределах от 1 до 3,485.

На рисунке 6 эта сложность представлена в зависимости от показателя

$$\Phi = p_{1i} (1 + n_1 + n_2); \quad (18)$$

$$p_{1i} = 1, 2, 3, 4; \quad n_1 = 0; 1; \quad n_2 = 0; 1.$$

По рисунку 6 наглядно видно, что сложность нелинейно растёт с увеличением числа режимов работы p_{li} машины и оснасткой ее транспортной машиной и бункером.

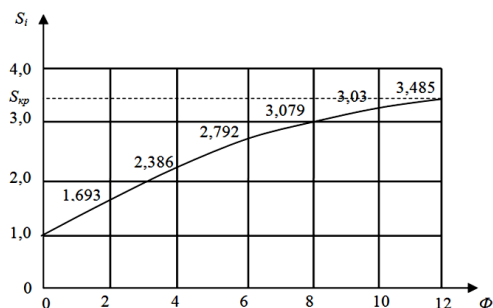


Рисунок 6 – Зависимость сложности S_i для одной машины от комплексного показателя Φ

Суммарное количество транспортных машин и бункеров не оказывает значительного влияния на сложность системы, в отличие от технологических машин (рисунок 7). Так, изменение сложности системы в пределах одного количества технологических машин дает прибавку от 3 до 6 единиц (в пределах исследуемого интервала).

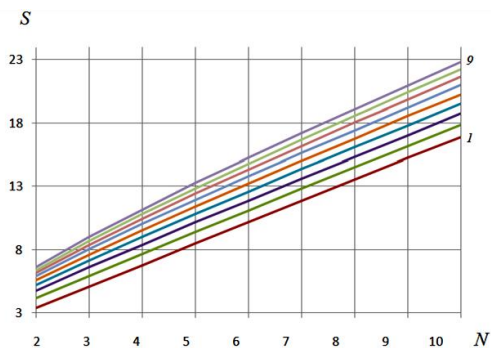


Рисунок 7 – Сложность S технологической системы приготовления комбикормов при двух режимах работы в зависимости от числа технологических машин N :

- 1) $\Sigma(n_1, n_2)=0$; 2) $\Sigma(n_1, n_2)=1$;
- 3) $\Sigma(n_1, n_2)=2$; 4) $\Sigma(n_1, n_2)=3$;
- 5) $\Sigma(n_1, n_2)=4$; 6) $\Sigma(n_1, n_2)=5$;
- 7) $\Sigma(n_1, n_2)=6$; 8) $\Sigma(n_1, n_2)=7$;
- 9) $\Sigma(n_1, n_2)=8$ (графики расположены по порядку).

Проведя теоретическое описание эффективности, надежности и сложности системы, многокритериальную задачу сформулируем следующим образом:

$$\begin{aligned} E(z) &\rightarrow \max; \\ K_z(z) &\rightarrow \max; \\ S(z) &\rightarrow \min; \\ g(z) &\leq g_i; \quad i = 1, \dots, l, \end{aligned} \tag{19}$$

где $z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ – набор переменных, определяющих данный показатель;

$g(z) \leq g_i$ – некоторые ограничения в количестве l .

В дальнейшем нам потребуется, чтобы все показатели стремились к тах. В этом случае $S(z)$ обозначим со знаком минус. Согласно известному принципу Эджворта-Парето всякий выбираемый вариант должен быть парето-оптимальным, т.е. если оценка одного из двух вариантов не хуже оценки второго варианта (т.е. $\geq$) по всем компонентам, причем, по крайней мере, по одной из них – строго лучше (т.е. $>$), то первый вариант предпочтительнее второго.

При концептуальном проектировании комбикормового цеха, т.е. начальной стадии, необходимо определить облик технического решения, т.е. структуру технологической системы. Имея несколько технологических схем, можно провести математическую оценку и принять правильное решение по структуре агрегата или цеха.

Для сравнительной оценки используем технологические схемы цехов по производству комбикормов (рисунки 8-10), разработанные в Алтайском ГАУ.

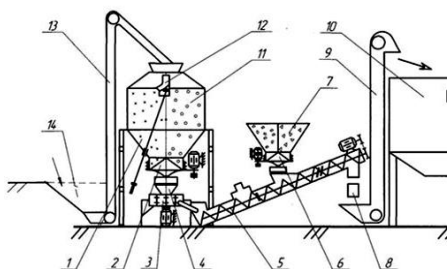


Рисунок 8 – Линия по производству комбикормов (линия № 1):

1, 11 – бункеры для исходных зерновых компонентов; 2, 6 – дозаторы; 3 – дробилка; 4 – пробоотборник; 5 – шнек-смеситель; 7 – бункер для добавок; 8 – магнитная колонка; 9, 13 – нории, 10 – бункер готовой продукции; 12 – поворотный рукав; 14 – завальная яма с очистительным устройством

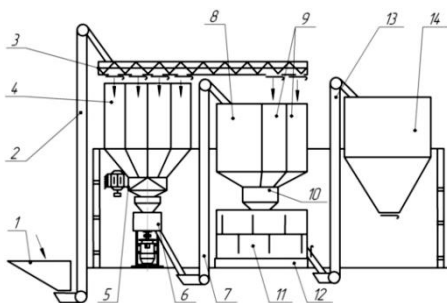


Рисунок 9 – Линия по производству комбикормов (линия № 2):

1 – завальная яма с очистительным устройством; 2, 7, 13 – нории; 3 – шнековый транспортер; 4 – бункеры для исходных зерновых компонентов; 5, 10 – дозаторы; 6 – дробилка; 8 – бункер для измельченных зерновых компонентов; 9 – бункеры для добавок; 11 – смеситель периодического действия; 12 – весы; 14 – бункер готовой продукции

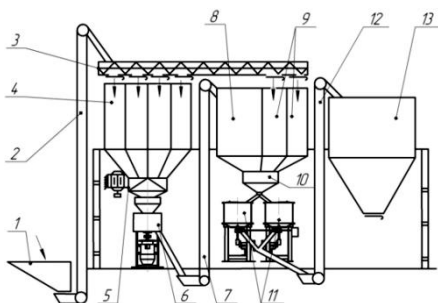


Рисунок 10 – Линия по производству комбикормов (линия № 3):

1 – завальная яма с очистительным устройством; 2, 7, 12 – норы; 3 – шнековый транспортер, 4 – бункеры для исходных зерновых компонентов; 5, 10 – дозатор; 6 – дробилка; 8 – бункер для измельченных зерновых компонентов; 9 – бункеры для добавок; 11 – вибрационные смесители периодического действия; 13 – бункер готовой продукции

Результаты расчета критериев приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчетные значения критериев

Критерий № линии	E	K_{Γ}	S
№ 1	1,480	0,923	-10,016
№ 2	1,609	0,934	-12,843
№ 3	1,623	0,986	-14,798

Из данных таблицы 1 следует, что наилучшими по Парето значениями критериев обладает схема № 3.

Для большей убедительности применим еще один метод, называемый «методом идеальной точки в пространстве критериев» и приведем критерии эффективности и сложности к нормированным показателям $\bar{E}$ и $\bar{S}$ (знаки минус в ней опущены). По величине ρ можно сказать, что тот вариант лучше, который ближе к идеальной точке (таблица 2).

Таблица 2 – Нормированные значения критериев

Критерий № линии	E	K_{Γ}	S	ρ
№1	0,822	0,923	0,719	0,474
№2	0,894	0,934	0,737	0,467
№3	0,902	0,986	0,708	0,432

Эти расчеты также показывают, что предпочтение нужно отдать линии № 3.

Исходя из теоретических основ и полученных результатов оптималь-

ной структуры комбикормового цеха схематически верная структура цеха будет выглядеть следующим образом (рисунок 11).

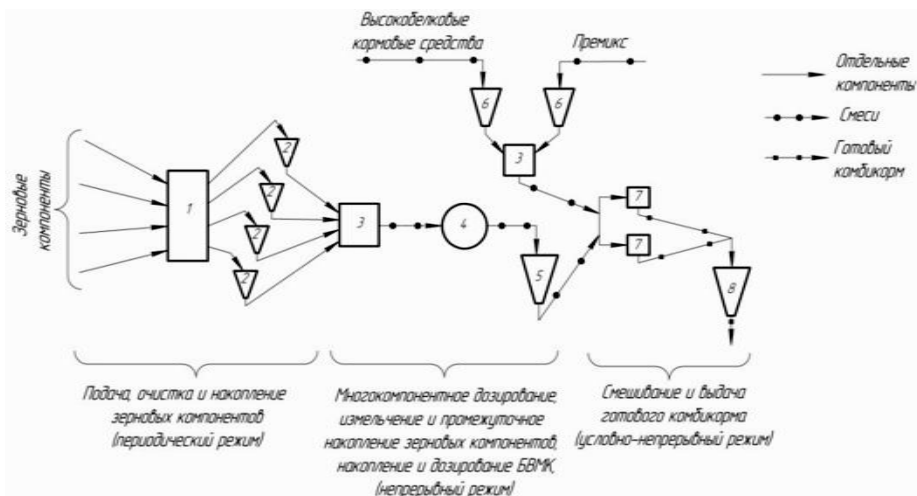


Рисунок 11 – Оптимальная структура комбикормового цеха для сельскохозяйственных предприятий: 1 – очистительное устройство; 2 – бункеры для исходных зерновых компонентов; 3 – многокомпонентный дозатор; 4 – дробилка; 5 – бункер для измельченных зерновых компонентов; 6 – бункеры для высокобелковых кормовых средств и премикса; 7 – смеситель периодического действия; 8 – бункер готовой продукции

Третья глава «Модели, методы и алгоритмы выбора состава технологических линий» дает основы выбора структуры комбикормового цеха в условиях достаточной и неполной исходной информации.

Для каждой из обязательных операций: загрузка компонентов, измельчение, дозирование измельченных и неизмельченных компонентов, смешивание существуют на рынке множество машин. В этом случае возникает проблема, какую выбрать машину для каждой операции и в целом комплект.

В условиях определенности были положены следующие частные критерии оценки отдельных машин цеха: 1) W_1 – удельный расход энергии (кВт·ч на единицу производительности); 2) W_2 – удельная материалоемкость (кг на единицу производительности); 3) W_3 – качественные показатели работы машин (например, однородность (%) комбикормовой смеси для смесителя); 4) W_4 – коэффициент готовности – один из важнейших и комплексных показателей надежности.

На основе данных технической характеристики машины определены натуральные и нормированные коэффициенты. Результаты приведены на примере дробилок (таблица 3).

Таблица 3 – Оценка дробилок

Вид дробилки, измельчителя	Производительность (Q), т/ч	Масса (M), кг	Мощность (N), кВт	Удельный расход энергии		Материалоемкость		Качественный показатель		Коэффициент готовности		Общая оценка
				натуральный W_1 , кВт·ч/(т·ч)	нормированный $\psi_1(W_1)$	натуральный W_2 , кг/(т·ч)	нормированный $\psi_2(W_2)$	натуральный W_3 , % (к-т переизмельчения)	нормированный $\psi_3(W_3)$	натуральный W_4	нормированный $\psi_4(W_4)$	
Молотковая роторная – Б1	2	420	37	18,5	0,00	210	0,00	10	0,00	0,96	0,33	0,33
Молотковая горизонтальная – Б2	2	380	21	10,5	0,55	190	0,33	10	0,00	0,98	1,00	1,88
Молотковая вертикальная – Б3	2	300	14	7	0,79	150	1,00	2	1,00	0,95	0,00	2,79
Дисковая – Б4	2	350	8	4	1,00	175	0,58	5	0,63	0,97	0,67	2,88
Плющилка – Б5	2	360	8	4	1,00	180	0,50	2	1,00	0,97	0,67	3,17
Ударно-центробежная – Б6	2	300	15	7,5	0,76	150	1,00	4	0,75	0,95	0,00	2,51

Для критериев, которые нужно уменьшать нормированный показатель

$$\psi_i(W_i) = \frac{\max W_i - W_i}{\max W_i - \min W_i}, \quad (20)$$

где $\max W_i$, $\min W_i$ – наибольшее и наименьшее значение i -го критерия;

W_i – действительное значение критерия рассматриваемой машины, а для критериев, которые нужно увеличивать

$$\psi_i(W_i) = \frac{W_i - \min W_i}{\max W_i - \min W_i}. \quad (21)$$

Комплексный критерий принимает вид:

$$J = \sum_{i=1}^n \alpha_i \psi_i(W_i) \rightarrow \max; \quad \alpha_i \geq 0, \quad (22)$$

где $\alpha_i = \frac{\partial J}{\partial \psi_i}$ – коэффициент веса (весомости) i -го частного критерия.

Предварительную оценку весомости критерия i -го коэффициента веса для j -той машины нужно исходить из формулы

$$\overline{\alpha_{ij}} = \frac{W_{ij}}{\sum_{j=1}^m W_{ij}}, \quad j = \overline{1...m}. \quad (23)$$

Качественный показатель будем оценивать так: 1 – если качество работы отвечает зоотехническим требованиям, требованиям стандартов, технологических инструкций и т.д.; 0 – если не отвечает требованиям перечисленной документации.

Значения коэффициентов важности критерия

$$\alpha_i = \frac{\overline{\alpha_i}}{\sum_{i=1}^n \overline{\alpha_{ij}}}. \quad (24)$$

Общая оценка комплекта I , при знании оценок составляющих его машин, равна величине

$$I = \sum_{k=1}^N J_k, \quad k = \overline{1, N}, \quad (25)$$

где N – число машин в комплекте.

Не нужно забывать, что при отборе вариантов комплектов, подлежащих многокритериальной оценке, проводятся предварительные неформальные процедуры. Они заключаются в следующем:

- проверяется возможность технологического и функционального сопряжения машин в технологических линиях и комплекте в целом;
- проводится анализ структурной надежности комплекта машин как технической системы, в которой машины выступают в качестве ее элементов.

Алгоритм расчета представлен на рисунке 12, а расчет комплекта комбикормового цеха проведен в MS Excel. Комплект оборудования, входящий в состав линии приготовления комбикормов № 1 (рисунок 8), А1-В3-Б3-В3-Г1 имеет оценку 3,755, а агрегат серии «Доза»-КК1 получил оценку А3-Б1-В4-Г5 = 2,860.

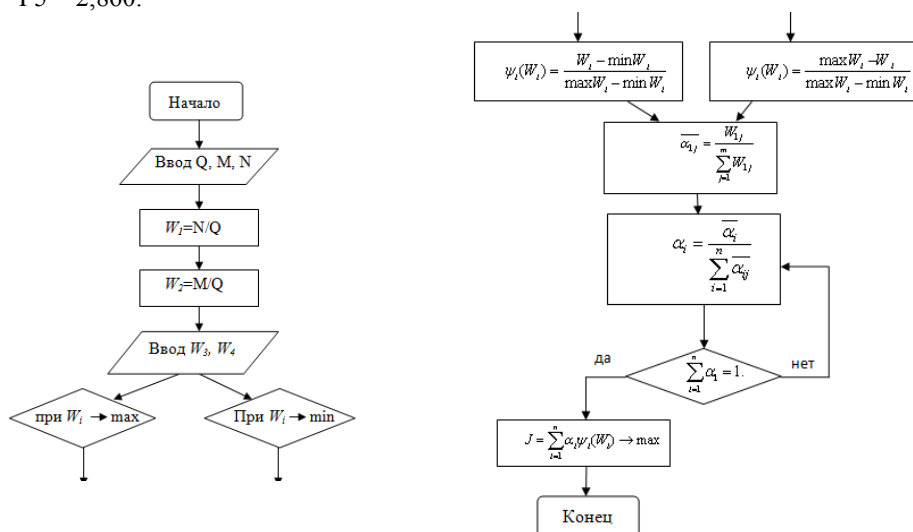


Рисунок 12 – Алгоритм расчета комплекта комбикормового оборудования

Обоснование комплекта оборудования при неопределенности можно представить в идее нечетких множеств по принципу Беллмана-Заде

$$A = \sum_{i=1}^k \frac{\mu_A(u_i)}{u_i}, \quad (26)$$

где $\mu_A(u_i)$ – степень принадлежности элемента $u_i \in U$ нечеткому множеству A .

На основе экспертной оценки ученых и производителей, компетентных в вопросах приготовления комбикормов, по 12 комбикормовым цехам: с одноэтапным дозированием конструкции ВНИИКП (проект u_1); с отбором и измельчением крупной фракции конструкции ВНИИКП (проект u_2); конструкции «Росинформагротех» (проект u_3); конструкции ВНИИМЖ (проект u_4); АК-3000 (проект u_5); конструкции «Агромаштехсервис» (проект u_6); «Алтай» конструкции Алтайского ГАУ (проект u_7); «Доза» КК-2 (проект u_8); конструкции Алтайского ГАУ (проект u_9); Р1-БКЗ конструкции Мельинвест (проект u_{10}); КОК-5 конструкции НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства (проект u_{11}); AGREX Kombinat (Италия) (проект u_{12}).

Для оценки использовали те же критерии, что и в условиях определенности. Результаты парных сравнений представляются в виде квадратной матрицы A , которая имеет свойство обратной симметричности, т.е. $a_{ji} = \frac{1}{(a_{ij})}$.

Оценка собственного вектора по строкам

$$\begin{array}{ccccccc} & u_1 & u_2 & u_3 & \dots & u_{12} & \\ u_1 & a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{112} & \\ u_2 & a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{212} & \\ u_3 & a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{312} & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \\ u_{12} & a_{121} & a_{122} & a_{123} & \dots & a_{1212} & \end{array} \rightarrow \begin{array}{l} \sqrt[12]{a_{11} \cdot a_{12} \cdot a_{13} \cdot \dots \cdot a_{112}} = b_1 \\ \sqrt[12]{a_{21} \cdot a_{22} \cdot a_{23} \cdot \dots \cdot a_{212}} = b_2 \\ \sqrt[12]{a_{31} \cdot a_{32} \cdot a_{33} \cdot \dots \cdot a_{312}} = b_3 \\ \dots \\ \sqrt[12]{a_{121} \cdot a_{122} \cdot a_{123} \cdot \dots \cdot a_{1212}} = b_{12} \end{array}$$

$\bar{\Sigma}$

Оценки степени принадлежности варианта нечеткому множеству:

$$\frac{b_1}{\Sigma} = \mu_{w_1}(u_1), \quad \frac{b_2}{\Sigma} = \mu_{w_1}(u_2), \quad \dots, \quad \frac{b_{12}}{\Sigma} = \mu_{w_1}(u_{12}).$$

Согласно полученным нечетким множествам W , наилучшим вариантом следует считать тот, у которого наибольшая степень принадлежности:

$$W = \arg \max(\mu_w(u_1), \mu_w(u_2), \dots, \mu_w(u_k)).$$

Результаты экспертных оценок в виде степеней принадлежности представлены на рисунке 13.

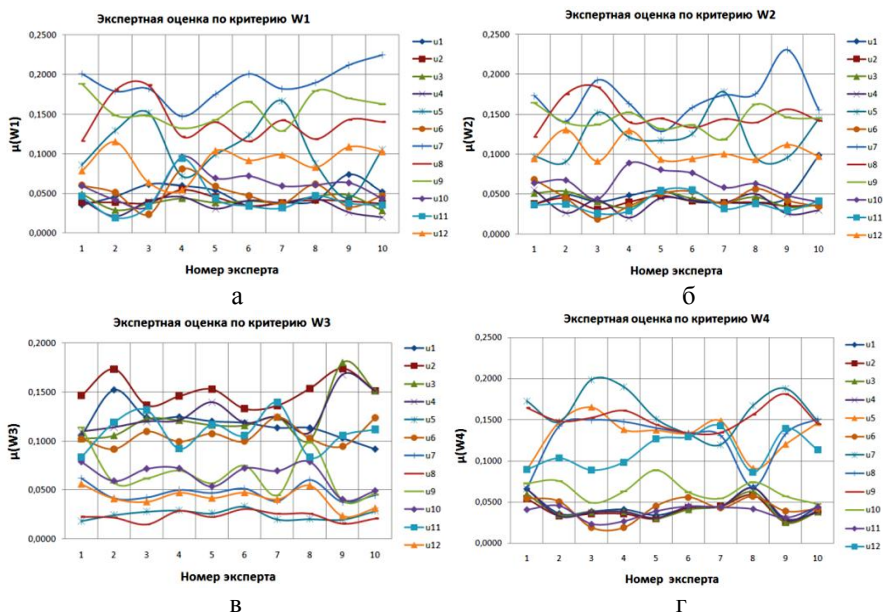


Рисунок 13 – Экспертные оценки в виде степеней принадлежности: а – для критерия W_1 ; б – для критерия W_2 ; в – для критерия W_3 ; г – для критерия W_4

По средним значениям μ можно записать следующие нечеткие множества:

$$\begin{aligned}
 \tilde{W}_1 &= \left\{ \frac{0,050}{u_1}; \frac{0,041}{u_2}; \frac{0,039}{u_3}; \frac{0,035}{u_4}; \frac{0,107}{u_5}; \frac{0,050}{u_6}; \frac{0,189}{u_7}; \frac{0,140}{u_8}; \frac{0,156}{u_9}; \frac{0,060}{u_{10}}; \frac{0,042}{u_{11}}; \frac{0,09}{u_{12}} \right\}; \\
 \tilde{W}_2 &= \left\{ \frac{0,050}{u_1}; \frac{0,039}{u_2}; \frac{0,043}{u_3}; \frac{0,038}{u_4}; \frac{0,122}{u_5}; \frac{0,044}{u_6}; \frac{0,169}{u_7}; \frac{0,148}{u_8}; \frac{0,143}{u_9}; \frac{0,063}{u_{10}}; \frac{0,038}{u_{11}}; \frac{0,103}{u_{12}} \right\}; \\
 \tilde{W}_3 &= \left\{ \frac{0,117}{u_1}; \frac{0,150}{u_2}; \frac{0,124}{u_3}; \frac{0,127}{u_4}; \frac{0,024}{u_5}; \frac{0,105}{u_6}; \frac{0,047}{u_7}; \frac{0,023}{u_8}; \frac{0,066}{u_9}; \frac{0,064}{u_{10}}; \frac{0,109}{u_{11}}; \frac{0,042}{u_{12}} \right\}; \\
 \tilde{W}_4 &= \left\{ \frac{0,045}{u_1}; \frac{0,040}{u_2}; \frac{0,041}{u_3}; \frac{0,043}{u_4}; \frac{0,132}{u_5}; \frac{0,043}{u_6}; \frac{0,162}{u_7}; \frac{0,126}{u_8}; \frac{0,152}{u_9}; \frac{0,065}{u_{10}}; \frac{0,038}{u_{11}}; \frac{0,112}{u_{12}} \right\}.
 \end{aligned} \tag{27}$$

По критериям: W_1 – удельный расход энергии, W_2 – удельная материалоемкость и W_4 – коэффициент готовности лучшими оказались: АК-3000 и два цеха Алтайского ГАУ. По критерию W_3 – качественные показатели работы агрегата лучшими стали: цех с одноэтапным дозированием и цех с отбором и измельчением крупной фракции конструкции ВНИИ КП, «Росинформротех» и ВНИИМЖ. Данный метод показал хорошую согласованность экспертных оценок, проверяемый коэффициентом конкордации Кендалла, а значимость критериев подтверждена с помощью критерия Пирсона «хи-

квадрат». В целом при оценке по всем критериям для сельскохозяйственных предприятий рекомендуются цеха Алтайского ГАУ, которые при низкой энерго- и материалоемкости имеют высокую надежность и при этом обеспечивают требуемое качество комбикормов.

В четвертой главе «Моделирование и многокритериальная оценка энергоемких технологических процессов комбикормового производства» дается оптимизация процессов измельчения, смешивания и гранулирования.

Согласно зоотехническим требованиям фуражное зерно подвергается трем степеням размола, которые характеризуются средними размерами частиц (модуль размола): 0,2-1,0 мм (для свиней), 1,0-1,8 (для КРС) и 1,8-2,6 мм (для птицы).

Размольные характеристики могут быть описаны с помощью непрерывного логарифмически нормального распределения. Однако в последнее время используют в основном распределение Розина-Раммлера.

На основании функции плотности вероятности $f(x)$ и функции распределения $F(x)$ определяется вероятность P того, что размер x частиц дерти примет значение, принадлежащее интервалу (x_1, x_2) для конкретного вида животных:

$$P(x_1 < x < x_2) = F(x_2) - F(x_1).$$

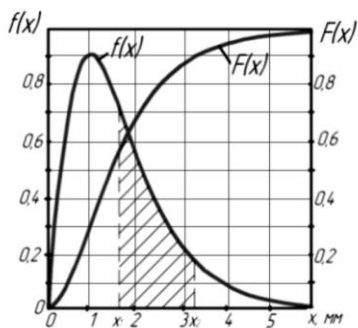


Рисунок 14 – Логарифмически нормальное распределение размеров x частиц дерти

Эту вероятность можно истолковывать как площадь заштрихованной на рисунке 14 фигуры. В нужную зону $(x_1 < x < x_2)$ попадает лишь некоторая часть помола. Размеры частиц $(0, x_1)$ представляют переизмельченный продукт, (x_2, ∞) – недоизмельченный. После преобразований имеем параметр μ , доставляющий максимум функции

$$\mu_* = \frac{\ln(x_1) + \ln(x_2)}{2}. \quad (28)$$

Таким образом, чтобы максимальное количество продукта размола попало в требуемый интервал (x_1, x_2) , измельчитель должен быть настроен так, чтобы обеспечить параметр μ_* , подсчитываемый по выражению (28).

Математическое ожидание (т.е. среднее) рассчитывается для данного вида распределения по формуле

$$M(x) = \exp(\mu + 0,5\sigma^2). \quad (29)$$

Более тонкий подход к решению задачи оптимизации гранулометрического состава дерти связан с введением экономических показателей. Для этого зададим удельные (в расчете на 1 кг дерти) потери от: 1) переизмельчения зерна (повышенные затраты энергии, недополучение продукции от живот-

ных) C_1 (руб./кг); 2) измельчения согласно зоотехническим требованиям C_2 (руб./кг); 3) недоизмельчения зерна (потраченная зря электроэнергия на измельчение и затраты на фуражное зерно, которое не усвоилось животными) C_3 (руб./кг).

Имея перечисленные показатели потерь, можно подсчитать общие средние потери W , которые будут равны сумме всех потерь, умноженных на вероятность их получения, т.е.

$$W = C_1 \int_0^{x_1} f(x) dx + C_2 \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx + C_3 \int_{x_2}^{\infty} f(x) dx.$$

Логично предположить, что $C_2 = 0$, тогда функцию цели можно записать в виде

$$W = C_1 \int_0^{x_1} f(x) dx + C_3 \int_{x_2}^{\infty} f(x) dx \rightarrow \min. \quad (30)$$

Преобразования дают формулу

$$\mu_* = \frac{\ln(x_1) + \ln(x_2)}{2} - \sigma^2 \frac{\ln(C_3 / C_1)}{\ln(x_2 / x_1)}. \quad (31)$$

Потери C_1 и C_3 можно приблизительно подсчитать по формулам

$$C_1 = C_9 \{ a_v [\lg(\lambda_1^3) - \lg(\lambda_2^3)] + a_s (\lambda_1 - \lambda_2) \} \eta + C; \quad (32)$$

$$C_3 = C_9 \{ a_v \lg(\lambda_3^3) + a_s (\lambda_3 - 1) \} \eta + C, \quad (33)$$

где C_9 – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб.;

a_v, a_s – коэффициенты пропорциональности в формуле С.В. Мельникова для затрат энергии на измельчение, кДж/кг;

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – показатели степени измельчения переизмельченного, отвечающего зоотехническим требованиям и недоизмельченного продукта;

η – коэффициент перевода кДж в кВт·ч ($\eta = 0,0002778$);

C – стоимость 1 кг исходного фуражного зерна.

Один из путей снижения потерь является применение многостадийного процесса измельчения. Потери, связанные с многостадийным измельчением, можно записать в виде

$$W_n = \frac{W_1}{n} + C_4(n-1), \quad (34)$$

где W_1 – потери при одностадийном измельчении;

n – число стадий измельчения;

C_4 – потери, обусловленные усложнением технологической линии или конструкции дробильной машины, руб. на 1 кг получаемой дерти.

Оптимальное число стадий измельчения n будет равно

$$n = \sqrt{\frac{W_1}{C_4}}. \quad (35)$$

Таким образом, смысл применять многостадийное измельчение есть только тогда, когда $W_1 \gg C_4$.

К процессу смешивания предъявляются требования: максимальная однородность смеси и производительность смесителя при минимальной энергоёмкости и времени смешивания. Задачу оптимизации можно представить в виде

$$\begin{aligned} \theta &= 1 - C_0 e^{-kt} \rightarrow \max; \\ q &= \frac{M}{Q_n} \cdot \frac{1}{t} \rightarrow \max; \\ A &= Nt \rightarrow \min; \\ t &> 0, \quad k > 0, \quad N > 0, \quad M > 0, \quad Q_n > 0. \end{aligned} \quad (36)$$

Образует из них два множества Парето:

$$\theta = 1 - C_0 e^{-kt}; \quad \bar{q} = \frac{M}{tQ_n}.$$

Оптимальную величину t^* (оптимальное время смешивания) можно найти из условия: $\theta = q$, т.е. из уравнения:

$$\frac{M}{tQ_n} - 1 + C_0 e^{-kt} = 0. \quad (37)$$

При помощи программы Mathcad получим решение уравнений (рисунок 15).

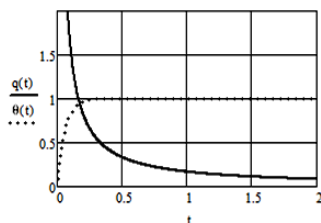
ОПТИМИЗАЦИЯ СМЕСИТЕЛЯ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

$M := 500$ $Q := 3000$ $C_0 := 1$ $k := 17$

$$q(t) := \frac{M}{t \cdot Q}$$

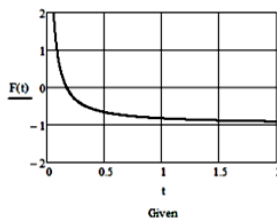
$$\theta(t) := 1 - C_0 \exp(-k \cdot t)$$

ПЕРЕСЕЧЕНИЕ МНОЖЕСТВ ПАРЕТО



ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

$$F(t) := \frac{M}{t \cdot Q} - 1 + C_0 \exp(-k \cdot t)$$



$$\frac{M}{t \cdot Q} - 1 + C_0 \exp(-k \cdot t) = 0 \quad t > 0.5$$

$$t_{\text{opt}} := \text{Find}(t) \quad t = 0.176 \quad \theta(t) = 0.949$$

Рисунок 15 – Совмещенный график двух множеств Парето при оптимизации времени работы смесителя

Таким образом, при указанных численных значениях M , Q_n , C_0 и k программа выдала результат: $t = 0,176$ ч ≈ 10 мин. При этом достигается однородность смеси 95%.

При оптимизации процесса прессования с учетом качества получаемой кормовой продукции можно выделить два критерия оптимальности:

A – удельные затраты энергии на прессование кормов, кДж/кг;

K – крошимость гранул или брикетов, определяемая путём проведения специальных испытаний, %.

Задача оптимизации удельных затрат энергии запишем в виде:

$$\begin{aligned}
 A &= f(\rho) \rightarrow \min; \\
 0 &\leq K \leq [K]; \\
 [\rho_-] &\leq \rho \leq [\rho_+],
 \end{aligned}
 \tag{38}$$

где $[K]$ – допустимое значение крошимости, предписываемое ГОСТ, %;

$[\rho_-]$, $[\rho_+]$ – минимальное и максимальное допустимые значения плотности гранул или брикетов, кг/м^3 .

Видоизменим сначала аргумент нашей функции цели, а именно вместо плотности ρ будем рассматривать относительное приращение плотности. Это приводит к эквивалентной оптимизационной задаче

$$A(z) = \frac{A_1(z)}{1-k(z)} \rightarrow \min. \tag{39}$$

Поскольку в реальности $(1-k^2) \neq 0$, то остается предположить, что

$$A_1'(1-k) - A_1(1-k)' = 0.$$

График функции $A_1(z)$ представляет монотонно возрастающую функцию, которая может быть аппроксимирована степенной функцией

$$A_1 = az^\alpha, \tag{40}$$

где a и α – экспериментально определяемые коэффициенты.

Функция $k(z)$ может быть представлена экспоненциальной зависимостью

$$k(z) = e^{-\beta z}, \tag{41}$$

где β – экспериментально определяемый коэффициент.

Производные функций (40) и (41) имеют вид

$$A_1' = a\alpha z^{\alpha-1}; \quad (e^{-\beta z})' = -\beta e^{-\beta z}.$$

После преобразования (41) получим

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{e^{\beta z} - 1}{z}. \tag{42}$$

Из данного трансцендентного уравнения и должно быть найдено оптимальное значение z (рисунок 16). Получим $z=7$, что соответствует плотности гранул $\rho=800\text{кг/м}^3$, а возврат крошки составит 14 %.

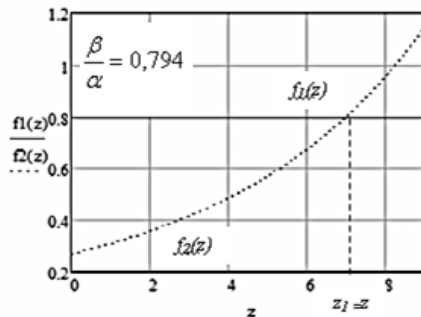


Рисунок 16 – Графическое определение приращения плотности гранул

В пятой главе «Внедрение результатов исследования в практику проектирования комбикормовых цехов и экономическая оценка технических решений» дается обоснование типоразмерного ряда и экономическая оценка внедрения результатов исследования.

Одним из главных требований к комбикормовому цеху является производительность. Для установления конкретных цифровых данных по производительности необходим анализ размеров ферм. Нами был выбран типичный регион развитого молочного животноводства – Алтайский край. Использовали статистические данные по всем фермам крупного рогатого скота, откормочным и молочным (последние существенно преобладают).

Обработка этой информации проведена с помощью программы STATISTICA. Было выяснено, что размеры ферм подчиняются логарифмически нормальному закону (рисунок 17), т.к. нормально распределена не сама величина размера ферм x , а ее логарифм. Это подтверждено с помощью критерия Пирсона χ^2 на уровне значимости $\alpha = 0,01$.

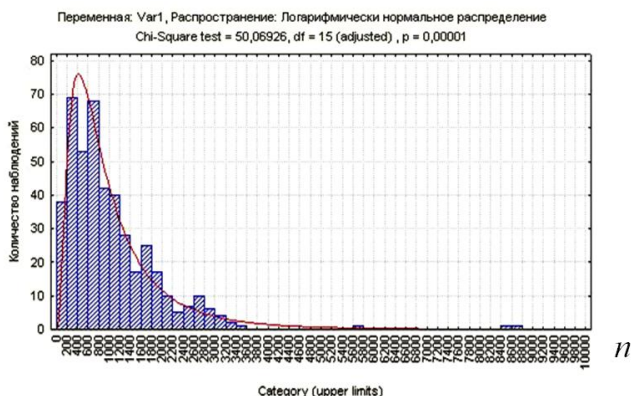


Рисунок 17 – Гистограмма и кривая плотности распределения ферм крупного рогатого скота по поголовью в Алтайском крае

Поскольку производная от интеграла равна подынтегральной функции, то в результате дифференцирования функций $F(kx_1)$ и $F(x_1)$ получим:

$$\frac{dP}{dx} = \exp \left\{ - \left[\frac{\ln(kx_1) - \mu}{\sigma\sqrt{2}} \right]^2 \right\} - \exp \left\{ - \left[\frac{\ln x_1 - \mu}{\sigma\sqrt{2}} \right]^2 \right\} = 0. \quad (43)$$

Преобразования данного выражения последовательно дают

$$x_{1*} = \exp(\mu - 0,5 \ln k). \quad (44)$$

При подстановке цифровых данных в последнюю формулу ($\mu = 6,60$; $k = 2$) получаем результат

$$x_{1*} = \exp(6,60 - 0,5 \ln 2,0) = 519 \text{ голов};$$

$$x_{2*} = kx_{1*} = 2 \cdot 519 = 1038 \text{ голов}.$$

Таким образом, комбикормовые предприятия одной производительности могут обслуживать от 519 до 1038 голов крупного рогатого скота.

Относительную долю данного поголовья от всего поголовья крупного рогатого скота в Алтайском крае находим с помощью значений таблиц интегралов вероятностей:

$$P(x_{1*} < x < x_{2*}) = F\left(\frac{\ln 1038 - 6,60}{0,18\sqrt{2}}\right) - F\left(\frac{\ln 519 - 6,60}{0,18\sqrt{2}}\right) = 0,31.$$

Таким образом, базовое комбикормовое оборудование может обслуживать до 31% поголовья крупного рогатого скота в Алтайском крае.

Весь типоразмерный ряд представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристики типоразмерного ряда комбикормового оборудования для обслуживания ферм крупного рогатого скота

Производительность комбикормового оборудования по обслуживаемому поголовью, n , голов.	130-260	260-519	519-1038	1038-2076	2076-4152
Производительность комбикормового цеха, Q , т/ч	0,375	0,75	1,5	3,0	6,0
Процент обслуживаемого поголовья, %	13	22	31	22	10

Анализ данных таблицы 4 показывает, что оборудование производительностью 0,75; 1,5; и 3,0 т/ч в совокупности может обслужить до 75% поголовья крупного рогатого скота Алтайского края. Видимо, этой номенклатурой хозяйственных комбикормовых предприятий и следует ограничиться. Крупные предприятия с поголовьем от 2 до 4 тыс. голов представляют чаще всего индустриальный тип производства. Обеспечить собственное производство комбикормов они могут, купив оборудование производительностью 3 т/ч и организовав его работу в 2 или даже 3 смены. Малым хозяйствам с поголовьем менее 260 голов придется покупать оборудование с завышенной для их нужд производительностью – 0,75 т/ч.

В зависимости от количества дней работы комбикормового оборудования и суточной дозы комбикорма животным требуемую производительность можно определить по полученным зависимостям (рисунок 18).

Из рисунка 18 видно, что при поголовье крупного рогатого скота до 2000 голов, куда попадают большинство ферм Алтайского края (рисунок 17), можем обеспечить комбикормом, при использовании цеха производительностью 3,0-4,2 т/ч. Выдача 10 кг на 1 фуражную голову (0,5 кг комбикорма на 1 кг молока) будет соответствовать годовому удою 6000 кг/голову.

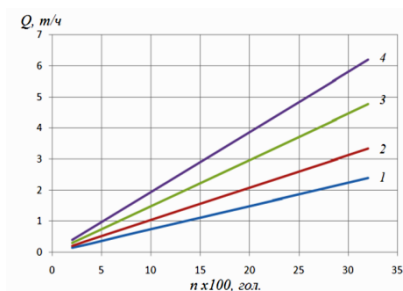


Рисунок 18 – Производительность Q комбикормового цеха в зависимости от поголовья n крупного рогатого скота и суточной нормы выдачи g при $N=360$; 1) $g=5$; 2) $g=7$; 3) $g=10$; 4) $g=13$

Производственная проверка показала, что при удельных энергозатратах процесса 9,8-10,5 кВт·ч/т и материалоемкости 660-800 кг·ч/т, использовании собственного зернофуража и покупных добавок, в зависимости от рецептуры, применяемой в хозяйствах, себестоимость комбикорма составила 6800-8200 руб./т. При этом однородность смеси находилась в пределах 90-95%, а степень измельчения соответствует зоотехническим требованиям. Покупной комбикорм аналогичного состава обходится в 8000-11000 руб./т, при этом необходимо учитывать транспортные расходы, возможность потерь при перевозке и сепрегацию смеси.



Рисунок 19 – Комбикормовый агрегат производительностью 3 т/ч (разработка Алтайского ГАУ)

Проведенная производственная проверка и внедрение разработанных комбикормовых цехов на 12 предприятиях Алтайского края: подтвердили теоретические модели. Отдельные технологические линии представлены на рисунках 19 и 20.

Внедренные цеха имеют следующую техническую характеристику: производительность: 3 т/ч; количество неизмельченных компонентов: до 4; количество измельченных компонентов: до 4; добавки, премиксы – неограниченно; мощность дробилки: 15 кВт; общая установленная мощность: 30,5 кВт; масса оборудования: 2000 кг; габаритные размеры: 6000x2400x3400 мм; агрегат обслуживает один оператор.



Рисунок 20 – Технологические линии для производства комбикормов, внедренные в хозяйствах Алтайским ГАУ

Для быстрого подсчета эксплуатационных затрат на этапе проектирования, а именно затрат на электроэнергию комбикормового цеха, амортизацию и ремонт можно воспользоваться номограммой (рисунок 21). Для построения номограммы и в дальнейшем экономическом расчете принимались амортизационные отчисления – 14,3% и отчисления на ремонт – 8%.

Экономическую эффективность разработанной линии для приготовления комбикормов сравним с комбикормовым агрегатом Р1-БКЗ компании «Мельинвест», т.к. имеют схожие технологические схемы.

Для расчета используем научно-обоснованный рецепт комбикорма для коров на стойловый период (удой 5000 кг) К 60-17-89. Расчет затрат на сырье для приготовления комбикорма на 01.10.17 г. составил 8950 руб./т.

Для расчета экономической эффективности использовали исходные данные таблицы 5.

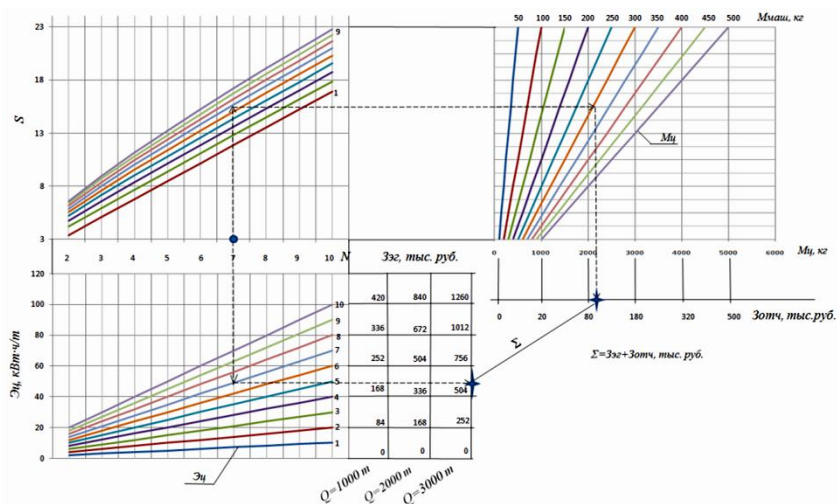


Рисунок 21 – Номограмма определения годовых эксплуатационных затрат комбикормового цеха от количества машин N , входящих в состав линии, и ее сложности S

Таблица 5 – Исходные данные для расчета экономической эффективности

Показатель	Предлагаемый цех	P1-БКЗ
1. Производительность, т/ч	3	2
2. Установленная мощность, кВт	30,5	40
3. Удельные энергозатраты, кВт·ч/т	10,2	20
4. Масса агрегата, кг	2000	11000
5. Удельная материалоемкость, кг/т	700	5500
6. Балансовая стоимость, тыс.руб.	950	3488
7. Обслуживающий персонал, чел.	1	1
8. Цена 1 кВт·ч электроэнергии, руб.	4,26	4,26
9. Нормативная годовая загрузка, ч	2112	2112
10. Годовая выработка комбикорма, т	6336	4224

Таблица 6 – Результаты экономической эффективности

Наименование	Предлагаемый цех	P1-БКЗ
1. Затраты на заработную плату, тыс. руб.	515,6	515,6
2. Затраты на электроэнергию, тыс. руб.	274,4	359,9
3. Затраты на ТО и текущий ремонт, тыс. руб.	76	279,1
4. Затраты на амортизацию, тыс. руб.	135,8	498,8
5. Затраты на компоненты комбикорма, тыс. руб.	56707	37804
6. Прямые эксплуатационные затраты, тыс. руб.	57708,8	39457,4
7. Удельные затраты на 1 т комбикорма, тыс. руб/т	9108	9341
8. Годовой экономический, тыс. руб.	1476	-
9. Срок окупаемости, год.	0,61	

Анализ данных таблицы 6 показывает, что при нормативном сроке эксплуатации 7 лет и годовой выработке 6336 т комбикорма получили годовой экономический эффект 1476 тыс. руб. по сравнению с серийно выпускаемым Р1-БКЗ производства «Мельинвест». Эффект получен за счет более низкой удельной энергоемкости и материалоемкости процесса и, соответственно, более низких отчислений на амортизацию, ремонт и техническое обслуживание.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные теоретические исследования, достаточно широкая производственная проверка и внедрение, позволили сформулировать следующие научные выводы:

1) На основе анализа научных методов обоснования структуры и состава технологических линий комбикормовых цехов, систематизации и классификации различных технологических схем комбикормовых предприятий разработаны модели оценки эффективности, надежности, сложности и интегральный критерий на основе принципа Парето и идеальной точки, по которым оценивается структура технологических схем комбикормовых цехов на этапе концептуального проектирования.

2) На основе введенных моделей и методов, привлечения экспертной информации обоснована оптимальная структура технологической системы цеха, имеющая веерный вид с комбинацией периодических и непрерывных режимов работы оборудования на отдельных операциях технологического процесса приготовления комбикормов. Сравнительная оценка трех схем комбикормовых цехов, разработанных Алтайским ГАУ, показала, что наилучшим вариантом является именно такая структура технологической системы. При этом она характеризуется величиной нормированной эффективности $E=0,902$, коэффициентом готовности $K_g=0,986$ и нормированным показателем сложности $S=0,708$.

3) Разработаны модели и методы многокритериального выбора конкретного комплекта оборудования для производства комбикормов в хозяйственных условиях. Для случая полной определенности по информации о технических характеристиках кормоприготовительных машин основу выбора составляет метод адаптирующихся коэффициентов важности критериев, новизна которого состоит в том, что важность критерия соотносится с соответствующими показателями других машин комплекта. В этом случае снижается субъективность оценок, как это имеет место в большинстве известных методов многокритериальной оценки. На современном уровне развития кормоприготовительной техники возможно достижение удельных показателей для хозяйственных комбикормовых цехов: энергоемкости – 10 кВт·ч/т; материалоемкости – 700 кг/т; качественных показателей комбикормов – в соответствии с зоотехническими требованиями.

4) Предложена методика сравнения и выбора в условиях неопределенности, когда параметры отдельных машин неизвестны. В этом случае адек-

ватным методом является экспертная оценка с нечеткой оптимизацией комплекта оборудования по методу Беллмана-Заде. Использовали методику парных сравнений и выразив результаты их через нечеткие множества, получили лучшие варианты по исследуемым критериям. Из 12 комплектов комбикормовых цехов предлагаемых на рынке по критериям: удельный расход энергии, удельная материалоемкость и коэффициент готовности лучшими оказались цех АК-3000 и два цеха Алтайского ГАУ. По критерию – качественные показатели работы лучшими стали: цех с одноэтапным дозированием и цех с отбором и измельчением крупной фракции конструкции ВНИИ КП, цех конструкции «Росинформагротех» и цех конструкции ВНИИМЖ. Данный метод показал хорошую согласованность экспертных оценок, проверяемый коэффициентом конкордации Кендалла. В целом при оценке по всем критериям для сельскохозяйственных предприятий рекомендованы цеха Алтайского ГАУ, которые при низкой энерго- и материалоемкости имеют высокую надежность и при этом обеспечивают требуемое качество комбикормов.

5) Разработана модель оптимизации гранулометрического состава на основании критерия оптимальности, содержащая потери от переизмельчения и недоизмельчения фуражного зерна, а также дополнительные затраты, позволяет выработать рекомендации по настройке и направлениям совершенствования измельчителей. Получена зависимость позволяющая определить целесообразность многостадийного процесса измельчения фуражного зерна и число стадий измельчения.

Разработана методика определения оптимального времени смешивания для достижения максимальной однородности и производительности смесителя при минимальных затратах энергии. Для смесителя периодического действия при производительности 3 т/ч необходимое время смешивания составляет 10 минут и достигается однородность до 95 %.

Предложена методика оптимизации процесса прессования комбикорма, позволяющая получить минимальную энергоемкость процесса при требуемой крошимости гранул и брикетов. В этом случае при оптимизации процесса по критерию энергозатрат, учтен возврат отошедшей крошки на повторное прессование, что дает более объективное представление о реальных затратах энергии. Так при прессовании брикетов из комбикорма и резки люцерны получим плотность 800 кг/м^3 при возврате крошки на повторное прессование 14,1 %.

6) Разработан метод обоснования типоразмерного ряда комбикормовых предприятий на основе статистических данных о поголовье животных и количественном составе животноводческих ферм. На основе данных Алтайского края установлен логнормальный закон распределения ферм по поголовью. Обоснован типоразмерный ряд, позволяющий обеспечить максимальное поголовье комбикормовым цехом одной производительностью. Цех производительностью 0,75; 1,5; и 3,0 т/час в совокупности может обслужить до 75% поголовья крупного рогатого скота Алтайского края. Предприятиям с поголовьем от 2 до 4 тыс. голов необходимо использовать цех производительности

стью 3 т/ч и организовать его работу в 2 или 3 смены. Малым хозяйствам с поголовьем менее 260 голов – использовать цех производительностью – 0,75 т/ч, при этом организовать работу по полсмены каждый день, или 2-4 дня в неделю.

7) Реализация производственной проверки комбикормовых цехов в сельскохозяйственных предприятиях показала, что в зависимости от рецептуры, удельные энергозатраты процесса составили 9,8-10,5 кВт·ч/т, а материалоемкость 660-800 кг/т. На предприятиях использовали собственный зернофураж и покупные добавки, что позволило производить комбикорма себестоимостью 6800-8200 руб./т. При этом однородность смесей составила 90-95%, процент переизмельчения не более 6 %, а степень измельчения соответствовала зоотехническим требованиям. Разработанные методы и алгоритмы расчета внедрены в учебный процесс Алтайского ГАУ, ООО «Агромаштехсервис» и ООО «Перспектива» для проектирования сельскохозяйственных комбикормовых цехов.

8) Разработана номограмма для определения годовых эксплуатационных затрат комбикормового цеха в зависимости от количества машин входящих в состав линии и ее сложности. В этом случае по усредненным нормативам энергоемкости и материалоемкости на этапе проектирования, при определенной годовой выработке, можно оценить затраты на амортизацию комбикормового цеха, его ремонт и электроэнергию. Произведена оценка экономической эффективности предлагаемого комбикормового цеха в сравнении с Р1-БКЗ компании «Мельинвест», которая показала, что меньшие удельные затраты в 233 руб./т достигаются за счет низкой материалоемкости и энергоемкости процесса. Годовой экономический эффект составит 1476 тыс. руб. при нормативной годовой загрузке 2112 часов и выработке 6336 т. комбикорма.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании технологических схем комбикормовых цехов, а также разработки номенклатуры цехов для различных видов животных. Дальнейшая перспектива разработки темы заключается в совмещении нескольких технологических операций в одной машине.

Список работ, опубликованных автором (в соавторстве) по теме диссертации:

В изданиях, включенных в перечень ВАК РФ

1. Садов, В.В. Обоснование параметров разгонного диска на дробилках с вертикальными валами [Текст] / **В.В. Садов, В.А. Садовая** // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 1 (51). – С. 43-46.
2. Федоренко, И.Я. Особенности решения многокритериальных задач при трех критериях оптимальности [Текст] / И.Я. Федоренко, **В.В. Садов** //

Вестник Алтайского государственного аграрного университета. - 2012.- № 5 (91). - С. 110-114.

3. Федоренко, И.Я. Теоретические основы оптимизации гранулометрического состава дерти, образуемой при измельчении фуражного зерна [Текст] / И.Я. Федоренко, **В.В. Садов**, И.Б. Шагдыров // Ползуновский вестник. – 2012.– №2/2. – С. 299-233.

4. Федоренко, И.Я. Численный метод построения множества Парето при использовании уравнений регрессии [Текст] / И.Я. Федоренко, **В.В. Садов** // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 1 (99). – С. 99-103.

5. Федоренко, И.Я. Уточнение номенклатуры сельскохозяйственных предприятий по производству комбикормов (на примере Алтайского края) [Текст] / И.Я. Федоренко, **В.В. Садов** // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 1 (111). – С. 87-91.

6. Федоренко, И.Я. Оптимизация процесса прессования кормов в гранулы и брикеты по критерию энергетических затрат [Текст] / И.Я. Федоренко, **В.В. Садов** // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 2 (112). – С. 114-119.

7. Федоренко, И.Я. Обоснование объемно-планировочных и технических решений молочно-товарной фермы для условий Сибири с использованием классификационной матрицы [Текст] / И.Я. Федоренко, **В.В. Садов**, Н.И. Капустин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016.– №11(145). – С. 140-146.

8. Садов, В.В. Многофункциональность как критерий оценки уровня техники на примере систем кормления и вентиляции животноводческих помещений [Текст] / **В.В. Садов**, Н.И. Капустин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – №1(147). – С. 146-152.

9. Федоренко, И.Я. Многокритериальный выбор комплекта оборудования для хозяйственного производства комбикормов [Текст] / И.Я. Федоренко, **В.В. Садов** // Дальневосточный аграрный вестник. – 2017. – №1 (41). – С.81-88.

10. Федоренко, И.Я. Модель эффективности технологической системы комбикормового цеха как иерархической структуры [Текст] / И.Я. Федоренко, **В.В. Садов** // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2017. – №3 (27). – С. 180-187.

11. Федоренко, И.Я. Структурная сложность технологической системы комбикормового цеха [Текст] / И.Я. Федоренко, **В.В. Садов** // АПК России. – 2017. – Т. 24 №2. – С. 437-442.

12. Садов, В.В. Экспертная оценка комбикормовых агрегатов на основе нечетких множеств [Текст] / **В.В. Садов** // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – №9(155). – С. 179-185.

13. Садов, В.В. Сравнительная оценка комбикормовых агрегатов на этапе концептуального проектирования [Текст] / **В.В. Садов** // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – №10 (156). – С.

В патентах РФ

14. Пат. 2248846 Российская Федерация МПК В 02 С 13/16. Устройство для измельчения материалов с увлажнением [Текст] / В.И. Земсков, М.Г. Желтунов, **В.В. Садов**; заявитель и патентообладатель: ГОУ ВПО "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова" (АлтГТУ), Желтунов М.Г. – № 2003131523; заяв. 27.10.2003; опубл. 27.03.2005. Бюл. № 9.

15. Пат. 2481147 Российская Федерация МПК В 01 F3/18. Линия для смешивания сыпучих смесей [Текст] / И.Я. Федоренко, **В.В. Садов**, Д.Ю. Мананников; патентообладатель Федоренко И.Я. – № 2011149995/05 № 2011149955/05; заяв. 07.12.2011; опубл. 10.05.2013.

16. Патент 2513750 Российская Федерация МПК В 02 С25/00. Устройство для измельчения сыпучих материалов [Текст] / И.Я. Федоренко, **В.В. Садов**, Н.Д. Дорохова; патентообладатель Садов В.В. – № 2012157582/13; заяв. 26.12.2012; опубл. 20.04.2014 Бюл. № 11.

17. Патент 2524258 Российская Федерация МПК А 23 N17/00. Линия по производству комбикормов [Текст] / **В.В. Садов**, И.Я. Федоренко; патентообладатель Садов В.В. – № 2013110554/13, заяв. 11.03.2013; опубл. 27.07.2014.

В монографиях, рекомендациях и учебных пособиях

18. Производство комбикормов в хозяйственных условиях [Текст]: учебное пособие / **В.В. Садов**. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2009. – 96 с.

19. Ресурсосберегающие технологии и оборудование в животноводстве [Текст]: учебное пособие с грифом УМО / И.Я. Федоренко, **В.В. Садов**. – СПб.: Лань, 2012. – 304 с.

20. Техника и технологии в животноводстве. Часть 1. Механизация приготовления и раздачи кормов [Текст]: учебное пособие / И.Я. Федоренко, **В.В. Садов**. – Барнаул: РИО АГАУ, 2014. – 207 с.

21. Технологическая оптимизация хозяйственных комбикормовых предприятий [Текст]: Монография / И.Я. Федоренко, **В.В. Садов**. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2017. – 252 с.

22. Производство комбикормов в коллективных и фермерских хозяйствах [Текст]: Рекомендации / И.Я. Федоренко, **В.В. Садов**. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2017. – 52 с.

В материалах конференций

23. Садов, В.В. Повышение биологической ценности комбикормов при их приготовлении [Текст] / **В.В. Садов** // Молодежь – Барнаулу: материалы V науч.-практ. конф. – Барнаул: АзБука, 2003. С. 275-276.

24. Садов, В.В. Обоснование параметров молоткового измельчителя-смесителя для внесения жидких компонентов в комбикорма [Текст] / **В.В. Садов** // Молодежь – Барнаулу: материалы VI науч.-практ. конф. – Барнаул: АзБука, 2004. С. 307-308.

25. Садов, В.В. Экспериментально-теоретическое обоснование параметров молоткового смесителя для внесения жидких компонентов в комбикорма

[Текст] / **В.В. Садов** // Вузовская наука – сельскому хозяйству: материалы Междунар. науч.-практ. конф: в 2 кн. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2005. - Кн. II. С. 12-17.

26. Садов, В.В. Возможность совмещения операций в технологических процессах приготовления комбикормов [Текст] / **В.В. Садов** // Аграрная наука – сельскому хозяйству: материалы III Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 кн. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2008. – Кн. II. С. 211-212.

27. Садов, В.В. Энергосберегающие технологии при производстве комбикормов [Текст] / **В.В. Садов** // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник статей IV Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 кн. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2009. - Кн. 1. С. 291-294.

28. Федоренко, И.Я. Машинно-технологическая модернизация молочно-го животноводства: некоторые итоги и проблемы [Текст] / И.Я. Федоренко, **В.В. Садов**, Т.Н. Землянухина // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник статей VII Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 кн. - Барнаул: Изд-во АГАУ, 2012. – Кн. 3. С. 6-8.

29. Садов, В.В. Источники шума и вибрации кормоприготовительных машин и методы их снижения [Текст] / **В.В. Садов**, Н.Д. Дорохова // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник статей VII Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 кн. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2012. – Кн. 3. С. 20-21.

30. Федоренко, И.Я. Современное состояние и перспективы развития комбикормовой отрасли Алтайского края [Текст] / И.Я. Федоренко, **В.В. Садов**, В.Ф. Коняев // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник статей VIII Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 кн. – Барнаул: РИО АГАУ, 2013. – Кн. 3. С. 65-68.

31. Федоренко, И.Я. Структурно-технологические основы совершенствования комбикормовых агрегатов [Текст] / И.Я. Федоренко, **В.В. Садов** // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник статей XI Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 кн. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2016. – Кн. 3. - С. 3-5.

32. Садов, В.В. Анализ процесса транспортировки кормов к животноводческим помещениям [Текст] / **В.В. Садов**, Н.И. Капустин // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник статей XII Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 кн. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2017.– Кн. 3. - С. 39-41.

33. Федоренко, И.Я. К вопросу обоснования набора машин для приготовления комбикормов в хозяйствах [Текст] / И.Я. Федоренко, **В.В. Садов** // Современные проблемы техники и технологий пищевых производств: сборник статей XVIII Междунар. науч.-практ. конф.:– Барнаул: Изд-во АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 2017. С. 246-248.

34. Федоренко, И.Я. Многокритериальная оценка технологической системы комбикормового цех [Электронный ресурс] / И.Я. Федоренко, **В.В. Садов** // XIV Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь». Барнаул. 2017. Режим доступа: http://edu.secna.ru/media/f/ntts_sod_tez_2017.pdf (дата обращения 08.09.2017).

35. Федоренко, И.Я. К вопросу эффективности технологической схемы комбикормового цеха [Электронный ресурс] / И.Я. Федоренко, **В.В. Садов** // XIV Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь». Барнаул. 2017. Режим доступа: http://edu.secna.ru/media/f/ntts_sod_tez_2017.pdf (дата обращения 08.09.2017).

36. Садов, В.В. Структурная оптимизация хозяйственных комбикормовых предприятий. [Электронный ресурс] / **В.В. Садов** // VII всероссийская научно-практическая конференция «Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы». г. Рубцовск. 2017.

Публикации в других изданиях

37. Садов, В.В. Внесение жидких компонентов при приготовлении комбикормов [Текст] / **В.В. Садов** // Вестник Алтайского государственного аграрного университета.– 2003.– № 1(9). С. 106-110.

38. Садов, В.В. Обоснование параметров процесса ввода жидких компонентов при измельчении фуражного зерна в молотковой дробилке [Текст] / **В.В. Садов** // Автореф. дис... канд. техн. наук. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 2005. – 24 с.

39. Федоренко, И.Я. К вопросу построения номенклатурного ряда хозяйственных комбикормовых предприятий [Текст] / И.Я. Федоренко, **В.В. Садов**. // Молодые ученые – сельскому хозяйству Алтая: сборник научных трудов. – Барнаул: РИО АГАУ, 2012. – Вып. 6. – С. 129-132.

