

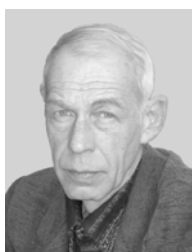
## ЭКСТРУЗИЯ ОЗИМОЙ РЖИ – ОДИН ИЗ ПУТЕЙ РАЗВИТИЯ КОРМОВОЙ БАЗЫ НА УРАЛЕ



В.П. Коробов,  
кандидат медицинских наук,  
заведующий лабораторией  
биохимии развития  
микроорганизмов,  
Институт экологии и генетики  
микроорганизмов УрО РАН



В.А. Ситников,  
кандидат сельскохозяйственных  
наук,  
доцент кафедры кормления и  
развития сельскохозяйственных  
животных,  
Пермская государственная  
сельскохозяйственная академия



Е.В. Славнов,  
доктор технических наук,  
заведующий лабораторией  
механики термопластов,  
Институт механики сплошных  
сред УрО РАН

Представлено описание работы и эксплуатационных характеристик опытной экструзионной установки переработки зерна. Исследован характер влияния технологических параметров процесса экструзии на пищевую ценность получаемых продуктов. Используемые при экструдировании давления, деформации сдвига и температурные режимы приводят к повышению атакуемости содержащихся в зерне полимерных углеводных и белковых компонентов гидролитическими ферментами пищеварительного тракта, что обуславливает значительное увеличение пищевой ценности готового продукта. Приведены результаты экспериментального исследования продуктивности и состояния здоровья коров при полной замене кормовых добавок в их рационе экструдатом озимой ржи. Замена концентратной части рациона коров повысила его биологическую ценность за счет увеличения содержания легкоусвояемых углеводов, что оказало положительное влияние на состояние здоровья животных и повышение их молочной продуктивности.

Известно, что экструзионная технология широко применяется в промышленности, в частности при получении длинномерных полимерных изделий (труб, профилей и т.д.), кабельной продукции, изоляторов, порохов, макаронных изделий и т.д. Однако когда речь идет о горячей экструзии крахмалосодержащих продук-

тов, встают совершенно другие вопросы, определяющие успешность решения поставленной задачи. В данном случае возникает сложнейшая задача, едва ли не превосходящая по трудности пространственную, неизотермическую, связанную задачу течения реологической, химически активной жидкости в условиях бародиф-

фузии и фильтрации. И в то же время в результате протекания процесса важно получить продукт с необходимыми пищевыми качествами (усвояемость, перевариваемость, наличие минеральных составляющих и т.д.), свойства которого определяются множеством параметров процесса и исходным перерабатываемым продуктом.

Повышение рентабельности животноводства может быть обеспечено внедрением в практику новых методов приготовления кормов. К таким методам относится экструзионная технология переработки зерновых культур. В основе экструзионных методов лежит комплексное воздействие на продукт переработки кинематических, силовых, а также тепловых полей. Технология позволяет осуществить совместное воздействие интенсивным сдвигом, давлением и температурой, создать условия для протекания сложных термодинамических процессов, приводящих к перестройкам структуры продукта на наноуровне. Экструзионное диспергирование зерна сопровождается микронизацией пищевых компонентов до субмолекулярных структур, с молекулярной атакой наночастиц полисахаридных и белковых молекул ферментами пищеварительного тракта животных и человека, что способствует увеличению пищевой ценности компонентов зерна и значительному повышению эффективности их усвоения.

Использование экструзионной переработки позволяет улучшить перевариваемость и усвояемость кормов, повысить их стабильность при хранении, получить новые виды продуктов с высокими вкусовыми качествами, использовать механизацию и автоматизацию процесса переработки зерновых продуктов. Экструзионная технология широко используется для переработки соевых и некоторых зерновых культур, но значительно реже – для переработки озимой ржи. В то же время рожь для Пермской области и других районов Урала имеет особое значение. Рожь дает устойчивый урожай, а по энергетической ценности превосходит такие зерновые, как ячмень, просо, кукуруза и

овес. К сожалению, эта зерновая культура в кормлении животных используется ограниченно из-за наличия в ней особых химических факторов, которые, подавляя ряд бактерий кишечной микрофлоры, приводят к резкому нарушению пищеварительных процессов и гибели животных. Преодоление этого негативного действия могло бы не только существенно увеличить долю озимой ржи в кормовой базе с формированием полноценных пищевых рационов животных, но и одновременно способствовать снижению общей трудовой нагрузки в сельхозпроизводстве в весенний период.

Работы по использованию экструзионной технологии при переработке зерновых продуктов были начаты в Перми еще в восьмидесятые годы прошлого столетия. В Советском Союзе организация разработки и выпуска экструзионного оборудования для кормовой и пищевой отраслей была определена Союзной программой и Приказом Министерства хлебопродуктов СССР № 190 от 30.06.88. Институт механики сплошных сред УрО РАН (г. Пермь) являлся исполнителем проекта. В рамках программы были проведены исследования по переработке зерна кукурузы, являющегося хорошим технологическим продуктом для экструзионной переработки. В результате проведенных работ была отработана технология горячей экструзии увлажненных зерен кукурузы на лабораторном оборудовании. Было показано, что ее пищевая ценность после переработки возрастает в 5–7 раз. Был разработан экструзионный прессующий узел, предложены схемы и технические решения увлажнения исходного продукта и смыва материала в случае «закозления» (шнек вращается, а истечения продукта из экструдера не происходит), разработана часть технического задания на создание опытной установки производительностью 2,5–3 т зерна в час при переработке кукурузы. Однако работы по программе закончены не были.

В начале этого столетия (2002 г.) при поддержке Президиума Пермского научного центра, Администрации Пермской области, а в дальнейшем и Фонда содей-

ствия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере работы в этом направлении были продолжены. Кроме Института механики сплошных сред УрО РАН в них приняли участие НПО «Искра», Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, Пермская государственная сельскохозяйственная академия. Учеными Института механики сплошных сред совместно со специалистами НПО «Искра» была разработана и изготовлена одношнековая установка, предназначенная для экструзионной переработки зерновых культур, в том числе озимой ржи (рис. 1).

Установка состоит из экструзионного блока, блока подготовки зерна, системы подачи воды, системы контроля и управления. Следует отметить, что все комплектующие изделия установки – отечественного производства. Проектная производительность установки при переработке ржи достигала 100 кг/ч с температурным воздействием по зонам корпуса шнека в диапазоне 130–150 °С. В декабре 2004 года в соответствии с техническим заданием экструзионная установка переработки зерновых продуктов ЭУПЗ была принята приемочной комиссией и рекомендована для опытной эксплуатации на базе Института механики сплошных сред УрО РАН.

Целью дальнейших работ являлась

оценка эффективности использования опытной экструзионной установки для подготовки концентрированных кормов. Она включала экспериментальную проверку и анализ эксплуатационных характеристик опытной экструзионной установки; изучение влияния условий экструдирования на состояние питательных компонентов; определение нормы ввода зерна озимой ржи экструзионной переработки в рацион дойных коров и оценку влияния этого на их продуктивность.

В результате эксплуатации опытной экструзионной установки переработки зерна были проведены экспериментальная проверка и анализ ее эксплуатационных характеристик, устранен ряд конструктивных недоработок. Выполнена модификация установки. Проведенный комплекс работ позволил увеличить скорость прессующего шнека до 200 об/мин, повысить температурный диапазон до 200 °С, добиться стабильности объемного расхода воды в процессе увлажнения крошки, увеличить производительность установки в два раза по отношению к заданной в техническом задании и довести ее при переработке увлажненной крошки озимой ржи до 180–200 кг/ч. Отработана экструзионная технология переработки зерна на примере увлажненной крошки озимой ржи для получения продукта с необходимым качеством.

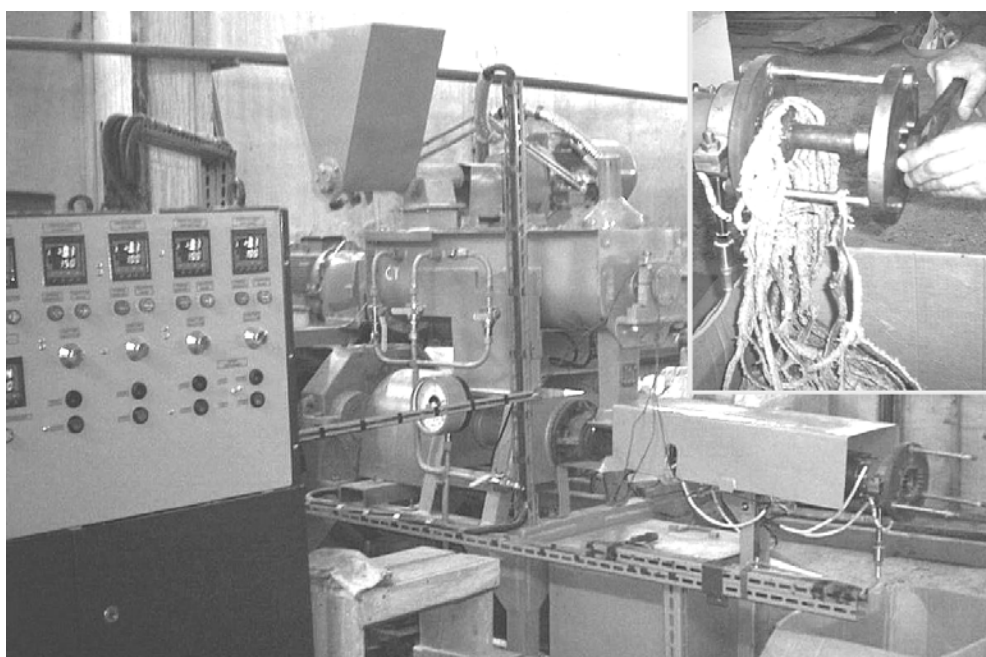


Рис. 1. Экструзионная установка (справа – прессующий инструмент)

Одной из целей экспериментальной эксплуатации являлось снижение себестоимости установки, чтобы она была как можно более доступной для сельскохозяйственного потребителя и быстро окупалась. Традиционно в экструзионных установках используется привод постоянного тока. Его основное преимущество – большой пусковой момент, недостаток – высокая стоимость. В последние годы появились отечественные приводы с частотным управлением для широкого по мощности спектра асинхронных двигателей. С целью проверки использования асинхронных двигателей для экструзионной установки была изготовлена инструментальная оснастка для лабораторного экструдера с диаметром шнека 45 мм и проведено его экспериментальное исследование. Использовался асинхронный двигатель мощностью 2,2 кВт, с номинальным числом оборотов 1440 в минуту. Неоднократно повторялись режимы начального запуска, остановки и запуска в процессе работы, остановки – выдержки и запуска. Проверка на лабораторном экструдере показала, что асинхронный двигатель с приводом частотного управления может быть использован в экструзионных установках средней производительности. Подготовлена документация системы контроля и управления экструзионной установкой с частотным управлением приводами, что сокращает затраты на комплектующие изделия на 30–35 %.

Отработка экструзионной технологии переработки зерновых продуктов требует одновременно поиска режимов направленного воздействия, обеспечивающих как возможность устойчивого протекания процесса с наименьшей его энергоемкостью (технологичность), так и сохранения потребительской полноценности компонентов сырья, получения конечных продуктов с улучшенными и необходимыми качествами. Это означает, что при различных режимах экструзии необходимо контролировать получаемый экструдат на состояние в нем питательных компонентов. Для контроля пищевой ценности экструдата использовались методы изучения содержания в кормовых продуктах сво-

бодной глюкозы как главного энергетического компонента пищи животных, а также содержания свободного аминного азота, характеризующего уровень низкомолекулярных пептидных соединений и аминокислот, доступных для всасывания в пищеварительном тракте. Выбор данных показателей обусловлен их интегральным значением для характеристики энергетической и биологической ценности пищевых продуктов.

Надежность и сравнительная простота использованных биохимических методов исследования позволили получить и оценить данные относительно содержания свободной глюкозы и аминного азота в исходных образцах зерна ржи и в полученных из них экструдированных продуктах. Оказалось, что экструзия приводит к существенному изменению состояния полимерных углеводных и белковых компонентов зерна с увеличением их доступности для амилоглюкозидаз и протеаз пищеварительного тракта. Сравнительные биохимические исследования содержания в исходном зерне и продуктах его экструзионной переработки свободной глюкозы и общего аминокислот и низкомолекулярных пептидных соединений, а также атакуемости белковых и углеводных компонентов пищеварительными ферментами показали значительное повышение в опытных образцах уровня обоих показателей (рис. 2). Полученные данные свидетельствуют о значительном возрастании в процессе экструзии пищевой ценности конечных продуктов.

Наличие в процессе экструзии диссипативных тепловыделений, определяемых сдвигом, приводит к взаимному влиянию температурных, кинематических и силовых условий, затрудняя выявление их влияния на качество готового продукта непосредственно. Изменение оборотов прессующего шнека меняет не только эффективный сдвиг, но и время пребывания материала в канале шнека. Поэтому, рассматривая влияние скорости вращения шнека или средней по зонам температуры, можно говорить только о некоторых тенденциях и косвенной оцен-

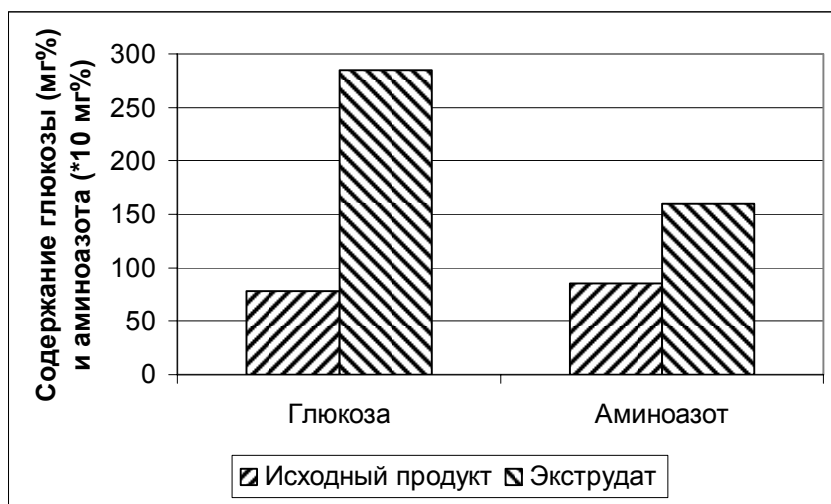


Рис. 2. Содержание глюкозы и аминокислот в исследованных продуктах после обработки комплексом пищеварительных ферментов

ке. Следует отметить, что общей тенденцией является повышение содержания свободной глюкозы с увеличением как оборотов, так и средней температуры. Характер изменения содержания в экструдатах аминокислот имеет более сложный характер (рис. 3, 4). Повышение средней температуры приводит к снижению содержания аминокислот. Изменение оборотов шнека (изменение интенсивности скоростей сдвига) влияет двояко. При повышении оборотов увеличивается эффективный сдвиг в материале, скорее всего, имеющий положительное влияние. В то

же время в результате возрастает диссипативный разогрев, что сказывается отрицательно. Определение влияния технологических параметров переработки на качественные показатели получаемого продукта требует дополнительных исследований. Результаты эксперимента на лабораторном экструдере свидетельствуют о том, что имеется достаточный запас по улучшению качества продукта. Однако уже на основании полученных результатов можно полагать, что возрастание атакуемости ферментами углеводных субстратов в основном связано с режимами

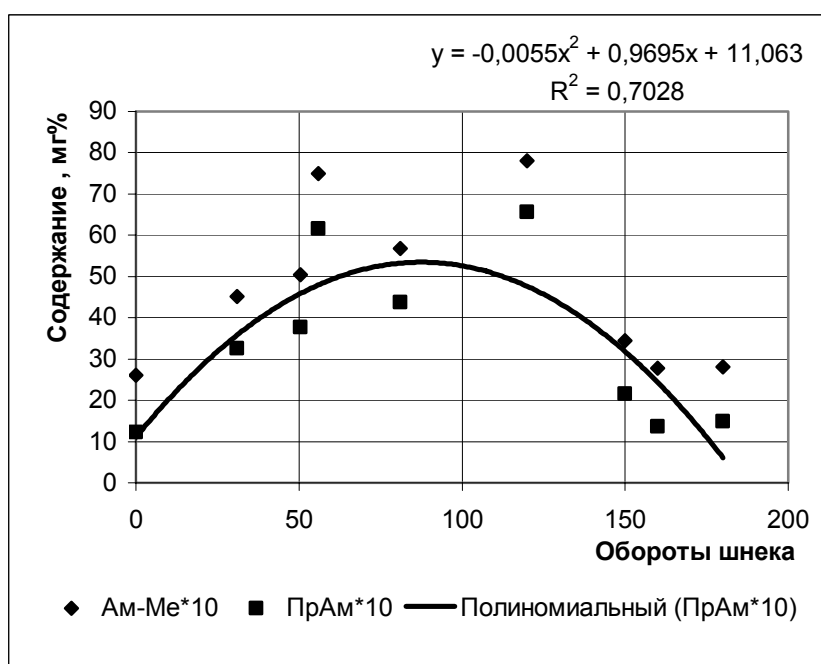


Рис. 3. Содержание свободного аминокислот в экструдатах, полученных при разных оборотах шнека

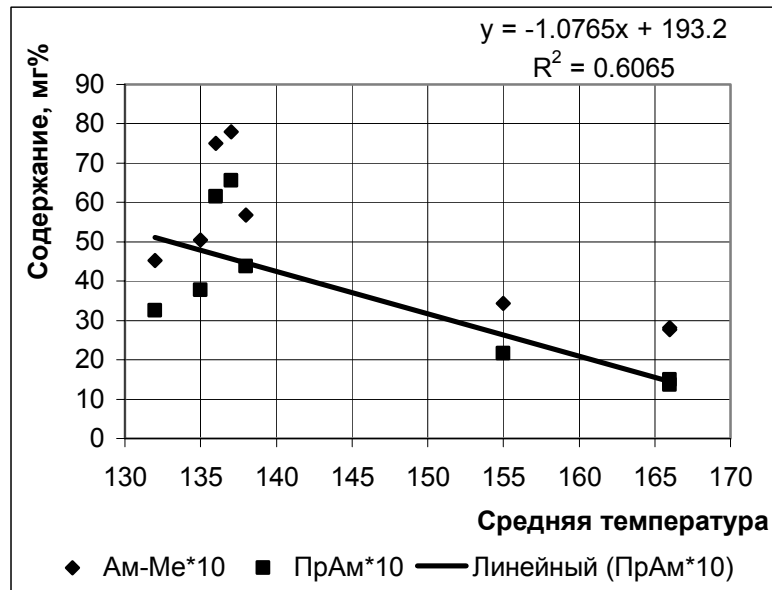


Рис. 4. Содержание свободного аминокислота в экструдатах, полученных при разных температурных режимах

температурного воздействия, а повышение содержания в экструдатах аминокислота, как показала обработка пищеварительными ферментами, зависит от приложенных сдвиговых деформаций и снижается при повышенных температурах.

Дальнейшие исследования были направлены на оценку влияния использования экструдата озимой ржи в кормлении коров на их продуктивность и состояние здоровья. Эксперимент проводился непосредственно в условиях сельхозпроизводителей на базе хозяйства ОАО «Семеновское» Очерского района Пермского края. Для производственного опыта было отобрано 26 коров и из них были сформированы две группы: опытная и контрольная. Все подопытные животные находились в одном помещении, обслуживались одними и теми же доярками и кормились по единому, принятому в хозяйстве рациону. Однако при всех предупреждающих инструкциях в эксперименте присутствовал человеческий фактор. Коровам понравился экструдат, и доярки не могли не покормить им своих «любимых» из контрольной группы.

Корма были отправлены на анализ питательности рационов коров в лабораторию. Рацион коров опытной группы был более полноценным по содержанию сахара – за счет экструдированной озимой ржи они получали в рационе 800 г сахара.

После подготовительного периода был проведен физиологический опыт по изучению перевариваемости питательных веществ рационов на трех животных из каждой группы. После завершения физиологического опыта, длившегося 6 дней, были проведены лабораторные анализы состава выделений животных (молоко, кал, моча). В ходе эксперимента, в связи с изменениями физиологического состояния коров, произошло снижение надоев, при этом наибольшее снижение произошло у животных контрольной группы. В опытной группе отмечено повышение жирности и кислотности молока, а также среднего сухого остатка (рис. 5–7). Различий по содержанию в молоке белка между группами не было, что можно объяснить одинаковым уровнем протеинового питания в рационе обеих групп.

На основании результатов производственного и физиологического опытов можно сказать, что замена концентратной части рациона коров, состоящей из зерновой смеси (пшеница, овес, ячмень, горох), на экструдат озимой ржи за счет увеличения содержания легкоусвояемых углеводов повысила его биологическую и питательную ценность. Использование экструдата ржи по сравнению с исходной зерновой смесью позволило снизить стоимость суточного рациона, что уменьшило себестоимость производимого молока и

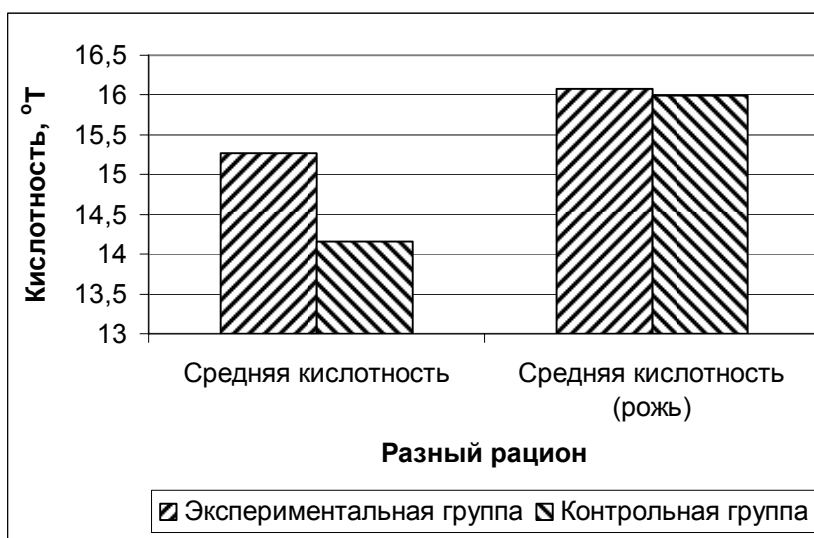


Рис. 5. Средняя кислотность молока в начале и конце эксперимента

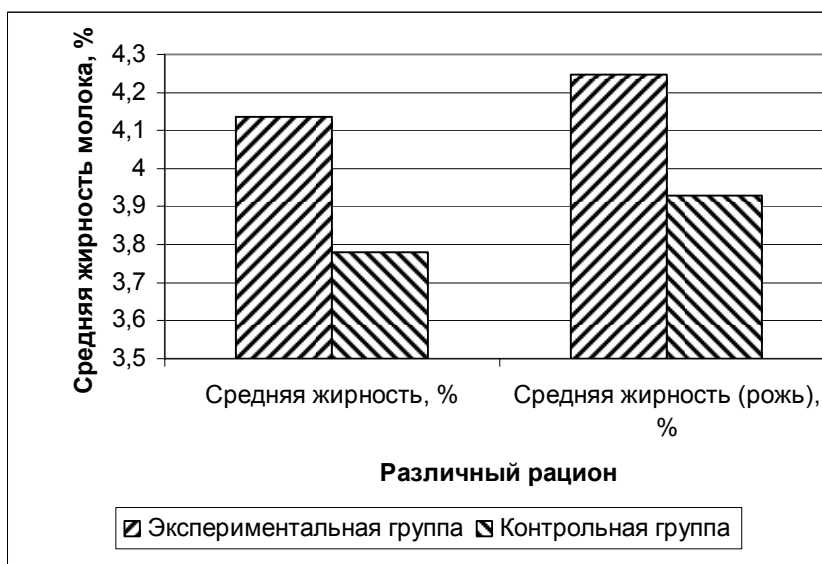


Рис. 6. Средняя жирность молока в начале и конце эксперимента

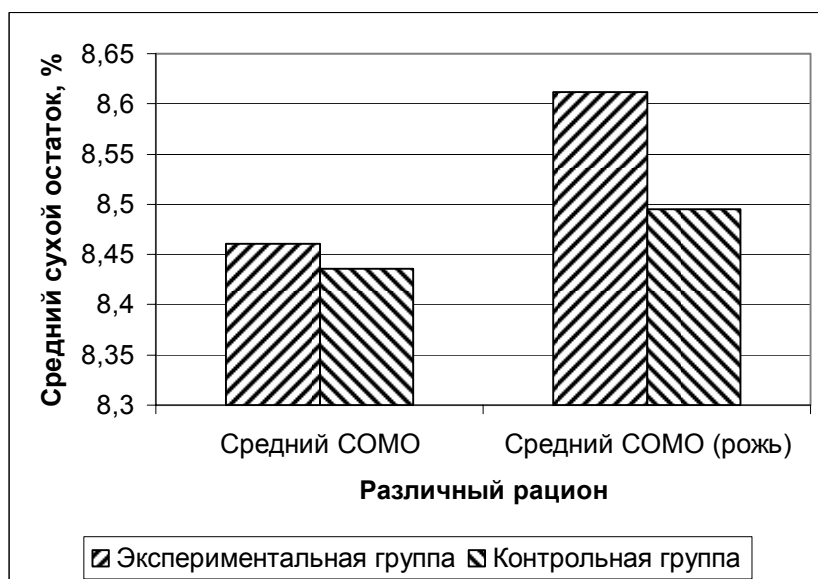


Рис. 7. Средний сухой остаток молока в начале и конце эксперимента

повысило рентабельность животноводства. Введение экструдата озимой ржи в рацион оказало положительное влияние на состояние здоровья животных, что проявилось в более высокой молочной продуктивности опытной группы. За счет использования экструдата озимой ржи в кормлении 13 дойных коров за пять месяцев получена прибыль в размере 28 125 руб.

В результате выполненных комплексных исследований необходимо отметить следующее:

- Проведена экспериментальная проверка и анализ эксплуатационных характеристик опытной экструзионной установки переработки зерна, в два раза увеличена ее производительность, на 30–35 % снижена ее себестоимость.

- Отработана экструзионная технология переработки зерна на примере увлажненной крошки озимой ржи, определены параметры переработки с учетом анализа качества получаемого продукта.

- Установлено, что экструзионная переработка озимой ржи позволяет создать условия для протекания сложных термо-

динамических процессов, приводящих к перестройкам структуры продукта на наноуровне. Экструзионное диспергирование зерна сопровождается микронизацией пищевых компонентов до субмолекулярных структур, молекулярной атакой наночастиц полисахаридных и белковых молекул ферментами пищеварительного тракта животных и человека, увеличением пищевой ценности компонентов зерна с кратным повышением эффективности их усвоения.

- Экспериментами в производственных условиях установлено, что полная замена концентратной части рациона коров на экструдат ржи (при традиционной норме ввода зерна ржи не более 30 %) не снизила питательную ценность рациона, а наоборот, повысила его биологическую ценность, оказала положительное влияние на состояние здоровья животных, повысила молочную продуктивность опытной группы и уменьшила себестоимость произведенного молока, обеспечивая тем самым повышение рентабельности производства продуктов молочного животноводства.