

В.А.Шаршунов, член-корреспондент Академии аграрных наук РБ

Академия аграрных наук РБ

А.В.Червяков, кандидат технических наук

С.И.Козлов, С.В.Курзенков, А.В.Талалуев, А.А.Радченко, аспиранты

Белорусская сельскохозяйственная академия

УДК 664.71

## Обоснование направления совершенствования технологии обработки зерна на основе “экструзии-экспандирования”

Представлена классификация обработки зерна злаковых и бобовых культур. Дано описание наиболее перспективных из них. В настоящее время изыскиваются новые прогрессивные технологии обработки зерна. В статье в качестве альтернативной технологии предлагается прогрессивная обработка зерна — с помощью экспандера. С целью изучения процессов, протекающих в экспандере, определения режимов обработки зернового материала и их влияния на качественные показатели получаемого продукта разработано экспериментальное оборудование для экспандирования кормов. Представлена и описана технологическая схема устройства и работа экспериментального оборудования по экспандированию зерна.

Фуражное зерно является основным компонентом при производстве комбикормов для животных и птицы. Однако при скармливании зерна в обычном виде усвояемость его питательных компонентов пищеварительными системами составляет не более 40–60%.

Зерно злаковых культур наряду с другими видами питательных веществ много содержит крахмала, усвоение которого при кормлении животных и птицы происходит медленно и при этом продуктивно используются только определенные формы и то в небольшом количестве. По данным ряда исследований, усвояемость питательного потенциала крахмала в созданной природной форме не превышает 20–25% в зависимости от вида культур. Поэтому задача новых технологий переработки зерна и состоит во внедрении таких способов обработки исходного сырья, которые позволили бы перевести крахмал в удобную для усвоения организмом животных форму. Это возможно при разрушении зернистой структуры крахмала на клеточном уровне, что способствует разрыву природных связей между отдельными составляющими частями и переводу его в более простые углеводы в виде декстринов и сахаров, т.е. происходит желатинизация крахмала или декстринизация его на более простые составляющие.

Без специальной обработки трудноусвояемой является также и клетчатка, которая содержится в большом количестве в зерне и бобах, особенно в их верхних защитных слоях и оболочках. Поэтому разрабатываемые способы углубленной переработки исходного зернового сы-

*The classification of treatment of grain of cereals and leguminous cultures is presented. The most perspective of them have been described. Actually, new progressive technologies of grain treatment have been worked out. In the article as an alternative technology it has been offered a progressive grain treatment — by the aid of expanders. With the aim of analysis of processes flowing in expanders a definition of the treatment mode of grain material and their influence on the qualitative indices of the obtained yield, experimental inventory for expanding of forages has been designed. Technological scheme of the device and action of experimental inventory of grain expanding have been described.*

рья должны способствовать деструкции части целлюлозно-лигнинных образований клетчатки в природных формах в более простые виды моносахаров и аминокислот.

Многочисленными научными исследованиями, а также широкой производственной проверкой установлено, что отрицательное действие этих барьеров, предусмотренных природой для защиты, прежде всего семян, как биологического источника постоянного воспроизводства самих злаковых и бобовых культур, может быть устранено полностью или в значительной степени подавлено /1/. За счет статических и динамических воздействий внешнего и внутреннего давлений на клеточном и молекулярном уровне на защитные мембраны, температуры, осмоса и других факторов наблюдается денатурация белка, инактивация антипитательных веществ, декстринизация крахмала, деструкция целлюлозно-лигнинных образований, практически полная стерилизация конечной продукции от микроорганизмов и бактерий, создание микропористой структуры в готовом продукте, наиболее благоприятно воздействию желудочного сока, а следовательно, более полное усвоение питательных веществ организмом животных /2/.

В мировой практике комбикормового производства существует множество методов и технологий обработки зернового сырья с целью повышения его питательности.

На рисунке 1 представлена классификация технологий и методов обработки кормовых материалов. Однако среди перечисленных наиболее применяемыми и эффективными методами являются следующие варианты:

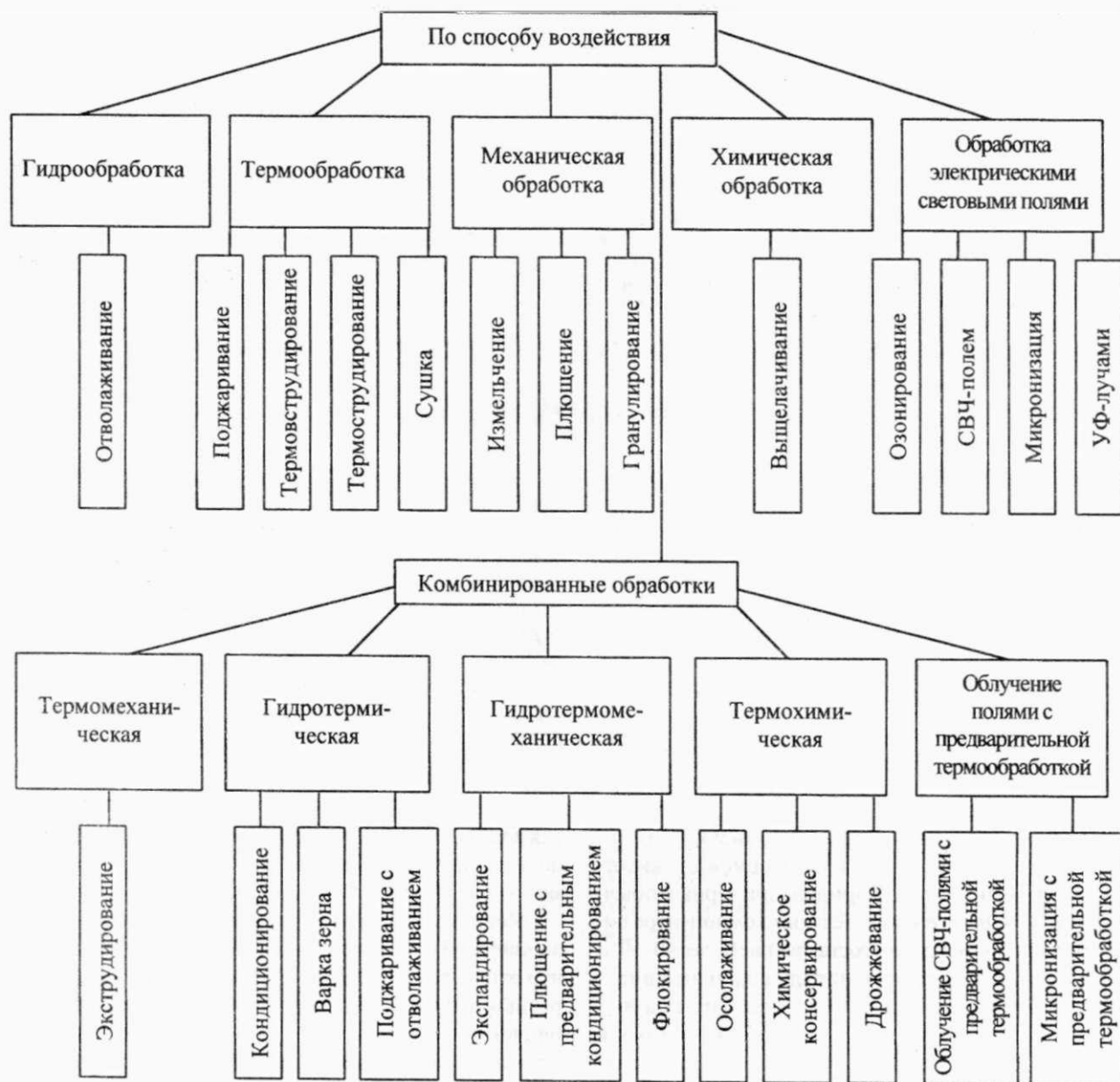


Рис. 1. Классификация технологий обработки зерна злаковых и бобовых культур

поджаривание ячменя (с увлажнением, пропариванием или без него);

экструдирование зерна, зернобобовых, зерна и отрубей совместно;

пропаривание и плющение зерна;

взрыв в кипящем слое или пневмотрубе — получение “взорванных” хлопьев;

микронизация — обработка инфракрасными лучами зерновых и зернобобовых компонентов с последующим плющением рифлеными вальцами;

сухая экструзия — одноразовое или двухразовое гранулирование очищенного целого зерна без увлажнения в матричных прессах с последующим измельчением гранул;

экспандирование — кондиционирование под давлением.

Каждый из упомянутых способов ВТО и ТО требует специальных аппаратов, машин, вспомогательного оборудования. Те линии, в которых применяют открытое пламя: микронизация (по одному из вариантов сжигания природного газа в самом аппарате), поджаривание и “взрыв”, — выполняют в отдельных помещениях, удаленных от основного производства.

**Поджаривание.** Зерно поджаривают в основном для поросят-сосунов с целью приучения их к поеданию корма в раннем возрасте, стимуляции секреторной деятельности пищеварения, лучшего развития жевательных мышц. При поджаривании часть крахмала распадается до моносахаров, что делает зерно сладковатым на вкус, но при этом вследствие денатурации белка несколько снижаются переваримость протеина и доступность аминокислот. Кроме того, высокая температура губительно дей-

ствует на бактериальную обсемененность и различные виды грибов зерна, что позволяет в значительной степени избежать возможных заболеваний желудочно-кишечного тракта поросят.

Поджаривают обычно зерно, широко используемое в кормлении свиней: ячмень, пшеницу, кукурузу, горох. Предварительно увлажнив до стадии набухания, зерно тонким слоем насыпают на железные листы или металлические кюветы и, равномерно помешивая в течение 10-12 мин., поджаривают при температуре 100-180 °С до появления светло-коричневого или коричневого цвета. При достижении такой окраски зерно быстро охлаждают. Для выполнения данной операции используют обжарочные агрегаты А9-КЖА.

Поджаренное зерно скармливают поросятам с 5-7-дневного возраста до отъема, начиная с малых доз (30-50 г) и постепенно доводя суточную норму до 120-150 г.

Данный метод нашел широкое применение непосредственно в хозяйствах.

**Варка и запаривание.** Применяют при использовании в кормлении свиней зернобобовых: гороха, сои, люпина, чечевицы. Эти корма предварительно измельчают, а затем в течение 1 ч варят или пропаривают 30-40 мин. в кормозапарнике. Такая обработка кормов позволяет инактивировать находящиеся в них антипитательные вещества, снижающие эффективность их использования. После обработки зернобобовые используют в качестве белковых добавок в количестве 25-30% от общей питательности рациона.

Не рекомендуется варить и запаривать зерно хорошего качества. Недоброкачественное, длительно хранившееся и пораженное патогенной микрофлорой зерно подлежит обязательной обработке.

**Осолаживание.** Его применяют для улучшения вкусовых качеств зерновых кормов (ячменя, кукурузы, пшеницы и др.) и повышения их поедаемости. При осолаживании кормов часть крахмала под действием диастазы зерна или солода переходит в сахар (на 10-12%), от чего корм становится сладковатым.

Осолаживание проводят в теплом помещении (18-20 °С) в специальных деревянных ящиках или алюминиевых ваннах, куда зерновую дерть рассыпают ровным слоем (не более 40-50 см) и обливают горячей (90 °С) водой при соотношении корма к воде 1:1,5-2. Важно, чтобы исходная зерновая масса была равномерно увлажнена и тщательно перемешана, после чего ее накрывают крышкой или плотной тканью.

Для активизации процесса ферментации и ускорения периода осолаживания применяют приготовленный из ячменя солод в количестве 1-2%. Перемешанную с солодом исходную массу оставляют на 3-4 ч, поддерживая оптимальную для действия ферментов температуру (55-50 °С). Солод получают преимущественно из ячменя, который после увлажнения насыпают в ящики слоем не более 10 см и оставляют в помещении при температуре 20-25 °С. Спустя 2-3 дня ячмень прорастает, после чего его высушивают и в размолотом виде используют при осолаживании или дрожжевании кормов.

Приготовленный таким способом корм скармливают преимущественно поросятам-сосунам и отъемышам. В зависимости от живой массы и общего развития животных его дают в количестве 10-20% от зерновой части рациона. Кроме того, для улучшения аппетита включают в рацион слабых и высокопродуктивных животных (не более 50% от нормы концентратов).

**Экструзия** является одним из наиболее эффективных и применяемых в комбикормовой промышленности способов обработки зерна. При обработке зернофуража таким способом протекают два непрерывных процесса: 1) механическое и химическое деформирование; 2) "взрыв" продукта.

Подлежащее экструзии сырье доводят до влажности 12-16%, измельчают и подают в экструдер, где под действием высокого давления (2,8-3,9 МПа) и трения зерновая масса разогревается до температуры 120-150 °С. Затем вследствие быстрого перемещения ее из зоны высокого давления в зону атмосферного происходит так называемый взрыв, в результате чего гомогенная масса вспучивается и образует продукт микропористой структуры.

Вследствие желатинизации крахмала, деструкции целлюлозно-лигниновых образований значительно улучшается его кормовая ценность. Количество крахмала при этом уменьшается на 12%, а декстринов (продукты первичного гидролиза крахмала) увеличивается более чем в 5 раз, количество сахара возрастает на 14%. При этом значительно улучшается санитарное состояние зерна. Под действием высокой температуры и давления почти полностью уничтожаются патогенная микрофлора и плесневые грибы.

В шнеке экструдера установлены специальные шайбы (на входе — диаметром 117,5 мм, на выходе — 125 мм). За счет трения продукта о шнек и стенки корпуса происходит значительный нагрев продукта (температура продукта на выходе 120-130 °С), а разность давления на выходе из камеры и внутри камеры приводит к вспучиванию продукта.

Экструдированный корм наиболее рационально использовать для кормления поросят младших возрастов, поскольку их пищеварительная система в этот период не способна расщеплять сложные питательные вещества рациона.

При использовании экструдированного зерна в составе рационов для молодняка свиней увеличивается переваримость сухого вещества на 2,1%, органического — на 1,9, сырого протеина — на 4,5, сырого жира — на 3,8%.

Экструдированным горохом в комбикормах для поросят-сосунов можно заменять до 50% по массе кормов животного происхождения (сухой обрат, рыбная, мясо-костная мука), а для поросят старше 2-месячного возраста этим кормом можно полностью заменить корма животного происхождения.

**Микронизация.** Операция заключается в обработке зерна инфракрасными лучами. При обработке зерна таким способом используют различные в конструктивном отношении машины, называемые микрониза-

торами. В отечественной практике для этого применяют кварцевые галогеновые лампы КГИ-220-1000, с помощью которых облучают зерно, движущееся по транспортеру. В качестве источников инфракрасного излучения можно использовать трубчатые электроннагревательные элементы или спирали, изготовленные из материалов с большим электрическим сопротивлением. Инфракрасные лучи проникают в зерно, возбуждают его молекулы, вызывая интенсивную их вибрацию. При этом возникает трение, сопровождаемое выделением внутреннего тепла. Гигроскопическая влага испаряется, вследствие чего резко повышается давление. В результате зерно набухает, вспучивается, становится мягким, растрескивается.

Питательные вещества (белки, углеводы) зерна в процессе микронизации подвергаются практически таким же структурным изменениям, как и при гидротермической и баротермической обработках. При микронизации зерна происходит расщепление (до 98%) крахмала до сахаров, на 3-5% увеличивается количество щелочерастворимых белков, что способствует их лучшей переваримости и усвоению организмом животных.

Микронизация улучшает энергетическую питательность кукурузы и ячменя, разрушает трипсиновые ингибиторы сои, гороха, бобов, разрушает токсичные плесени и грибы.

Обработка зерновых ИК-лучами повышает усвояемость зерна на 5-7%. По данным ВНИИКП, применение инфракрасного излучения при плотности теплового потока 16 кВт/м<sup>2</sup> позволяет в течение 2 мин. нагреть соевые бобы до температуры 200 °С. Такой интенсивный нагрев обеспечил значительное снижение активности фермента уреазы, являющейся в данном случае показателем эффективности тепловой обработки.

Обработка в наклонном пневмоканале или в кипящем слое для получения "воздушных" зерен. Данную технологию применяют для получения продукта, предназначенного крупному рогатому скоту (США).

Обработку зерна кукурузы, сорго, пшеницы, ячменя, а также бобов сои проводят по одному из двух методов. В первом случае процесс конвективного нагрева зерна осуществляется в наклонном пневмоканале, а во втором — в кипящем слое. Для получения воздушных, т.е. взорванных зерен необходимо обеспечить подвод теплоты с большой скоростью, чтобы создать значительные внутренние напряжения в зерновках при испарении содержащейся в них влаги. Именно в результате внутреннего давления и происходит разрыв поверхности зерна и развертывание эндосперма.

По первому способу зерно предварительно нагревают кондуктивным методом до температуры 65 °С при движении из питателя по наклонному днищу камеры предварительной обработки. Предусмотрены разделение взорвавшихся и невзорвавшихся зерен по скорости витания и возврат невзорвавшихся зерен в процесс. В рабочей зоне теплоноситель имеет температуру 260 °С. Взорвавшееся зерно — воздушные хлопья — охлаждаются и могут быть затем измельчены

для ввода в комбикорма или направлены в кормораздатчики для развоза по фермам.

Производительность выпускаемой установки 4 т/ч при переработке сорго, установленная мощность электродвигателей 27 кВт.

Низкотемпературная экструзия. Один из способов специальной подготовки сырья предложен фирмой "Джиза" (Италия). Он заключается в низкотемпературной экструзии, которую осуществляют в матричных пресс-грануляторах при влажности сырья 10-12%. Экструзии подвергают неразмолотое зерно, шроты, кормовые дрожжи. По данным фирмы, в процессе экструзии существенно изменяется структура белков. Выделяющаяся в процессе теплота нагревает продукт до 70-75 °С, но играет второстепенную роль. В результате такой обработки частично разрушаются водородно-ионные и ковалентные связи, снижается водоотталкивающее действие, в целом изменяются физико-химические свойства белковых молекул.

Одновременно с этим разрушаются содержащиеся в корме ферменты. По-видимому, частично разрушаются и витамины. Фирма "Джиза" упоминает о возможной инактивации токсических веществ, однако это подлежит всесторонней проверке. Если влажность исходного сырья ниже 10-12%, необходимо провести доувлажнение сухим паром.

Экспандирование основано на гидротермической обработке корма под давлением. Принцип действия экструдеров и экспандеров одинаков — в шнековом рабочем органе продукт разогревается, уплотняется и выпрессовывается. Однако режимы обработки существенно различаются.

В экструдерах продукт разогревается только за счет трения при движении по виткам шнека и активном перемешивании под давлением. Регулирование температурного режима обработки достигается в экструдере только за счет сменных рабочих органов (кольца, "греющие" шайбы). Затраты электроэнергии при этом составляют 100-150 кВт·ч/т. Экструдирование комбикормов (без увлажнения) проводится при влажности 12-14%. Потеря влаги при охлаждении готового продукта составляет 5-8%, поэтому он получается слишком сухой — влажностью 6-8%.

Обработка комбикорма в экспандере осуществляется при более высокой влажности. Западные фирмы "Амандус Каль", "Альмекс" и другие рекомендуют проводить обработку при влажности до 26%. Продукт разогревается за счет ввода пара и трения. В экспандере отсутствуют "греющие" шайбы.

При одних и тех же температурных режимах (115-145 °С) обработка в экспандере при повышенной влажности протекает в менее жестких условиях. Дело в том, что в экструдере из-за пониженной влажности на отдельных участках "местные" сопротивления движению продукта могут возрасти до значительных величин, вызывая "местное" повышение температуры, хотя общий температурный режим остается прежним. Как в экструдерах, так и экспандерах можно за счет изме-

нения режимов обработки получать готовый продукт различной плотности, т.е. комбикорма, плавающие и медленно тонущие.

Экспандирование обеспечивает следующие преимущества: ввод большого количества жидких компонентов — масла, жира, мелассы и др.; устранение вредных для питания компонентов; улучшение качества и усвояемости комбикормов; более высокую производительность пресса для гранулирования; лучшее качество гранул; использование более дешевого и сложного для гранулирования сырья. Эта задача решается с применением процесса экспандирования и экспандеров, выпускаемых фирмами “Амантус Каль”, “ВАН Арсен” и др. Процесс известен также под названием “High-Temperature-Short-Time Conditionierung”, или кондиционирование под давлением.

Нормальная рабочая температура при обработке комбикормов для птиц и свиней находится в диапазоне от 105 до 110 °С. Можно достичь давления до 4 МПа и температуры до 130 °С, но всего лишь на очень короткий период, так как общее время прохождения продукта через экспандер составляет несколько секунд.

На выходе из экспандера продукт мгновенно теряет нагрузку, а добавленная жидкость в значительной степени испаряется. Называется это молниеносным испарением, поэтому последующей сушки готового продукта (экспандата) в основном не требуется. За счет испарения жидкости температура падает до 90 °С.

В зависимости от рецептуры, температуры продукта и давления готовый продукт может иметь структуру теста, толстых хлопьев или комков.

Расход энергии составляет 5-10 кВт·ч/т при производстве кормов для птицы и свиней и 15 кВт·ч/т — для крупного рогатого скота.

Гранулированный экспандат сочетает в себе одновременно преимущества гранулированных и рассыпных комбикормов. Каждая частичка содержит все составные компоненты. Распределение частиц очень равномерное. Можно регулировать размер частиц зазором в валковом измельчителе и получать рассыпной комбикорм, но без таких недостатков, как плохая текучесть и расслоение смеси.

Обработка в экспандере уменьшает общую обсемененность сырья. Полностью уничтожаются колиобразные бактерии, кишечная палочка, плесневые грибки и сальмонеллы.

С целью изучения процессов, протекающих в экспандере, и их влияния на качественные показатели корма в БСХА совместно с НПП “Белама плюс” разработано экспериментальное оборудование для экспандирования концентрированных кормов.

Экспериментальное оборудование для экспандирования включает: опытную установку (экспандер) и оборудование для ввода жидких компонентов (воды, жира, обогатительных добавок). Экспандер (рис. 2) состоит из питателя 2 с загрузочным бункером 1, сме-

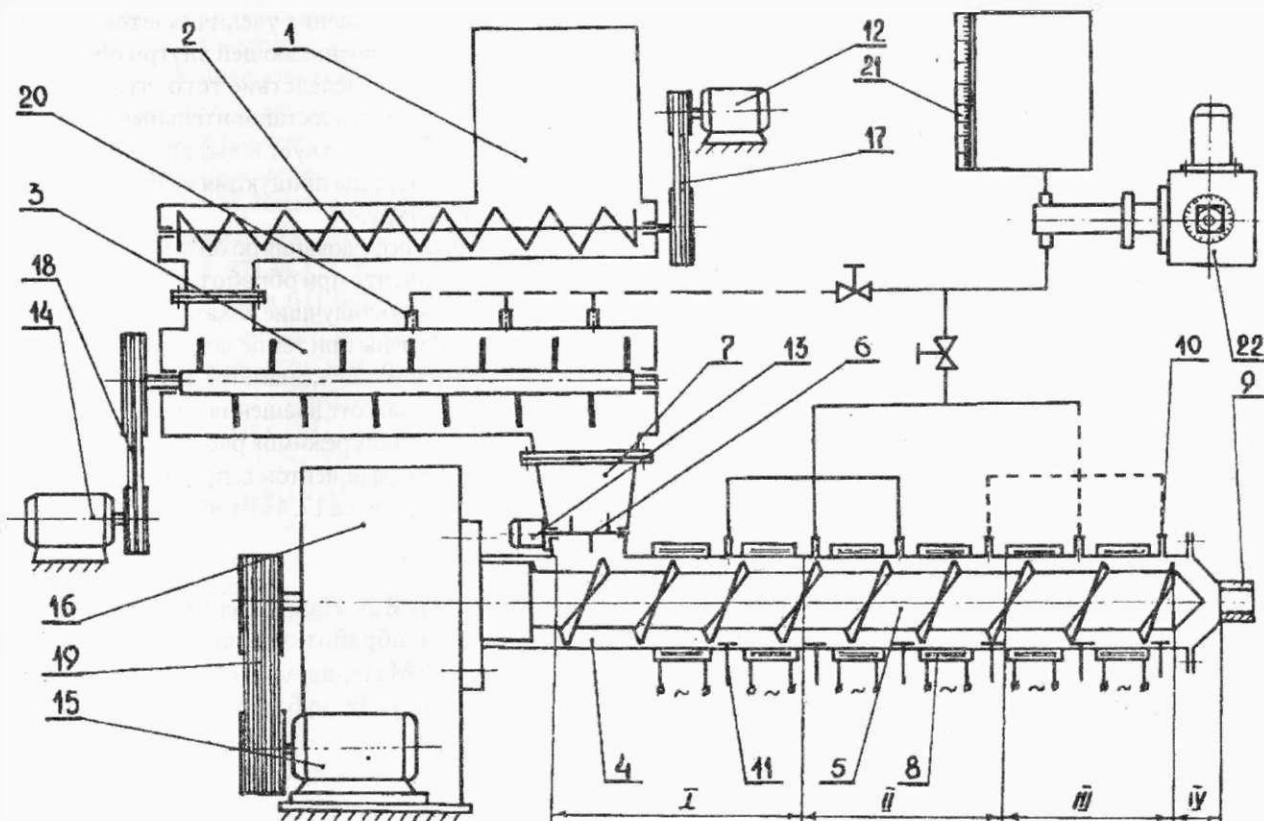


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

сителя-дозатора 3, бункера-накопителя 7, рабочего органа (шнека) 5, расположенного в корпусе 4, формующего устройства (матрицы) 9, кольцевых нагревательных элементов 8, закрепленных на корпусе шнека 4, ворошителя 6, приводов: шнека 15, смесителя-дозатора 14, питателя 12, ворошителя 13, клиноремных передач 17, 18, 19, редуктора 16, на верхней части которого и смонтированы все узлы и механизмы. Оборудование для ввода жидких компонентов включает: расходный бак с расходомером 21, плунжерного насоса 22 форсунок 10 и 20.

Привод шнека экспандера осуществляется от электродвигателя постоянного тока 5 через клиноремную передачу 19 и редуктор 16. Смеситель-дозатор приводится в движение от электродвигателя постоянного тока 14 посредством клиноремной передачи 18. Привод питателя осуществляется от электродвигателя постоянного тока через клиноремную передачу 17. Ворошитель приводится в движение от однофазного двигателя переменного тока 13.

Регулирование частоты вращения двигателей постоянного тока производится с помощью резисторов, расположенных на панели шкафа управления, контроль осуществляется с помощью тахометра. Нагрев корпуса шнека производится кольцевыми нагревателями при включении тумблеров на панели шкафа управления. На нагреватели подается напряжение, о чем сигнализируют лампочки, расположенные рядом с тумблерами. Температура контролируется по показаниям измерителей, находящихся на панели шкафа управления, датчики 11 которых вмонтированы в корпус шнека 4. Для обеспечения пропаривания зерносмеси используется вода, которая подается через форсунки 10 в разогретый до заданной температуры корпус шнека 4. Контроль подачи воды производится с помощью расходомера 21.

Процесс работы экспандера заключается в следующем. Обрабатываемый материал загружают в бункер 1, который подается питателем 2 в смеситель-дозатор 3, где через форсунки 20 увлажняется до заданной влажности и дозировано подается в накопительный бункер 7. Из бункера-накопителя экспандера материал в виде неоднородной сыпучей массы поступает в первую зону нагнетающего шнека. Здесь материал захватывается шнеком и перемещается к следующей зоне. В первой зоне материал частично заполняет межвитковый объем шнека и, следовательно, не полностью покрывает поверхность витков шнека и шнековой камеры. Частицы материала в первой зоне перемещаются в основном поступательно, а от вращательного движения они удерживаются силой собственного веса.

Во второй зоне, в отличие от первой, сыпучая масса уплотняется и степень связанности ее частиц увеличивается. Сначала заполняется свободный межвитковый объем шнека, а затем уплотнение массы идет вследствие уменьшения промежутков между его частями и вытесняется значительное количество воз-

духа. Во второй зоне масса хорошо перемешивается, подвергается постепенному сжатию и максимально уплотняется. В этой же зоне материал подвергается воздействию влажного пара, образующегося в результате воздействия температуры на подаваемую в зону нагрева воду. Обработанный влажным паром материал уплотняется шнеком и продвигается к третьей зоне.

В третьей зоне, помимо основной операции прессования, шнек путем интенсивного перемешивания и проминки материала под давлением способствует переходу его в упругопластическое состояние. Процесс перемещения и прессования характеризуется еще и тем, что непосредственно соприкасающиеся слои материала имеют разные скорости, в результате чего между ними действует напряжение сдвига. Поэтому кроме перемешивающего эффекта возникает еще и внутреннее трение, которое приводит к растиранию частиц и получению однородной структуры материала.

В конце третьей зоны (последний виток шнека) спрессованная масса выходит из полости шнека и поступает в четвертую зону в виде закрученного пульсирующего вязкопластического потока. Здесь эта вязкопластическая масса преодолевает силу давления четвертой зоны, обусловленную сопротивлением формующих отверстий матрицы.

При выпрессовании через них вязкопластической массы форма ее потока окончательно изменяется соответственно количеству и форме поперечного сечения отверстий матрицы. Объем массы получаемого продукта при выходе из отверстий матрицы в связи с резким падением давления увеличивается за счет упругой деформации, возникающей внутри обрабатываемого материала. И вследствие того, что длина матричного канала мала, восстановительный (релаксационный) процесс отсутствует и выдавливаемая через отверстия матрицы продукция имеет вспученную, пористую структуру.

Проведенные исследования по оптимизации режимов работы показали, что при обработке зерносмеси (50% ячмень+50% рожь) наилучшие показатели качества продукта были получены при температуре  $T=200^{\circ}\text{C}$ , влажности зерносмеси  $W=20\%$ , диаметре формующего отверстия  $D_{\text{м}}=25$  мм и частоте вращения шнека  $\omega=25$  с<sup>-1</sup>.

При задании таких режимов работы возможно получить продукт с коэффициентом вспученности  $K_{\text{в}}=2,6$  при энергоёмкости процесса 17,4 кВт·ч/т.

## Литература

1. Шаршунов В.А. Направления совершенствования технологии обработки зерна при производстве комбикормов // Материалы общего собрания Академии аграрных наук Республики Беларусь / Акад. агр. наук Респ. Беларусь — Минск, 1999. — С. 51-60.
2. Шаршунов В.А. и др. Проблемы переработки фуражного зерна при производстве комбикормов и пути их решения // Известия Белорусской инженерной академии. — 1999. — №2. — С. 6-9.