

Р. И. Кавецкий
РУП «Научно-практический центр
Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ШНЕКОВ ОБВАЛОЧНЫХ ПРЕССОВ ПОСРЕДСТВОМ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

В основу проведенного анализа легли технологические аспекты теории прессования, показывающие взаимосвязь геометрических параметров рабочих органов обвалочных прессов и качества получаемого продукта. Такие факторы, как содержание костного остатка и его размеры, температура продукта на выходе из пресса, напрямую обусловлены в первую очередь особенностями конструкции узла сепарации и на сегодняшний день вызывают противоречивые объяснения. На основании этого была предложена возможность обосновать конструктивные параметры шнека со ступенчатым изменением диаметров вала и его шага по ходу движения продукта с применением элементов математического моделирования. Предложенный подход позволяет обеспечить равномерное продвижение продукта по всей рабочей зоне узла сепарации и добиться постоянного коэффициента уплотнения сырья в каждом межвитковом пространстве шнека, улучшая качество прессованного сырья и повышая тем самым эффективность работы машины в целом.

Прессование является наиболее прогрессивным технологическим способом переработки сельскохозяйственного сырья и продуктов животноводства. На протяжении многих лет и до настоящего времени наиболее распространенными являются шнековые прессы. Это объясняется в первую очередь тем, что они представляют собой машины непрерывного действия и дают возможность полностью механизировать многие производственные процессы [1].

Широкое применение нашли шнековые прессы и на птицеперерабатывающих предприятиях для отделения мяса птицы от кости. Как известно, в Республике Беларусь переработка мяса птицы всегда занимала одну из ключевых позиций в обеспечении населения высококачественными продуктами питания. Повышенный интерес предприятий к обва-

лочным прессам обусловлен тем, что в последние годы наряду с традиционной переработкой (выделение наиболее ценных частей тушки: филе, окорочков), возник вопрос о рациональном использовании менее ценных частей тушки, таких как шеи, каркасы (спинно-лопаточная и пояснично-кресцовая части).

Однако, несмотря на важность и значимость шнековых прессов в общем парке оборудования различных отраслей, существует недостаточно информации о геометрических параметрах рабочих органов, которые не взаимосвязаны между собой и, следовательно, нуждаются в существенной доработке [2].

На птицеперерабатывающих предприятиях Республики Беларусь механическая обвалка мяса птицы осуществляется на установках шнекового типа «Уникон-500», РВС-1000 и РВС-500 (установки с жестким рабочим органом). В данном типе устройств мясокостная масса спрессовывается шнеком внутри перфорированной гильзы, давление в зоне прессования регулируется специальным запорным устройством (клапаном), мясная масса под давлением истекает наружу через отверстия (щели) гильзы (сетки) или набора пластин, а костный остаток выводится из зоны прессования через щелевое отверстие кольцевого клапана. Важнейшими параметрами процесса, влияющими на качество продукта, являются содержание и размер костных включений в фарше, температура фарша на выходе из пресса, микробиологические показатели мяса.

С появлением механически сепарированного мяса птицы тема возможного содержания костных включений привлекает постоянное внимание. Исследовались частицы кости в мясе ручной обвалки и в механически сепарированном мясе птицы после применения прессов от различных производителей. В настоящее время очень тщательно контролируется содержание кальция с пересчетом на эквивалентное содержание кости. Несомненно, костные частицы, попадающие в мясо механической обвалки, являются ограничительным фактором при его использовании. Ря-

дом ученых было показано, что костные фрагменты растворяются соляной кислотой желудочного сока человека и биопригодность кальция из кости примерно такая же, как и кальция молока. Вместе с тем это утверждение имеет место только при условии нормальной кислотности желудочного сока. Частицы кости, выделенные из мяса ручной обвалки, имели, как правило, несколько большие размеры, чем частицы из механически сепарированного мяса. Все частицы кости, обнаруживаемые в механически сепарированном мясе птицы, могут быть охарактеризованы как «порошкообразные» и не представляют опасности для потребителя [3]. В нашей стране, например, с вводом так называемого кодекса установившейся практики, применение мяса механической обвалки при производстве многих видов продукции высшего и первого сортов было полностью исключено. Можно при этом заметить, что в европейских странах мясо механической обвалки употребляют при производстве продуктов детского питания. Поэтому необходимо учитывать тот факт, что рабочие органы прессов очень быстро изнашиваются и количество костных включений, а также их размер заметно увеличиваются. Срок службы рабочих органов прессов марки «Уникон» составляет всего 200 ч, а у прессов РВС-1000 и вовсе 70 ч, в то время как у прессов американской фирмы «Бихайв» этот показатель равен 800 ч. При этом птицеперерабатывающие предприятия Беларуси прибегают к восстановлению рабочих органов прессов в соседних странах (Россия), ввиду отсутствия специализированного оборудования и опыта в проведении такого рода работ в нашей стране. Покупка же новых узлов отжатия для прессов у фирм-производителей обходится нашим предприятиям намного дороже. Существенным недостатком является и значительное потребление электроэнергии (до 0,015 кВт·ч/кг) [4].

Конструкция рабочих органов пресса предопределяет температурные параметры процесса. Из-за сильного трения сырья о рабочие органы, а также трения слоев продукта относительно друг друга температуры, а

повышается. На установках шнекового типа температура нагрева колеблется в пределах от 3 °С до 14 °С. Поэтому рекомендуют подавать мясо на обработку в подмороженном минус 2–3 °С или охлажденном виде 0–4 °С. Так, при подаче мяса в подмороженном виде на переработку возникают следующие изменения: при небольшом износе витков подающего шнека мясо в приемном бункере проскальзывает и от трения о витки шнека начинает интенсивно нагреваться, проталкиваясь далее к узлу сепарации. Спекшиеся в результате нагрева части кости, попадая в зазор между прессующим шнеком и перфорированной гильзой, забивают ее отверстия и тем самым уменьшают рабочую зону сепарации, снижая производительность и качество перерабатываемого сырья. Это возможно и вследствие несовершенной конструкции сепарирующей головки (большой зазор между шнеком и гильзой, формой и количеством проходных отверстий, геометрией самого шнека, а также скоростью его вращения). В технических паспортах на обвалочные прессы завод-изготовитель рекомендует для получения фарша с оптимальными технологическими параметрами использовать нулевой зазор между шнеком и гильзой.

Анализ работы шнекового пресса механической обвалки показывает, что отжатие жидкой фазы из материала происходит в результате постепенного уплотнения массы материала. Причем этого можно добиться как за счет сокращения объема материала, находящегося между витками, уменьшения шага витков, а иногда и их высоты, так и за счет механического воздействия витков на материал в процессе вращения шнека. К тому же необходимо учитывать трение прессуемого материала о поверхность витков, стенки цилиндра и частиц материала между собой и сопротивление устройства, регулирующего величину выходного отверстия для уплотнения остатка [5].

Степень сжатия характеризуется коэффициентом сжатия (k), который равен отношению объемов материала, занимаемого в межвитковых

пространства, причем коэффициент уплотнения может изменяться в широких диапазонах, в зависимости от вида прессуемого материала и конструкции пресса.

Существует целый ряд технических приемов в конструировании шнеков прессующего типа для обвалки мяса. Рассмотрим конструкцию шнека, в котором его функциональность обусловлена изменением высоты витков путем ступенчатого изменения диаметров вала шнека [6]. Эффективность отжатия материала может при этом регулироваться изменением шага витков шнека, а именно его уменьшением по ходу движения. Представленная схема шнека (рисунок 1) применяется не только в обвалочных прессах, но также и в установках для тепловой обработки фаршевых мясосюродуктов, например, при производстве детского и диетического питания. Принцип работы этой машины заключается в обезвоживании продукта при тепловой обработке.

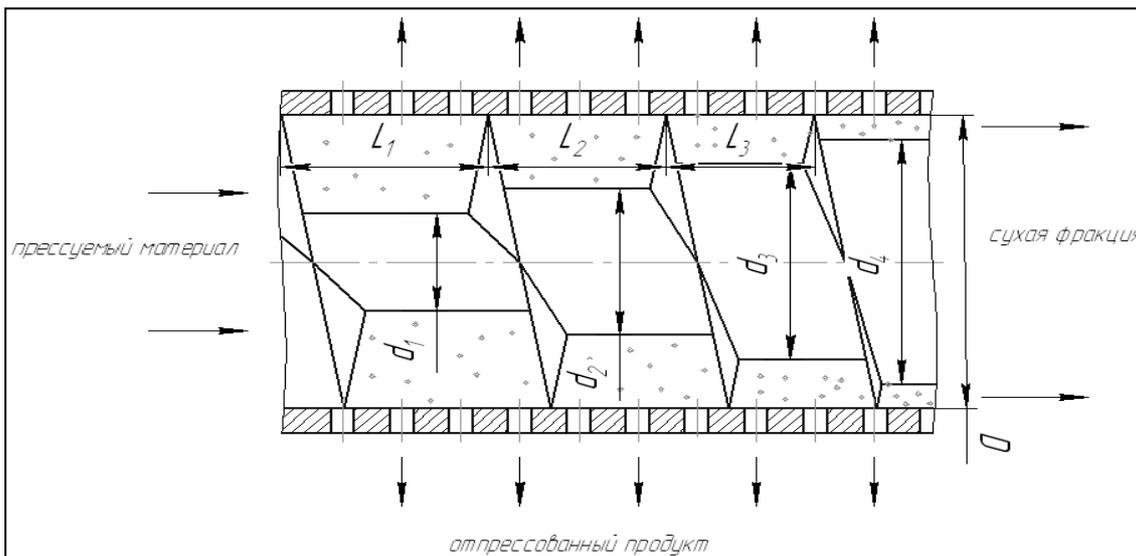


Рисунок 1 – Схема узла сепарации пресса

Формула коэффициента уплотнения продукта определяется выражением

$$k = V_1 / V_2, \quad (1)$$

где V_1 и V_2 объемы межвитковых пространств двух соседних витков соответственно,

В нашем случае мы будем рассматривать формулу определения коэффициента уплотнения материала как отношение площадей межвитковых пространств, поскольку толщиной винтовых канавок мы пренебрегаем. Для обеспечения высокого качества продукта, а следовательно, и работы всей машины в целом необходимо, чтобы выполнялось условие

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{F_2}{F_3} = \frac{F_3}{F_4} = k = const. \quad (2)$$

Поскольку качество прессуемого материала зависит от коэффициента уплотнения, значит его величина должна быть постоянной на протяжении всей рабочей длины шнека во всех межвитковых пространствах. Применительно к вышеуказанной конструкции шнека со ступенчатым изменением диаметров вала шнека по всей его рабочей длине необходимо знать, как и по какому закону они изменяются. Этого можно добиться, используя приемы математического моделирования.

Для определения поставленной задачи воспользуемся конструктивной упрощенной схемой (рис. 2).

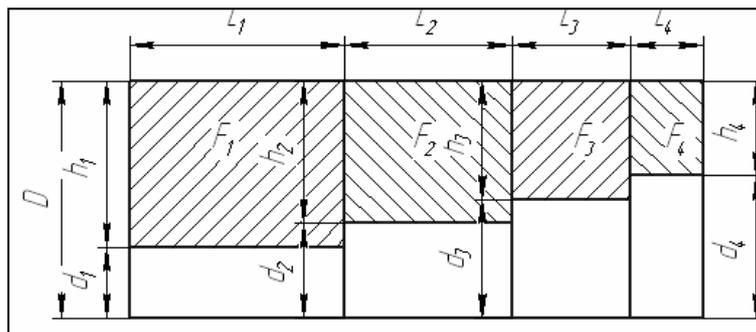


Рисунок 2 – Конструктивная схема шнека

Площадь первого межвиткового пространства определяется выражением

$$F_1 = h_1 L_1 = (D - d_1) L_1, \quad (3)$$

где h_1 – высота первой винтовой канавки; L_1 – шаг шнека, изменяющийся по длине (принимается конструктивно с учетом общей длины шнека и вида прессуемого продукта); D – наружный диаметр шнека (принимается конструктивно); d_1 – диаметр шнека на первом участке (принимается конструктивно).

Аналогично можно записать и площади межвитковых пространств для оставшихся участков шнека.

Предположим, что ступенчатое возрастание диаметров вала шнека, а также изменение величины его шага подчиняется следующему закону:

$$D_n = X d_{n-1}, \quad (4)$$

где d_n – диаметр n -го участка вала шнека (зависит от количества витков); d_{n-1} – диаметр предыдущего участка вала шнека; X – коэффициент пропорциональности, как среднее арифметическое между полученными значениями x_i и x_j заданной функции (6)

$$L_n = Y L_{n-1}, \quad (5)$$

где L_n – шаг n -го участка шнека; L_{n-1} – шаг предыдущего участка шнека; Y – коэффициент пропорциональности, как среднее арифметическое между полученными значениями y_i и y_j заданной функции (6)

Анализируя полученные формулы, например, для первых двух межвитковых пространств можно заключить, что при постоянных коэффициентах пропорциональности X и Y , и известном коэффициенте уплотнения прессуемого продукта, мы бы получили систему двух уравнений с двумя неизвестными, которая вероятней всего не будет иметь решения. Поэтому коэффициенты пропорциональности изменения диаметров и шагов по длине шнека будут не одинаковы. С помощью математического моделирования можно будет получить при бесконечном множестве решений систем уравнения, только те, значения которых наименьшим образом отличаются друг от друга. Для этого можно использовать функцию Excel «Поиск решения», указав целевую функцию

$$\max(|x_i - x_j|, |y_i - y_j|) \rightarrow \min, \quad (6)$$

где x_i и x_j - i и j коэффициенты пропорциональности диаметров вала шнека, изменяющиеся в зависимости от числа витков; y_i и y_j - соответственно i и j коэффициенты пропорциональности изменения шага шнека по длине.

Записав с учетом формулы (3) условие (2) для первых трех витков, получим систему

$$\begin{cases} \frac{(D - d_1)L_1}{(D - x_1 d_1)y_1 L_1} = k \\ \frac{(D - x_1 d_1)y_1 L_1}{(D - x_1 x_2 d_1)y_1 y_2 L_1} = k \end{cases}, \quad (7)$$

Полученные с помощью функции (6) значения коэффициентов пропорциональности при шаге и диаметрах участков вала шнека очень близки друг с другом. Поэтому для практического использования полученных данных необходимо использовать среднее их значение, подставив его в формулы (4) и (5) вместо переменных X и Y . Выполнение такой задачи позволит более точно обосновать геометрические параметры шнека и выйти на постоянный коэффициент уплотнения продукта по всей его рабочей длине.

Литература

1. Прессы пищевых и кормовых производств / А. Я. Соколов [и др.]; под ред. А. Я. Соколова—Москва: Машиностроение, 1973.—290 с.
2. Груданов, В.Я. «Золотая» пропорция в инженерных задачах / В. Я. Груданов.—Могилев: МГУ им. Кулешова, 2006.—288 с.
3. Мясо птицы механической обвалки / В. А. Гоноцкий [и др.]; под общ. ред. А. Д. Давлеева.—Москва: Альфа-Дизайн, 2004.—200 с.
4. Кавецкий, Р. И. Теоретическое обоснование геометрических параметров рабочих органов обвалочных прессов / Р. И. Кавецкий // Инновационные технологии в области холодильного хранения и переработки пищевых продуктов: материалы междунар. науч.-практ. конф., Краснодар: КНИИХП, Куб.ГТУ, под ред. Р.И. Шаззо.—Краснодар, 2008.—272 с.

5. Стабников, В. Н. Процессы и аппараты пищевых производств / В. Н. Стабников.—3-е изд.—М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983.—328 с.

6. Падохин, В. А. Физико-механические свойства сырья и пищевых продуктов: учеб. пособие / В. А. Падохин.—Иваново, 2007.—128 с.