

РЕГЕНЕРАЦИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛНОЖИРНОЙ ЭКСТРУДИРОВАННОЙ СОИ

А.В. Фоминых, Д.Н. Овчинников, А.В. Савельев, Д.В. Ковшов

В статье предложена конструктивно-технологическая схема линии охлаждения полножирной экструдированной сои. Для снижения затрат электроэнергии в линию внедрён подогреватель соевых бобов перед экструдированием, который использует горячий воздух, полученный от системы пневмотранспорта. Также в статье представлены исследования теплообменных процессов при производстве полножирной экструдированной сои.

Ключевые слова: корма, соя, экструдирование, регенерация, охладитель, технология.

Обеспеченность высококачественными комбикормами во многом определяет уровень развития и экономику животноводства и птицеводства, так как в структуре себестоимости продукции затраты на корма достигают 65 – 75% [1]. Сохранению питательных веществ в кормах способствует совершенствование технологии их производства. В типовых полнорационных кормах для птицы недостаток энергии в основном компенсируется вводом растительных масел. Одновременно с маслом в рационах используются соевые и подсолнечные шроты или жмыхи. Иными словами, одни производители (маслоэкстракционные заводы) разделяют белок и масло, другие (производители комбикормов) опять их смешивают. Поэтому целесообразно использовать сырьё, из которого не извлечены растительные масла [2]. Среди полножирных компонентов лидирует экструдированная соя.

Высокое качество продукта обеспечивается действием высокого давления и трения, в следствии чего измельчённые бобы разогреваются до температуры 135-140°C, а это требует больших затрат энергии на работу экструдеров, переработку и быстрое охлаждение экструдата до температуры, не превышающей температуру окружающего воздуха на 10°C.

Коллективом авторов Курганской ГСХА разработана, запатентована [3] и внедрена в ОАО «Научно-производственная компания «Белковые Комбикорма», г. Курган, технологическая схема охлаждения экструдированной сои, в которой работает пять экструдеров. После экструдера соя при помощи пневмотранспорта и нории подаётся в охладитель шахтного типа.

Используемая линия производства экструдированной сои обеспечивает получение продукта высокого качества (подтверждено результатами анализов в городах Москве,

Уфе, Липецке и др.), требуемый режим охлаждения, лёгкость очистки и обеззараживания оборудования, по сравнению с аналогами имеет меньшую металлоёмкость.

Для снижения затрат электроэнергии и повышения производительности линия охлаждения полножирной экструдированной сои, включающая экструдеры 1 (рисунок 1), соединённые средством транспортирования с циклоном-разгрузителем 3, вентиляторы высокого 4 и среднего давления 6, норию 5, охладитель 7, дополнительно содержит подогреватель 9, норию 11, воздухопровод 8 и систему труб 10, связывающую подогреватель с экструдерами. Нория подаёт бобы сои в подогреватель, в который вентилятором высокого давления через воздухопровод подаётся горячий воздух, обеспечивающий предварительный подогрев бобов, поступающих для дальнейшей переработки в экструдеры.

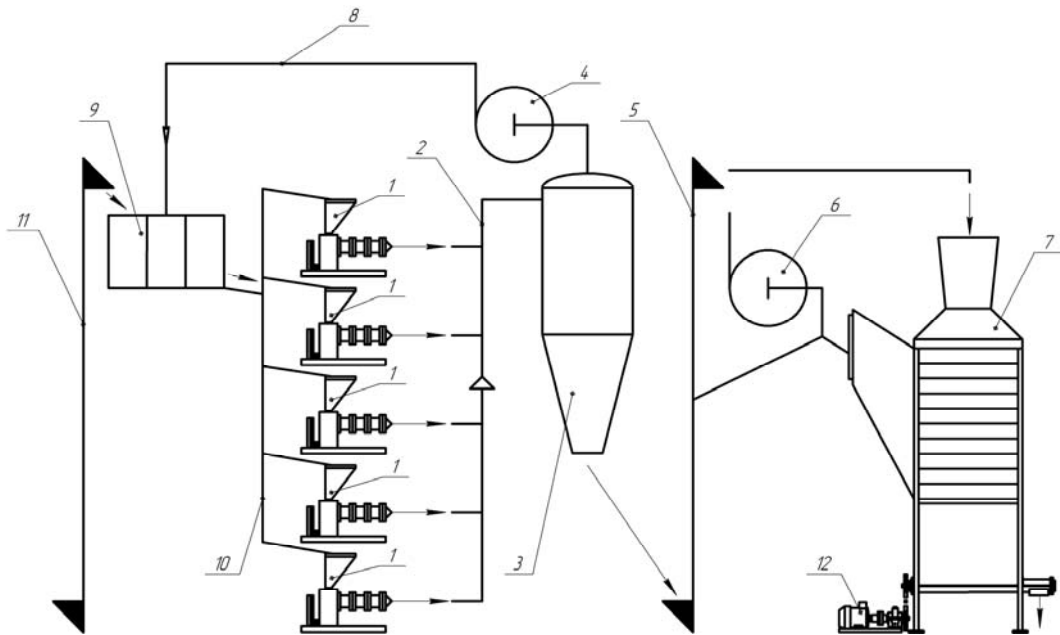
Работает линия следующим образом. Предварительно очищенные соевые бобы посредством нории 11 подаются в подогреватель 9, в который поступает через воздухопровод 8 горячий воздух из циклона-разгрузителя при помощи вентилятора высокого давления 4. Бобы сои предварительно подогреваются на 10-20°C. Через систему трубопроводов соевые бобы поступают в экструдеры 1, затем пневмотранспортом 2 экструдированная масса подаётся в циклон-разгрузитель 3, далее норией 5 в охладитель 7.

Работа охладителя осуществляется так: горячая полножирная экструдированная соя попадает в приёмный бункер. Из него продукт под собственным весом поступает в секцию для охлаждения, где он охлаждается воздухом из окружающей среды. Воздух приходит через экструдированную сою, снижает её температуру и поступает внутрь охладителя. Через окно и воздухопровод воздух поступает в циклон, где очищается от частиц

РЕГЕНЕРАЦИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛНОЖИРНОЙ ЭКСТРУДИРОВАННОЙ СОИ

сои и вентилятором выводится в атмосферу. Охлажденный продукт под собственным

весом поступает в шнек и перемещается к выгрузному окну.



1 – экструдер; 2 – трубопровод; 3 – циклон-разгрузитель; 4 – вентилятор высокого давления; 5 – нория; 6 – вентилятор среднего давления; 7 – охладитель шахтного типа; 8 – воздуховод; 9 – подогреватель; 10 – система трубопроводов; 11 – нория; 12 – электродвигатель

Рисунок 1 – Линия охлаждения полножирной экструдированной сои

Предлагаемая конструкция линии охлаждения позволяет использовать горячий воздух для предварительного прогрева бобов сои перед экструдированием, обеспечивая снижение энергозатрат и повышение производительности.

Охладитель шахтного типа с вертикальным движением продукта сверху вниз и попе-

речной продувкой воздухом, используемый в разработанной линии, лишён многих недостатков, присущих широко распространённым в настоящее время охладителям полножирной экструдированной сои барабанного типа. Расчётная схема шахтного охладителя полножирной экструдированной представлена на рисунке 2.

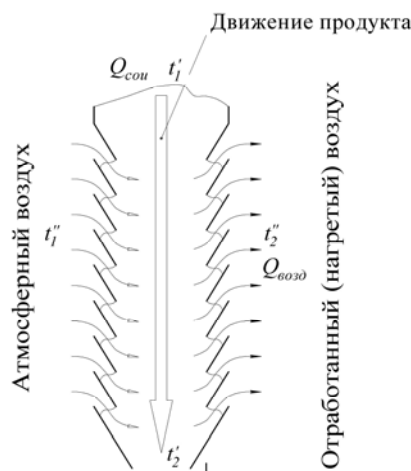


Рисунок 2 – Схема движения теплоносителей в охладителе шахтного типа

Процесс охлаждения исследуемого продукта потоком воздуха представляет собой конвективный теплообмен между твёрдыми частицами полножирной экструдированной сои и обтекающим потоком воздуха. В общем случае теплоотдача от поверхности частиц продукта описывается уравнением Ньютона [4]:

$$\frac{dQ}{d\tau} = \alpha(\theta - t)F, \quad (1)$$

где F – площадь поверхности контакта, м²;

θ – температура этой поверхности, К;

t – температура среды, К;

τ – время, с;

α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К).

Количество теплоты, отведённое от полножирной экструдированной сои определяется уравнением [5]:

$$Q_{cou} = m_{cou} \cdot c_{cou} \cdot (t'_1 - t'_2) \quad (2)$$

где m_{cou} – масса сои, кг;

c_{cou} – теплоёмкость сои, Дж/кг·К;

t'_1, t'_2 – температуры сои на входе и на

выходе из охладителя, К.

Коэффициент теплоотдачи α зависит от многих величин: коэффициента теплопроводности λ , теплоёмкости c , температуры θ , форм Φ и размеров поверхности l_1, l_2, \dots частиц полножирной экструдированной сои; скорости потока w , коэффициента кинематической вязкости ν , температуры t воздуха и других факторов [6]. Таким образом,

$$\alpha = f(w, \lambda, c, \rho, \mu, \theta, t, \Phi, l_1, l_2, \dots) \quad (3)$$

Для определения коэффициента теплоотдачи в инженерной практике пользуются расчётными формулами, основанными на теории подобия:

$$Nu = f(Re, Gr, Pr), \quad (4)$$

При вынужденном движении воздуха влияние свободной конвекции незначительно и критерий Грасгофа (Gr) можно не учитывать:

$$Nu = f(Re, Pr) \quad (5)$$

В случае малых размеров твёрдых частиц и высокой их теплопроводности интенсивность теплообмена между частицами и обтекающим потоком воздуха для слоя частиц описывается следующими формулами [4]:

$$Nu_{ж} = 3,5 \cdot 10^{-3} (Re_{ж} / \varepsilon)^{1,5} Pr_{ж}^{0,33} \quad \text{при } Re_{ж}/\varepsilon < 200 \quad (6)$$

$$Nu_{ж} = 0,4 (Re_{ж} / \varepsilon)^{0,67} Pr_{ж}^{0,33} \quad \text{при } Re_{ж}/\varepsilon > 200$$

где $Nu_{ж} = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}$ – критерий Нуссельта;

$$Re_{ж} = \frac{w \cdot d}{\nu} \quad \text{– критерий Рейнольдса;}$$

$$Pr_{ж} = \frac{\nu}{a} = \frac{\nu \rho c_p}{\lambda} \quad \text{– критерий Прандтля;}$$

ε – порозность слоя полножирной экструдированной сои.

Формулу изменения температуры теплоносителя получаем, преобразуя уравнения (1) и (2):

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{\alpha F}{c_{cou} m_{cou}} (T - t) = k(T - t), \quad (7)$$

где T – температура продукта, °С;

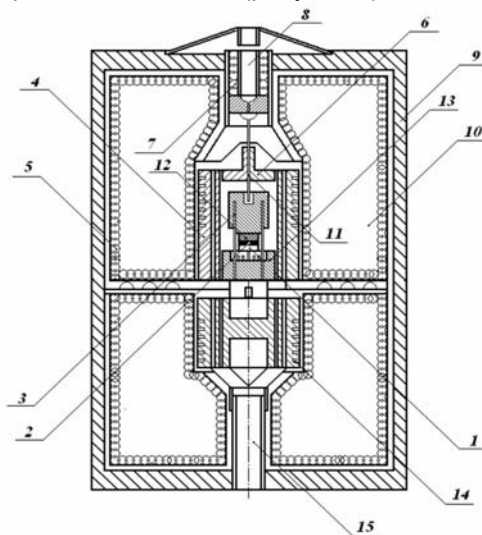
t – температура окружающей среды, °С.

Решив данное дифференциальное уравнение, разделяя переменные, получим зависимость изменения температуры продукта от времени:

$$T(\tau)_{теор} = Ce^{k\tau} + t \quad (8)$$

Для исследования процесса охлаждения полножирной экструдированной сои определялись коэффициент теплопроводности и теплоёмкость продукта.

Определение коэффициента теплопроводности полножирной экструдированной сои производилось на измерителе теплопроводности ИТ-л-400. Экспериментальная установка состоит из двух блоков – блока питания и регулирования и измерительного блока – и микровольтнаноамперметра Ф-136. Важнейшей частью измерительного блока является измерительная ячейка (рисунок 3).



- 1 – пластина; 2 – пластина контактная;
3 – терморезистор; 4 – колпак охранный;
5 – коробка из фольги; 6 – прижим;
7 – пружина; 8 – патрубок; 9 – корпус;
10 – оболочка теплозащитная; 11 – стержень; 12 – образец испытуемый; 13 – основание;
14 – блок нагревательный; 15 – патрубок.

Рисунок 3 – Схема измерительной ячейки

РЕГЕНЕРАЦИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛНОЖИРНОЙ ЭКСТРУДИРОВАННОЙ СОИ

На медном основании 13 размещены хромель-алюмелевые термопары 3, пластина 1 и пластина контактная 2, составляющие тепломер, и испытуемый образец 12. Основание 13 соединено с нагревательным блоком 14, и всё это прикреплено к нижней половине корпуса измерительной ячейки. К верхней части корпуса крепится охранный колпак 4. Испытуемый образец 12 устанавливается на контактную пластину 2 и сверху поджимается прижимным устройством. Рабочим слоем термопары является пластина 1 из нержавеющей стали 12Х18Н9Т. Основание 13 пластины 1 и 2 спаяны друг с другом.

Образцы полножирной экструдированной формировались в специально изготовленной пресс-форме в соответствии с методикой проведения эксперимента на измерителе теплопроводности ИТ-λ-400 [7]. Перед выполнением измерения коэффициента теплопроводности необходимо определить геометрические размеры и массу образца исследуемого продукта.

Общая схема выполнения экспериментов состоит в следующем: устанавливаем образец на контактную пластину тепломера, а стержень на иглы – термопары; при медленном нагреве измерительной ячейки следим по прибору Ф 136 за ростом температуры стержня и в момент достижения нужного значения температуры t_i определяем значение перепадов температур на образце и тепломере, после чего ожидаем нового значения температуры t_{i+1} и так далее. После проведенных замеров рассчитываем значение коэффициента теплопроводности полножирной экструдированной сои для каждой темпера-

туры эксперимента t_i по общеизвестной формуле [7].

Эксперимент проводился в трёхкратной повторности. Среднее значение коэффициента теплопроводности полножирной экструдированной сои составило 0,223 Вт/(м·К).

При определении теплоёмкости полножирной экструдированной сои использован метод смешения [8]. Для проведения эксперимента были отобраны образцы полножирной экструдированной сои массой $m_{np}=20$ г. Образцы нагревались в термощкафу до температур 95...126°C, а затем смешивались в термоизолированной ёмкости с водой, имеющей температуру $T_в$. Далее фиксировалась максимальная температура смеси $T_к$. Теплоёмкость образца C_c , Дж/(кг·К) рассчитывалась по формуле:

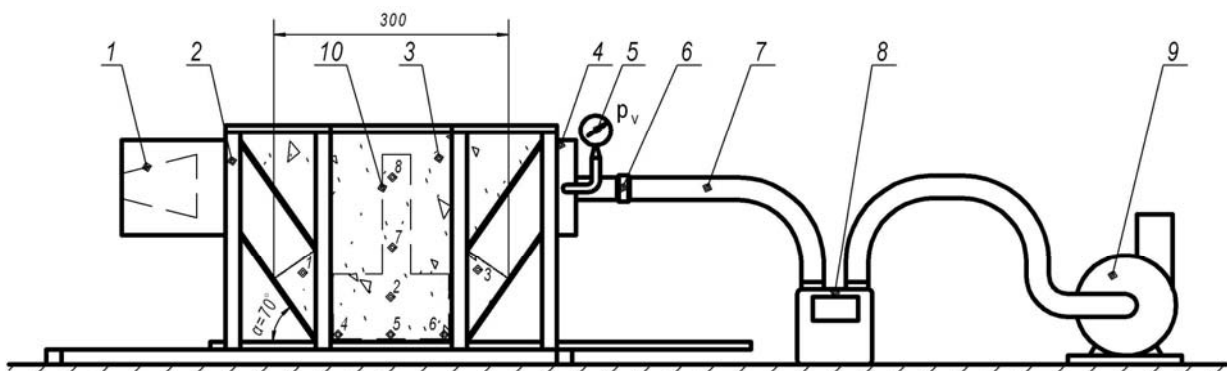
$$C_c = \frac{m_в \cdot C_в \cdot (T_в - T_к)}{m_{np} \cdot (T_н - T_к)} \quad (9)$$

где $m_в$ – масса воды в термоизолированной ёмкости, кг;

$C_в$ – теплоёмкость воды, Дж/(кг·К);

Эксперимент по определению теплоёмкости проводился в пятикратной повторности. Среднеарифметическое значение теплоёмкости полножирной экструдированной сои составило 1808 Дж/(кг·К). Величина среднеквадратического отклонения среднего составила 304 Дж/(кг·К).

Распределение температуры в слое охлаждаемого продукта изучалось на лабораторной установке, которая представляет собой одну из секций охладителя полножирной экструдированной сои шахтного типа (рисунок 4).



1 – нагреватель; 2 – секция для охлаждения; 3 – слой полножирной экструдированной сои; 4 – металлический короб; 5 – микроманометр; 6 – регулятор потока воздуха; 7 – трубопровод; 8 – расходомер воздуха; 9 – вентилятор; 10 – зона точек замеров температуры

Рисунок 4 – Схема экспериментальной установки для определения параметров охлаждения полножирной экструдированной сои

Установка состоит из секции для охлаждения 2, в которую засыпается исследуемый продукт 3. Передняя стенка секции охлаждения выполнена из прозрачного материала для визуального наблюдения за процессом продувки слоя продукта воздухом. Предварительный нагрев экструдированной сои может осуществляться двумя способами: путём продувки слоя материала горячим воздухом, либо нагревом стенок секции охлаждения. Угол наклона жалюзи α секции охлаждения принимаем в соответствии с определённым ранее углом естественного откоса, и с учётом подверженности полножирной экструдированной сои слипанию принимаем равным 70° . К секции охлаждения присоединяется металлический короб 4 с трубкой, к которой подсоединяется микроманометр 5 для измерения потерь давления. К коробу присоединён регулятор потока воздуха 6. Расходомер воздуха 8 связан с регулятором 6 и вентилятором 9 при помощи трубопровода. Измерение температуры производится в характерных точках 10 на пути движения потока воздуха и по высоте слоя продукта.

Установка позволяет регулировать толщину слоя исследуемого продукта от 0,2 до 0,5 м, менять скорость охлаждающего воздуха от 0 до 0,5 м/с [9], изменять начальную температуру продукта от 60 до 100°C .

Методика проведения исследований на установке включает в себя нагрев слоя продукта горячим воздухом и последующее его охлаждение потоком окружающего воздуха. Установленные в характерных точках хромель-копелевые термодпары фиксировали температуру охлаждаемого продукта. По результатам расчёта и экспериментальных исследований построены зависимости изменения температуры продукта от времени охлаждения при скорости охлаждающего воздуха 0,45 м/с (рисунок 5).

Анализ полученных данных показал, что при скорости воздуха 0,45 м/с крайняя часть слоя исследуемого продукта остывает до температуры, не превышающей температуру окружающей среды на 10°C , за 23 минуты.

Полученные расчётные формулы позволяют определять изменение температуры в различных точках слоя с течением времени при охлаждении полножирной экструдированной сои потоком воздуха в шахтных охладителях.

Расчёты и экспериментальные исследования, показали, что за счёт регенерации

тепловой энергии в линии охлаждения полножирной экструдированной сои расход электроэнергии на единицу продукции снижается на 10...20%.

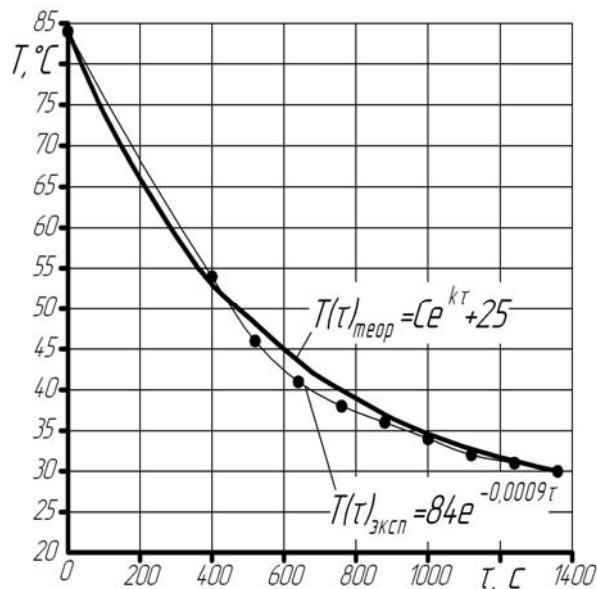


Рисунок 5 – Теоретическая и экспериментальная зависимости изменения температуры полножирной экструдированной сои в точке на глубине 10 мм от внешней поверхности от времени охлаждения при скорости воздуха 0,45 м/с и ширине секции 0,3 м

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Афанасьев, В. Комбикормовое производство: состояние и проблемы [Текст] / В. Афанасьев // Комбикорма. – 2008. – №1. – С. 9–13.
- Бортников, С. Эффективность использования полножирной экструдированной сои [Текст] / С. Бортников // Комбикорма. – 2005. №1. С.51 – 52.
- Патент на полезную модель 93636 РФ, МПК А 23 N 17/00. Линия охлаждения полножирной экструдированной сои [Текст] / А.В. Фоминых, Д.Н. Овчинников, А.В. Савельев, Д.В. Ковшов – № 2010100235/22; заявлено 10.01.2010; опубл. 10.05.2010 Бюл. №13
- Гельперин, Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. В двух книгах. [Текст] / Н.И. Гельперин – М.: Химия, 1981 – 812 с.
- Луканин, В.Н. Теплотехника [Текст] / В.Н. Луканин, М.Г. Шатров, Г.М. Камфер и др. – М.: Высш. шк., 2000. – 671 с.
- Быстрицкий, Г.Ф. Общая энергетика [Текст] / Г.Ф. Быстрицкий. – М.: Академия, 2005. – 208 с.
- Денисова, Э.И. Измерение теплопроводности на измерителе ИТ-л-400 [Текст] / Э.И. Денисова, А.В. Шак. – Екатеринбург: Издательство ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006 – 35 с.

РЕГЕНЕРАЦИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛНОЖИРНОЙ
ЭКСТРУДИРОВАННОЙ СОИ

8. Лыков, А.В. Тепломассообмен. Справочник. [Текст] / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1971 – 560 с.

9. Фоминых, А.В. Фильтрация воздуха через слой экструдированной сои [Текст] / А.В. Фоминых, А.В. Савельев // Инновационные пути решения проблем АПК: материалы международной научно-практической конференции – Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2009. – В 2-х т. – Т.2. – 435 с. С.379 – 382

Фоминых А.В., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Механизация животноводства», ФГОУ ВПО «Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева», E-mail: prof_fav@mail.ru, тел.: 8 (35231) 4-42-30;

Овчинников Д.Н., к.т.н., доцент, кафедра «Механизация животноводства», ФГОУ ВПО «Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева», тел.: 8 (35231) 4-42-30;

Савельев А.В., аспирант кафедры «Механизация животноводства», ФГОУ ВПО «Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева», E-mail: sav121985@mail.ru, тел.: 8 (35231) 4-42-30;

Ковшов Д.В., инженер кафедры «Механизация животноводства», ФГОУ ВПО «Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева», тел.: 8(35231) 4-42-30.