

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА МАССЫ СЫРЬЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ КЕДРОВЫХ ОРЕХОВ

В статье рассматриваются результаты исследований по моделированию процесса переноса массы сырья на технологической линии для обработки кедровых орехов, начиная от начального звена линии – машины для шелушения шишек – до конечного звена – этапа получения готового продукта кедрового сыра. Полученные результаты позволяют настроить линию в соответствии с требованиями поточного бесперебойного производства продукта и отладить режимы работы всех составляющих звеньев для бесперебойной и качественной обработки сырья.

Ключевые слова: кедровый орех, кедровое молоко, кедровый сыр, сосна сибирская кедровая.

Dm. A. Krivov

MODELING THE RAW MATERIAL MASS TRANSPORT PROCESSES IN THE PINE NUT TREATMENT

The research results on modeling the raw material mass transport process on the technological line for pine nut treatment starting with the initial line link, which is the machine for hulling the cones, to the final link, which is the stage of receiving the pine cheese finished product, are considered in the article. The received results allow to control the line according to the requirements of the mass uninterrupted product manufacture and to set the operating modes of all link components for uninterrupted, high quality raw material processing.

Key words: pine nut, pine nut milk, pine cheese, Siberian cedar pine.

Введение. Перспективным направлением исследования и создания функционального продукта является переработка орехов сосны кедровой (сибирского кедра), которая произрастает на территории Восточной Сибири. Кедровые орехи отличаются от других содержанием свыше 60% органического масла, богаты микро- и макроэлементами.

Проектируемые технологические процессы должны обеспечить сохранение всех их полезных свойств [1–4]. Продукт, приготовленный с использованием полуфабрикатов кедровых орехов, будет являться функциональным. Его прием повысит иммунитет, здоровое функционирование организма, память, стрессоустойчивость, выносливость, нормализует сон. Таким образом, развитие функционального питания с использованием кедрового ореха позволит населению отказаться от дополнительных и ненужных препаратов и биологически активных добавок, поскольку применение определенного количества функционального продукта с использованием кедровых орехов может полностью обеспечить физиологические процессы организма необходимыми элементами питания.

На данный момент в пищевой промышленности нет подобных действующих линий, а существующие экспериментальные разработки не в полной мере удовлетворяют задачам функционального питания. Для выбора оптимальных режимных параметров переработки сырья кедровых орехов обосновываются теоретические подходы проектирования и разрабатывается модель технологических процессов.

Актуальность исследований. Создание новой, высокоэффективной технологической линии для переработки кедровых орехов в полуфабрикаты и затем в конечный продукт потребления позволяет частично удовлетворить спрос населения Красноярского края в функциональных продуктах питания.

Цель исследований. Разработка аналитической модели переноса массы сырья на технологической линии для обработки кедровых орехов.

Задачи исследований. Формирование структуры технологической линии, описание процессов переноса массы сырья между звенями и проведение вычислительного эксперимента.

Объекты и методы исследований. Объектами исследований являются звенья технологической линии производства кедрового сыра, а также само сырье – кедровые орехи. Использованы методы теории переходных процессов для определения состояния звеньев линии в определенный момент времени.

Результаты исследований и их обсуждение. Предлагаемая схема линии (рис. 1) включает в себя цикл полной переработки исходного сырья на входе в готовый полуфабрикат на выходе, 10 звеньев и их условные обозначения.

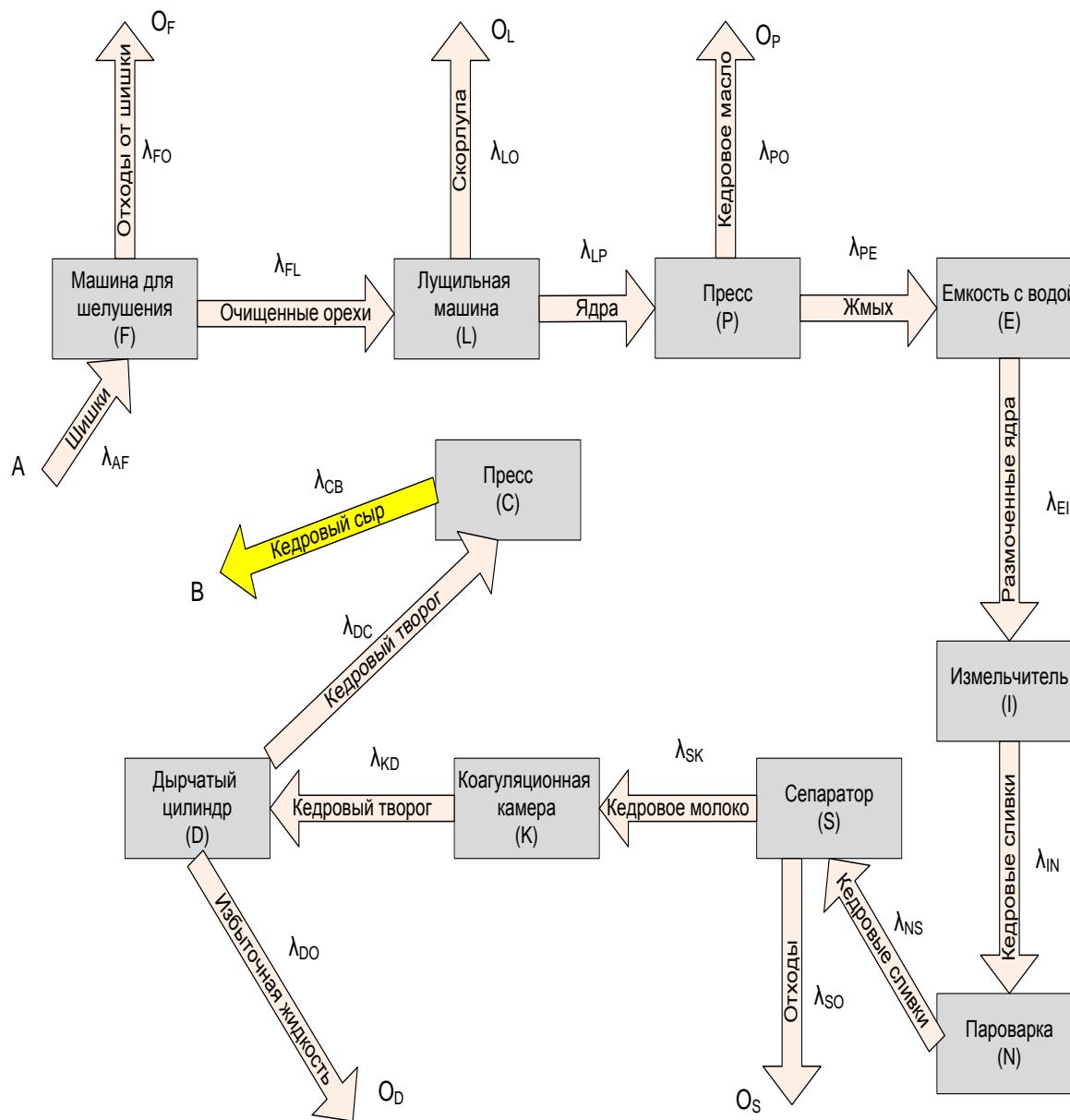


Рис. 1. Схема линии по переработке кедрового ореха в полуфабрикаты

Кедровые шишки в качестве исходного сырья поступают в аппарат для шелушения кедровых шишек F , на выходе из которого образуются очищенные орехи и шелуха от шишки. Орехи промываются, подсушиваются и поступают в аппарат для разрушения скорлупы L , в котором ядра ореха отделяются от скорлупы, причем вид и условия предварительной обработки семян зависят от типа оборудования и метода разрушения скорлупы. Скорлупу ореха можно транспортировать на другие производства, например для изготовления краски, пищевых красителей и удобрений. Спектр применения кедровой скорлупы в пищевой промышленности достаточно велик, поэтому выброс ее в отходы нецелесообразен.

Очищенные и слегка подсушенные ядра орехов поступают на отжим масла P . Отжатое масло может использоваться в медицинских, пищевых и иных целях. После отжатия масла из ядер орехов остается жмык, который содержит до 30% масла и сохраняет все полезные витамины и элементы.

Жмык поступает в емкость с водой E . В емкости он разбухает, набирает массу и становится мягким и податливым к дальнейшей обработке. Вся эта масса дробится в измельчителе I , поступает в пароварку N и подвергается кратковременному нагреву. В результате получаются полноценные кедровые сливки. В сепараторе S сливки разбиваются на фракции – кедровое молоко и твердая биомасса. Кедровое молоко посту-

пает в коагуляционную камеру K , где при добавлении определенных компонентов и специальной обработке оно сворачивается, и на завершении этого этапа получается кедровый творог с достаточно большим содержанием жидкости. Избыточная жидкость удаляется с помощью дырчатого цилиндра D . На выходе, после прессования на прессе C , получаются брикеты с высокой плотностью.

Все полученные продукты обладают высоким содержанием витаминов, минеральных веществ, микро- и макроэлементов. Применение таких продуктов в пищу и при приготовлении других продуктов питания входит в категорию функционального питания. При приеме продуктов на основе кедровых сливок и молока повышается иммунитет и общее физиологическое состояние человека.

Для моделирования процесса переноса массы сырья при обработке орехов на технологической линии обозначим через $M_F(t)$ – функцию состояния звена машины для шелушения шишек; $M_L(t)$ – состояния звена лущильной машины; $M_P(t)$ – пресса для отжима масла; $M_E(t)$ – емкости с водой; $M_I(t)$ – измельчителя; $M_N(t)$ – пароварки; $M_S(t)$ – сепаратора; $M_K(t)$ – коагуляционной камеры; $M_D(t)$ – дырчатого цилиндра; $M_C(t)$ – состояния звена пресса для прессования кедрового творога; $A(t)$ и $B(t)$ – состояния входного и выходного звена соответственно; $M_O(t)$ – функцию состояния звеньев отходов на соответствующем этапе (см. рис. 1).

Согласно А.Н. Колмогорову [5], изменение состояния звена описывается производной функции состояния и равно разности входящих и выходящих потоков для этого звена. Последнее характерно для функционирования линии по обработке кедровых орехов.

Поэтому для модельного представления взаимодействий звеньев технологической линии введены интенсивности переходных процессов между звеньями. Например, λ_{FL} – интенсивность перехода массы из звена машины для лущения в звено лущильной машины, или λ_{SK} – интенсивность перехода массы из звена сепаратора в звено коагуляционной камеры. Обоснованное использование математического аппарата переходных процессов для описания процессов переноса массы сырья позволяет составить дифференциальное уравнение конечного звена.

Адекватной поставленной задачей является предложенная система дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dM_F(t)}{dt} &= \lambda_{AF} \cdot A(t) - \lambda_{FO} \cdot M_F(t) - \lambda_{FL} \cdot M_F(t); \\ \frac{dM_L(t)}{dt} &= \lambda_{FL} \cdot M_F(t) - \lambda_{LO} \cdot M_L(t) - \lambda_{LP} \cdot M_L(t); \\ \frac{dM_P(t)}{dt} &= \lambda_{LP} \cdot M_L(t) - \lambda_{PO} \cdot M_P(t) - \lambda_{PE} \cdot M_P(t); \\ \frac{dM_E(t)}{dt} &= \lambda_{PE} \cdot M_P(t) - \lambda_{EI} \cdot M_E(t); \\ \frac{dM_I(t)}{dt} &= \lambda_{EI} \cdot M_E(t) - \lambda_{IN} \cdot M_I(t); \\ \frac{dM_N(t)}{dt} &= \lambda_{IN} \cdot M_I(t) - \lambda_{NS} \cdot M_N(t); \\ \frac{dM_S(t)}{dt} &= \lambda_{NS} \cdot M_N(t) - \lambda_{SO} \cdot M_S(t) - \lambda_{SK} \cdot M_S(t); \\ \frac{dM_K(t)}{dt} &= \lambda_{SK} \cdot M_S(t) - \lambda_{KD} \cdot M_K(t); \\ \frac{dM_D(t)}{dt} &= \lambda_{KD} \cdot M_K(t) - \lambda_{DO} \cdot M_D(t) - \lambda_{DC} \cdot M_D(t); \\ \frac{dM_C(t)}{dt} &= \lambda_{DC} \cdot M_D(t) - \lambda_{CB} \cdot M_C(t); \\ \frac{dM_B(t)}{dt} &= \lambda_{CB} \cdot M_C(t). \end{aligned}$$

Поставим задачу Коши для системы дифференциальных уравнений, задав начальные данные состояний процессов – массы в момент времени $t=0$: $M_A(0) = m$, $M_F(0) = 0$, $M_L(0) = 0, \dots, M_C(0) = 0$; $M_B(0) = 0$. Поставленная задача Коши является моделью функционирования технологической линии. Функции: $M_F(t)$, $M_L(t)$, $M_P(t)$, $M_N(t)$, $M_E(t)$, $M_S(t)$, $M_I(t)$, $M_K(t)$, $M_D(t)$, $M_C(t)$, $A(t)$, $M_B(t)$, $M_O(t)$, составляющие решение задачи Коши, моделируют динамику изменения массы сырья в звеньях технологической линии.

Методом вычислительного эксперимента, при выборе различных значений интенсивностей λ_{AF} , λ_{FL} , λ_{LP} , λ_{PE} , λ_{EI} , λ_{IN} , λ_{NS} , λ_{SK} , λ_{KD} , λ_{DC} , λ_{CB} переходных процессов, показана непротиворечивость системы и построен график изменения массы сырья при обработке на технологической линии (рис. 2).

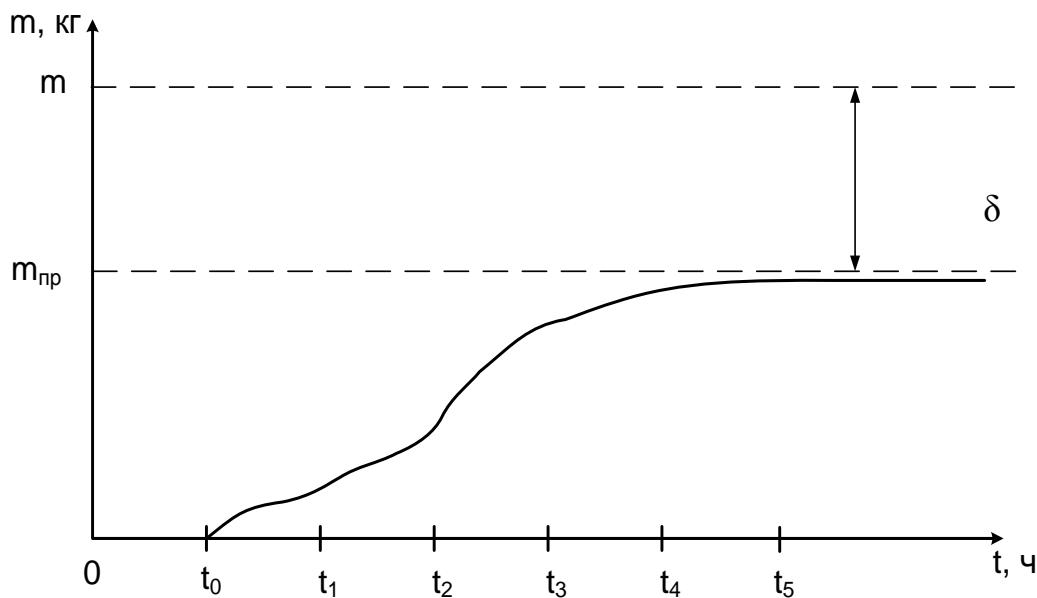


Рис. 2. Изменение массы сырья при обработке на технологической линии

Расчеты показывают, что с увеличением параметра времени t масса обрабатываемого сырья увеличивается нелинейно. В конечный момент обработки t_5 масса сырья достигает своего предельного значения $m_{\text{пр}}$, отличающегося на величину δ (потери технологической системы) от загружаемой массы m , причем момент времени t_5 соответствует конечному циклу обработки сырья.

Выводы

1. Предложена концептуальная модель получения нового функционального продукта – кедрового сыра, определяющего новое направление в сбалансированном питании населения Красноярского края и Восточной Сибири на основе местного растительного сырья сосны сибирской кедровой.

2. Обоснована целесообразность проектирования и моделирования технологической линии обработки кедрового ореха с оптимальными интенсивностями процессов, сохраняющих функциональность конечного продукта.

Литература

1. Кривов Дм.А. Получение полуфабрикатов функциональных продуктов из ядер орехов сосны кедровой // Актуальные проблемы и перспективы инновационной агрозэкономики: тр. III Всерос. науч.-практ. конф. – Саратов: Изд-во Саратов. гос. аграр. ун-та, 2011.
2. Кривов Дм.А. Концепция развития функционального питания с использованием полуфабрикатов из кедрового ореха // Технология и продукты здорового питания: сб. ст. VI Международ. науч.-практ. конф. – Саратов: Изд-во Саратов. гос. аграр. ун-та, 2011.
3. Формирование научно-исследовательской системы аналитического мониторинга и моделирования / Н.В. Цугленок [и др.]; под общ. ред. Н.В. Цугленка. – Красноярск: Изд-во ФГУП НТЦ "Информрегистр", 2010. – 319 с.
4. Моделирование научно-технологических программ развития АПК / Н.В. Цугленок [и др.]; под общ. ред. Н.В. Цугленка. – Красноярск: Изд-во ФГУП НТЦ "Информрегистр". – 838 с.
5. Вентцель Е.С., Овчаров А.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения: учеб. пособие для вузов. – Изд. 2-е, стер. – М.: Высш. шк., 2000. – 383 с.

