

# Optimization of process heat exchange in a stage drying fruit and vegetable cultures

Hikmatov D. N., Dzhuraev Kh. F., Yamaletdinova M.F., Kholikov A.A.

## The summary

In work the optimization of process drying fruit and vegetable of cultures is considered. The technological mode of course of process heat exchange in elementary layers of a product is certain(determined) by a method of multistage optimization. Taking into account interaction internal and external of the factors is chosen criterion of optimization of process drying fruit and vegetable of cultures.

**Key words:** Optimization, drying, system, synthesis, heat flux density, IR treatment.

# Оптимизация тепломассообмена в процессе сушки плодовоощных культур

Хикматов Д. Н., Джураев Х. Ф., Ямалетдинова М.Ф., Холиков А.А.

## Аннотация

В данной статье авторами проведены исследования с использованием метода многоступенчатой оптимизации тепло - массобменных процессов, происходящих в слоях продукта при сушке фруктов и овощей. При оптимизации изучено влияние внешних и внутренних факторов.

**Ключевые слова:** оптимизация, сушка, система, синтез, плотность теплового потока, ИК – обработка.

**Введение.** Основным этапом для полного раскрытия всех возможностей технологического процесса сушки плодовоощных культур методами математического моделирования является оптимизация. При разработке оптимальных технологических процессов для сушки плодовоощных культур на основе использования различных методов синтеза технологических систем с точки зрения сокращения трудоемкости вычислительных процедур наиболее целесообразно применять многоступенчатые методы оптимизации, сущность которого состоит в декомпозиции исходной задачи оптимизации технологических систем в целом на совокупность более простых задач оптимизации отдельных подсистем, входящих в данную систему, и в последующем координированном согласовании результатов решения задач для отдельных подсистем с учетом их структурных взаимосвязей и взаимовлияния в системе [1; с.43-50., 4; pp. 2028-2032., 12; с.80-84]. В данной работе рассмотрены вопросы многоступенчатой оптимизации процесса сушки плодовоощных культур.

**Материалы и методы.** Одним из методов синтеза процесса переработки плодовоощных культур является разбиение задач оптимизации технологических систем на три уровня [2; с.78-99, 3; pp. 931-938, 5; с.45-48, 6; с.3-5].

- 1) оптимизация технологических систем по входным и выходным данным каждого региона – декомпозиционная глобальная оптимизация;
- 2) оптимизация отдельных систем и аппаратов по входным и выходным параметрам – региональная оптимизация;
- 3) оптимизация каждого агрегата региона – локальная оптимизация.

Решение любой задачи оптимизации начинают с выявления цели оптимизации, т.е. формулировки требований, предъявляемых к объекту.

При выборе критерия оптимизации необходимо учитывать взаимосвязь параметров процесса в период сушки, характер внешних воздействий, структуру и физико-механические свойства используемого сырья. Существенным вопросом, возникающим при этом, является возможность введения частичных критериев оптимизации для отдельных уровней оптимизации в их непосредственной связи с общим критерием оптимизации.

Таким образом, с целью совершенствования процесса сушки плодоовощных культур, изучения тепломассообменных и биохимических явлений, протекающих в структуре плодов при обработке и выявления влияния различных факторов на выход и качество сушеных продуктов выполним качественный анализ и определим целевую функцию [7; pp.1552-1557, 8; 012170., 9; с.116-121., 10; pp. 452-467].

**Результаты и обсуждения.** С учетом требований рыночных условий создаваемые технологические схемы производства сушеных сельскохозяйственных продуктов должны обеспечивать определенный экономический эффект. Здесь в качестве основного показателя можно принять доход предприятий. Для нынешних условий доход является функцией зависящих от многих параметров. Основным из них выступает стоимость выпускаемых изделий, себестоимость продукции и производительность сушильной установки.

Нами проанализированы основные составляющие дохода от реализации выпускаемых изделий, определяемого потребностью населения. Поэтому возникают постановки многокритериальных задач, учитывающие следующие научно-технические тенденции:

- производительность установки должна удовлетворять потребностям населения;
- качество выпускаемых изделий должно отвечать предъявляемым требованиям;
- количество и качество компонентов таких, как аминокислоты, сахарозы и др. должны сохраняться в нативном состоянии;
- количество отходов в процессе переработки должно сводиться к минимуму.

Анализируя вышеизложенное, можно подчеркнуть, что в настоящее время основными критериями выпуска сушеных плодоовощных культур являются себестоимость и доход перерабатывающей отрасли [5; с.45-48, 6; с.3-5., 7; pp.1552-1557].

Себестоимость продукта на стадии сушки С имеет две составляющие изменения и может быть отражена следующим дифференциальным уравнением:

$$\frac{dc}{d\tau} = A + B\left(\frac{dQ}{d\tau}\right),$$

где А- эксплуатационные затраты в единицу времени; В – стоимость единицы тепловой энергии;  $\frac{dQ}{d\tau}$  - удельный расход тепловой энергии.

Известно, что оптимальная с точки зрения себестоимость, производительность сушильной установки всегда меньше её номинальной производительности. Поэтому в качестве критерия можно принять

$$D = (\mathcal{U} - C) \cdot \Pi,$$

где:  $\mathcal{U}$ - цена продукта;

$\Pi$ - производительность установки.

С учетом особенностей заказов, производительность установки может иметь фиксированные значения. Тогда этот показатель из числа критериев переводим в размер ограничений, поскольку  $\Pi \rightarrow \max; \mathcal{U} \rightarrow \min; C \rightarrow \min$ .

Рост прибыли обусловлен, как снижением себестоимости, так и увеличением производительности установки.

При расчете производительности установки необходимо обратить внимание на форму высушиваемых продуктов, поскольку плодоовощные культуры обладают различной формой и структурным строением. Поэтому при расчете производительности критерий - массовая нагрузка [ $\sigma; (kg/m^2)$ ]. Зная массовую нагрузку можно рассчитать общую поверхность сушильной установки, а исходя из особенностей структурного строения высушиваемого продукта - время сушки.

Задача управления заключается в выборе таких параметров, при которых обеспечивается достижение наибольшей прибыли. При этом накладываются ограничения, исключающие возможность ухудшения качества высушиваемого материала.

Для решения задачи оптимизации требуется математическая модель, отражающая влияние управления на процесс сушки в целом. Состояние материала можно охарактеризовать средним влагосодержанием  $U$ , а изменение последнего – дифференциальным уравнением баланса тепловой энергии и влаги

$$\frac{dU}{d\tau} = A(U - U_p),$$

где:  $A$  – коэффициент сушки;  $U_p$  – равновесное влагосодержание, (кг/кг);

Коэффициент сушки можно охарактеризовать, как:

$$A = A_1(t_c\varphi)*A_2(\tau)$$

где:  $A_1, A_2$  – коэффициенты отражающие влияние на процесс соответственно режима сушки и изменения формы связи влаги с материалом;  $t_c$  – температура среды;  $\varphi$  - относительная влажность среды.

Следует подчеркнуть, что в данном уравнении эффективным управляющим параметром является температура среды, а  $\varphi$  характеризует состояние материала. Из этого ясно, что в процессе сушки решение задачи оптимизации сводится к тому, чтобы при организации процесса влагосодержание материала стало равным заданному значению  $U_3$ , а выбранный критерий ( себестоимость, прибыль) - достиг экстремального значения:

$$C = \int_0^{\tau_k} \left( A + B \frac{dQ}{d\tau} \right)^* d\tau \rightarrow \min,$$

$$D = \frac{U}{\tau_k} - \frac{1}{\tau_k} \int_0^{\tau_k} \left( A + B \frac{dQ}{d\tau} \right)^* d\tau \rightarrow \max.$$

Рассматриваемая задача в данной содержательной постановке относится к классу вариационных задач по отысканию экстремума функционалов. Особенностью является управление температурой  $t_c$  и подвижность правого конца, обусловленная неопределенностью момента окончания сушки, зависящего от достижения материалом конечного влагосодержания. С этой точки зрения задача минимизации себестоимости сводится к минимизации интеграла:

$$C = \int_{U_n}^{U_3} F(t_c U_y)^* dU_y \rightarrow \min,$$

где  $U_y = U - U_p$

при следующих ограничениях на управляющий параметр

$t_{\min \text{ д.т.}} \leq t_c \leq f(U_y)$ .

Таким образом, себестоимость в данном случае равносильна минимизации подинтегральной функции  $F(t_c, U_y)$  с учетом ограничений, а в случае переменной  $U_y$ , выбираются значения управляющего параметра, либо точки ограничения.

При создании технологической линии по переработке плодово-овощных культур, необходимо обратить внимание на составляющие себестоимости с точки зрения сушки сельхозпродуктов. В некоторых случаях их будем называть затратами применительно к данной технологической системе:

$$Z_{\text{уст}} = Z_{\text{энерг}} + Z_A + Z_{\text{тр}} + Z_{\text{пр}}; \quad Z_A = E_1 * C_{\text{ст.обор}} + E_2 C_{\text{ст.стр.coop}}; \quad Z_{\text{энерг}} = Z_{\text{nагр}} + Z_{\text{возд}} + Z_{\text{тр}} + Z_{\text{др}}.$$

Таким образом, задача оптимизации технологического процесса сушки плодово-овощных культур выражается в виде минимизации технологических затрат. Например, при предварительной обработке и ИК-конвективной сушке критерии оптимальности в виде конечной температуры материала, влажности и качества получаемого продукта таковы:

$$T_k = f(E, \tau_{\text{обл}}, t_e, V_e, W_H, T_\lambda) \rightarrow \min,$$

$$W_k = f(E, \tau_{\text{обл}}, t_e, V_e, W_H, T_\lambda) \rightarrow \min,$$

$$K = f(E, \tau_{\text{обл}}, t_e, V_e, W_k, T_\lambda) \rightarrow \max.$$

Следует отметить, что для решения задачи оптимизации необходимо рассмотреть вопросы оптимизации элементов установки с учетом критериев процесса сушки. В качестве основных элементов рассматривается аппарат - предварительной обработки и аппарат - сушки плодовоощных культур [11; с. 88-91., 12; с.80-84., 13; с.16-19., 14; с.25-28., 15; с.18-21]. Эти системы применяются за основу оптимизирующего объекта. Здесь необходимо подчеркнуть, что, оптимальные режимы ИК-обработки определяются множеством взаимосвязанных факторов. Главная трудность при их определении состоит в том, что процесс ИК-обработки должен удовлетворять одновременно нескольким, подчас противоположным требованиям. Например, увеличение температуры нагрева плодовоощных культур при ИК-обработке способствует ускорению процесса последующей ИК-конвективной сушки, улучшению цвета сушеных изделий, но при этом содержание биологически активных веществ на этапе ИК-обработки уменьшается, а затраты электроэнергии увеличиваются. Уменьшение толщины образца приводит к сокращению времени нагрева до необходимой температуры, увеличению содержания сахаров за счет сокращения длительности процесса сушки, однако удельные энергозатраты на этапе ИК-обработки при этом возрастают.

Основные методы интенсификации и оптимизации процесса сушки плодов и овощей с применением ИК- обработки связаны с применением расчетных уравнений, позволяющих определять рациональные параметры режимов ведения процесса.

Тогда, постановку задачи оптимизации процесса в аппаратах – системах общих затрат на проведение процесса  $3 = \sum 3 \rightarrow \min$  при ограничениях на производительности аппаратов и качеству выпускаемого продукта (подбирается режим обеспечивающий заданное качество продукта). Все это способствует, как было упомянуто выше к максимизации прибыли общего производства.

Поскольку эффективность ИК-обработки и последующей сушки определяется целым рядом факторов, для оптимизации процесса необходимо изучить большое число факторов, влияющих на процесс, а также количественно оценить влияние каждого фактора в отдельности и с учетом эффектов межфакторного взаимодействия. Наиболее значимыми факторами являются: плотность теплового потока  $E_p$  ( $\text{kBt}/\text{m}^2$ ); толщина слоя  $\delta$  (мм); время облучении  $\tau_{обл}$  (с); общая продолжительность периода осциллированы (при условии  $\frac{\tau_{опл}}{\tau_{обл}}$ , с; скорость сушильного агента  $v_e$ , м/с.

Решение задач оптимизации процесса, протекающего для продукта, рассматривает уточнение и синтез ряда теплофизических характеристик продукта и виды его энергии. В частности, больше всего из литературных источников, определяется теплопроводность, влагопроводность и коэффициенты тепла.

Синтез значений выше перечисленных показателей выполняется с точки зрения минимизации затрат на удельный вес высушиваемого продукта. Для продолжительности процесса будут определены размеры высушиваемых изделий.

**Заключение.** Решение задач оптимизации процессов сушки на этапе создания аппарата позволяет определить размеры камеры аппарата, размеры съемного пода для периодического аппарата, размеры и скорость ленточно-транспортерного пода для случая непрерывной сушки. Здесь также рассматриваются характеристики вентиляторов нагнетаемых и отсасывающих устройств воздуха в рабочей камере.

В данной работе в рассматриваемых задачах оптимизации ТМО систем для отыскания экстремума целевых функций в уровнях применена экспериментальный и поисковый метод оптимизации на основе компьютерной модели.

#### Литературы

1. Кафаров В.В., Мешалкин В.П. Оптимизация теплообменных процессов и систем.-М.: Энергоатомиздат. 1988. –192с.
2. Куцакова В.Е..Богатирев А.Н. Интенсификация тепломассообмена при сушке пищевых продуктов.-М.: Агропромиздат.1988.-236с.

3. M.F. Yamaletdinova, M.S. Narziyev, D.N. Hikmatov Experimental studies for studying the process of water absorption of apricot seeds. ACADEMICIA –An international Multidisciplinary Research Journal. India. Vol. 10, Issue 10, Oktober 2020. pp. 931-938.
4. M.F. Yamaletdinova, M.S. Narziyev, D.N. Hikmatov System Approach To The Analysis Of Processes Carrying Out On Technological Line Of Production Of Salted Stone From Apricot Fruit. International Journal of Advanced Science and Technology. (Indexed by Scopus) Australiya. Vol. 29, No. 11s, (2020), pp. 2028-2032.
5. М.Ф. Ямалетдинова, М.С. Нарзиев Анализ физических характеристик косточек абрикоса. UNIVERSUM: технические науки. Научный журнал. Москва: 2019. № 5(62) С.45-48.
6. М.Ф. Ямалетдинова, М.С. Нарзиев, М.И. Абдурахманова Изучение структуры и рекомендации по переработке абрикосовых плодов и его косточек. Ученый XXI века. Международный научный журнал. Йошкар Ола: 2017. №2-3. С.3-5.
7. M.F. Yamaletdinova Researching the process of heat treatment of apricot kernels based on the development of multifactorial experimental plan. International Journal of early childhood special education (INT-JECS) vol 14, Issue 07 2022. pp.1552-1557
8. Kholikov, D. Khikmatov. [The use of heat pipes in drying plants in the processing of fruits and vegetables](#)//Journal of Physics: Conference Series 2388 (1), 012170
9. Холиков А.А., Комилов С. Решения энергетических затрат тепломассобменных установок. FRANCE international scientific-online conference: SCIENTIFIC APPROACH TO THE MODERN EDUCATION SYSTEM. PARIS 2023. Том 2, №14, с.116-121
10. Холиков А.А.,Хикматов Д.Н., Кулашова Ф.С. Применение метода полного факторного эксперимента для оптимизация параметров процесса сушки лука с использованием тепловых труб// Academic research in educational sciences 3 (3), 2022. с. 452-467. DOI: 10.24412/2181-1385-2022-3-452-467
11. Xoliquov A.A. Meva va sabzavot maxsulotlarni quritish jarayononing tahlili// SCIENTIFIC ASPECTS AND TRENDS IN THE FIELD OF SCIENTIFIC RESEARCH ". International scientific-online conference. Part 14 October 30, Warsaw- 2023. 88-91 b.
12. Холиков А.А., Жумаев Ж. Математическое моделирование сушки лука с использованием метода полного факторного эксперимента// O'zbekiston agrar fani xabarnomasi. Ilmiy-amaliy jurnal №2 (8/2) 2023 с.80-84.
13. М.Ф. Ямалетдинова Совершенствование тепловой обработки косточек абрикоса при производстве национальных соленых косточек. Пищевая промышленность. Ежемесячный научно - производственный журнал. Москва: 2021. №5. С. 16-19.
14. М.Ф. Ямалетдинова Разработка плана эксперимента процесса влагопоглощения косточек абрикоса. Пищевая промышленность. Ежемесячный научно - производственный журнал. Москва: 2022. №7. С. 25-28.
15. М.Ф. Ямалетдинова Разработка технологической линии для переработки фруктовых выжимок с целью получения их порошков. Universum: Технические науки, Научный журнал. 2024. 5 (122) – часть 6. с.18-21.