

Студенты в ходе практических и лабораторных занятий рассчитывают экономическую эффективность разных природоохранных мероприятий и пытаются выбрать из них наиболее рациональные и выгодные. Такое углубленное изучение предмета «Экология» позволит подготовить грамотного специалиста, который, попадая на различные предприятия и в организации, сможет выбирать наиболее экологичные методы хозяйствования, которые в меньшей степени будут воздействовать на окружающую среду, уменьшая не только выбросы и сбросы загрязняющих веществ, но и уменьшая экологические платежи самого предприятия.

Таким образом, данное системное обучение позволит в условиях научно-технического прогресса молодому специалисту, его интеллектуальному, образовательному потенциалу соответствовать новым требованиям.

**Заключение.** Экологическое образование в технических вузах должно рассматриваться как неотъемлемая часть системы обеспечения экологической безопасности. Формирование у будущих инженеров экологического мышления и профессиональной ответственности является залогом устойчивого развития общества и охраны окружающей среды.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Наймушина, Т. В. Экологическая картина мира как форма интеграции экологического знания: автореф. дис. ... канд. филос. наук. – Барнаул, 2006.
2. Вебстер К. От экологического образования к образованию для устойчивого развития. / К. Вебстер, М. А. Жевлакова, П. Н. Кириллов, Н. И. Корякина / – СПб.: Наука, САГА, 2005. – 137 с.

УДК 10167

### АНАЛИЗ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ ВЫСУШЕННЫХ ПЛОДОВ БОЯРЫШНИКА И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ

*доктор техн. наук, проф. Ш. А. Султанова, Т. Т. Рахманова, ТГТУ, г. Ташкент*

**Резюме.** В этой статье представлен математический моделирующий анализ процесса сушки плодов боярышника и результата сушки, который рассчитывается из лекарственных растений. В процессе сушки применялось комбинированное конвективное сушильное устройство. Перед сушкой плоды боярышника бланшируют в 1% и 1,5% растворе лимонной кислоты. Антиоксидантная активность сушеных плодов боярышника, бланшированных в 1,5% растворе лимонной кислоты, показала высокие результаты, и была разработана математическая модель этого метода. В математической модели планировочные характеристики строятся с помощью уравнений регрессии. Приведены результаты эксперимента на основе условий оптимальности.

**Ключевые слова:** боярышник, сушка, хранение, антиоксидант, конвективный, бланширование, лимонная кислота, математическая модель, регрессия.

**Введение.** Боярышник (*Crataegus*) – относится к семейству розоцветных (*Rosaceae*) и насчитывает около 280 видов по всему миру. Среди них наиболее распространенными являются *Crataegus monogyna*, *Crataegus laevigata*, *Crataegus mexicana* и *Crataegus douglasii*. Химический анализ показывает (таблица 1), что в боярышнике содержится более 150 биоактивных молекул, включая фенольные кислоты (феруловая, галловая, хлорогеновая, кофейная), кверцетин, пирокатехин, флородизин, терпеноиды, стероидные кислоты и сахара (мальтоза, сахароза, глюкоза, фруктоза) [1].

Таблица 1 – Химический состав плодов боярышника

Элемент питания	100 гр плодов боярышника
Калорийность	52 ккал
Углеводы	11,3 гр
Сахар	6,4 гр
Белок	0,9 гр
Жир	0,4 гр
Витамин С	90 мг
Витамин А	2 мг
Витамин В1 (тиамин)	0,04 г
Витамин В2 (рибофлавин)	0,05 мг
Витамин В3	0,3 гр
Калий	300 мг
Кальций	25 мг
Железо	0,9 мг
Магний	18 мг
Фосфор	30 мг
Цинк	0,15 мг

Листья, цветы и плоды дерева боярышника используются в фармацевтической промышленности как лекарственное растение для нормализации деятельности сердечно-сосудистой системы. Кроме того, он улучшает кровообращение в сосудах, усиливает циркуляцию кислорода и, благодаря высокой антиоксидантной активности, считается очень полезным продуктом для сердца. Плоды боярышника применяются в лечении некоторых заболеваний, включая подагру, депрессию и почечные камни [1].

**Основная часть.** Поскольку в плодах боярышника содержится большое количество витамина С, он считается продуктом, богатым антиоксидантами. Вот общее представление об основных соединениях, содержащихся в плодах боярышника (рисунок 1).



Рисунок 1 – Общий обзор основных соединений, содержащихся в плодах боярышника

Антиоксиданты – наше самое мощное оружие, которое мы можем использовать для подавления окислительного стресса, вызываемого свободными радикалами в нашем организме. Вещества, которые удаляют свободные радикалы и могут предотвратить разрушение клеток, вызванное свободными радикалами, называются антиоксидантами. Доступные антиоксиданты либо вырабатываются нашим организмом, либо поступают извне в качестве добавок. Антиоксиданты, вырабатываемые нашим организмом (эндогенные) и те, которые мы получаем извне (экзогенные), действуют как поглотители свободных радикалов. Благодаря этой задаче, которую выполняют антиоксиданты, усиливается действие иммунной системы, а также снижается вероятность заболевания [2].

Метод DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилгидразил), используемый для улавливания свободных радикалов, проводится с участием синтетического и стабильного радикала DPPH. Антиоксидантная активность определяется на основе способности антиоксидантного вещества нейтрализовать этот радикал. Раствор DPPH в этаноле или метаноле имеет темно-фиолетовый цвет. При восстановлении антиоксидантным веществом этот темно-фиолетовый цвет начинает светлеть. Наиболее распространенный способ использования метода – измерение значения абсорбции в диапазоне 515–517 нм, где происходит реакция между DPPH и антиоксидантом. Максимальное значение абсорбции наблюдается при 517 нм [3].

В методе DPPH раствор DPPH смешивается с определенным количеством пробы. Через 30 минут или после стабилизации значения абсорбции измеряется абсорбция при 515 нм. В процессе реакции восстановления первоначальный темно-фиолетовый цвет раствора постепенно светлеет, и раствор начинает приобретать желтый оттенок. Снижение абсорбции в области около 517 нм измеряется и фиксируется.

Измеряются и записываются изменения значений абсорбции раствора DPPH<sup>•</sup>, смешанного с антиоксидантным веществом в различных концентрациях (рисунок 2). На основе этих данных строится график зависимости абсорбции от концентрации. На этом графике по уравнению прямой линии  $y = ax + b$  определяется количество образца, которое снижает концентрацию DPPH<sup>•</sup> наполовину, выраженное в М. Это значение обозначается как IC50 (эффективная концентрация) [4-6].

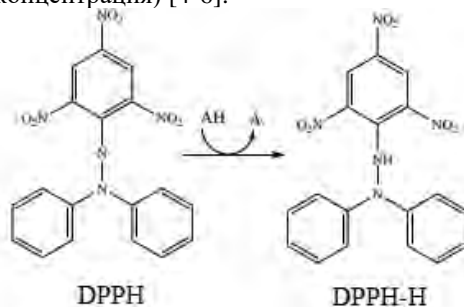


Рисунок 2 – Механизм взаимодействия радикала DPPH с антиоксидантами

DPPH – это стабильный азотсодержащий радикал, который, в отличие от пероксидных радикалов, участвующих в перекисном окислении липидов, может использоваться длительное время. Кроме того, он обладает способностью проявлять высокую реактивность.

Из-за этих свойств многие антиоксиданты, которые быстро реагируют с пероксидными радикалами, могут очень медленно вступать в реакцию с DPPH или вовсе не реагировать с ним.

Свободно радикальная активность DPPH была рассчитана следующим образом:

$$AA\% = \frac{(A_0 - A_1)}{A_0} * 100$$

$A_0$ -управление значением абсорбции;  $A_1$ -значение поглощения образца или стандарта.

В проведённом исследовании была изучена антиоксидантная активность высушенных плодов боярышника. В ходе эксперимента установлено, что при бланшировании плодов боярышника в 1,5% растворе лимонной кислоты с последующей сушкой, их антиоксидантная активность сохраняется на высоком уровне. Это значение составило 168 мкл.

На рисунке 3 приведен график определения антиоксидантной активности плодов боярышника.

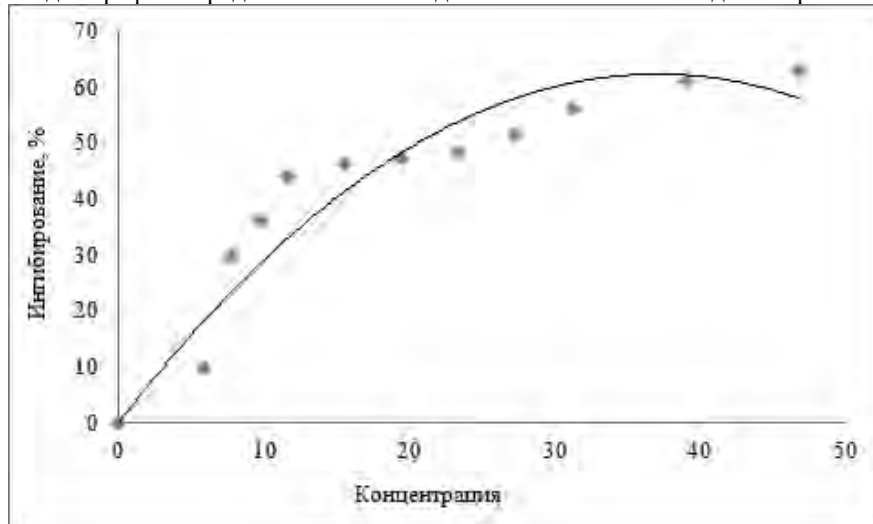


Рисунок 3 – Способность к удалению DPPH-радикала

Для моделирования и оптимизации технологических процессов использован метод планирования эксперимента. В качестве целевой функции  $y$  выбрана влажность высушенной массы, %. На параметр оптимизации существенное влияние оказывают следующие факторы:  $x_1$ -температура сушки, °С;  $x_2$ -амплитуда, м;  $x_3$ -частота, Гц (таблица 2).

Таблица 2 – Основные параметры моделирования процесса сушки

Наименование факторов	Единица измерения	Обозначение	Уровень факторов		
			+1	-1	0
Температура сушки, Т,	°С	$x_1$	70	50	60
Амплитуда, А	м	$x_2$	0,025	0,009	0,014
Частота, F	Гц	$x_3$	10,5	6,15	8,15

Для каждого фактора нижняя граница диапазона изменений ограничена ошибками измерительных приборов, используемых в экспериментах для измерения значений факторов. Что касается верхней границы диапазона изменений, то заранее точную информацию предоставить невозможно. Поэтому принимаем как  $0.05 \cdot x_{0j} \leq \Delta_j \leq 0.07 \cdot x_{0j}$ . Исходя из этого, на основе экспериментальных данных, приведенных в таблице 2, получаем следующее:

$$\Delta_1 = 0,05 * (70 - 50) = 1,$$

$$\Delta_2 = 0,05 * (0,025 - 0,009) = 0,008,$$

$$\Delta_3 = 0,05 * (10,5 - 6,15) = 0,22$$

После составления матрицы планирования полного факторного эксперимента  $2^3$ , получаем следующие экспериментальные результаты (таблица 3).

Таблица 3 – Результат экспериментов

№	Экспериментальный материал						Результат			
	Температура сушки, T, °C		Амплитуда, A, м		Частота, F, Гс		Влажность высушенной массы, W, влажность %			
	код	значение	код	значение	код	значение	№	значение	№	значение
1	-1 — i	50	-1	0,009	-1	6,15	7	13	1	14
2	+1	70	-1	0,009	-1	6,15	5	17	3	18
3	-1	50	+1	0,025	-1	6,15	9	19	13	20
4	+1	70	+1	0,025	-1	6,15	6	14	16	15
5	-1	50	-1	0,009	+1	10,5	4	12	11	14
6	+1	70	-1	0,009	+1	10,5	2	20	12	21
7	-1	50	+1	0,025	+1	10,5	14	18	15	19
8	+1	70	+1	0,025	+1	10,5	8	14	10	13

Среднее квадратичное отклонение коэффициентов регрессии равно 0,3535534. А количество оставшихся коэффициентов равно 4.

Результаты эксперимента показывают, что в центральной области частный экстремум определяется только значимостью коэффициента  $b_0$ . Его оценочное значение составляет  $b_0 = 14$ . Таким образом, установлено, что при сушке плодов красного боярышника влажность массы составляет 14% (рисунок 4) [7].

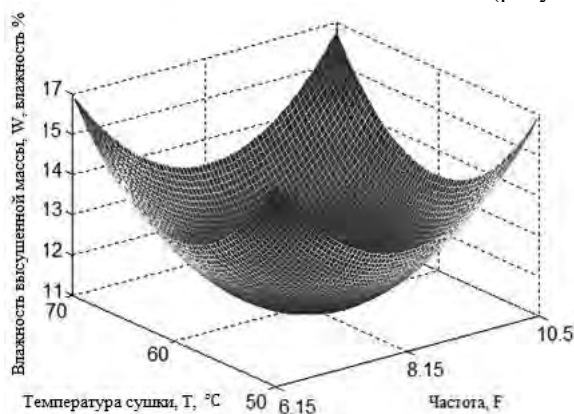


Рисунок 4 – График зависимости влажности высушенной массы от температуры сушки и частоты в сушильной установке

**Заключение.** В результате обработки результатов экспериментов, проведенных на экспериментальной установке методом «планирования экспериментов», были получены уравнения регрессии, выражающие долю процесса бланшированной сушки. Установлено, что среднее квадратичное отклонение коэффициентов регрессии равно 0,3535534.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Грачев, Ю. П., Математические методы планирования экспериментов. / Ю. П. Грачев, Ю. М. Плаксин / Учебное пособие. – М.: Дели Принт, 2005. – 296 с.
2. Пятаков, Ю. В. Системы управления технологическими процессами: учебник для технических вузов. / Ю. В. Пятаков, А. Н. Гаврилов / – Ташкент: Учитель, 1997. – 373 с.
3. Stahl, W. Antioxidant activity of carotenoids. Molecular Aspects of Medicine, / W. Stahl, H Sies, 24, – 2003 – p. 345–335.
4. Sultanova, Sh. A., Safarov J. E., Usenov A. B., Raxmanova T. T. Definitions of useful energy and temperature at the outlet of solar collectors. E3S Web of Conferences 216, 01094 (2020) RSES 2020,
5. T. T. Raxmanova, A. A. Mambetsheripova, J. E. Safarov, Sh. A. Sultanova Mathematical modelling of the process of drying rosehips, AEGIS-III-2023 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1231 (2023) 012037 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/1231/1/012037
6. Rakhmanova T. T., Sultanova Sh. A., Sunil Verma, Safarov J. E., Dadayev G. T. A method to study and analyse the drying process of raw materials 2021 AEGIS 2021 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 868 012080.
7. Raxmanova, T. T. Laboratory analyzes for determining the antioxidant activity of dried red hawthorn fruits, / T. T. Raxmanova, N. A. Afanaseva, Sh. A. Sultanova. / Technical science and innovation № 4 – 2022. P:30-37.