

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ ПО СЫРЬЮ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СУШКИ КУЛЬТИВИРУЕМЫХ ГРИБОВ ВЕШЕНКА

**Бурлака Т.В.¹, аспирант,
Дубковецкий И.В.¹, к.т.н, доцент,
Малежик И.Ф.¹, д.т.н., профессор
Жукова Я.Ф.², к.б.н. зав. отделом
аналитических исследований и
качества пищевой продукции**

1 – Национальный университет пищевых технологий, г. Киев, Украина

2 – Институт продовольственных ресурсов НААН, г. Киев, Украина

Увеличение объемов производства в пищевой и перерабатывающей промышленности на фоне подорожания энергоресурсов вызывает потребность в разработке перспективных энерго- и ресурсосберегающих технологий и оборудования. Наибольшие энергозатраты в этих отраслях приходятся на тепло- и массообменные процессы, в частности на процесс сушки. В то же время традиционный подход в технологических и проектно-конструкторских разработках, основанный на экспериментальных исследованиях, требует существенных капитальных вложений и не всегда позволяет получать оптимальные инженерные решения, что является существенным препятствием для переоснащения перерабатывающей промышленности. Одним из перспективных направлений решения данной проблемы является разработка новых методов повышения эффективности сушильного оборудования, оптимизации процесса сушки пищевого сырья по энергозатратам и качеству сушеной продукции.

В связи с расширением производства полуфабрикатов, повышением требований к их качеству и совершенствованием технологии производства появляется необходимость в разработке новых способов сушки пищевых продуктов растительного происхождения, обеспечивающих высокое качество готового продукта, автоматизацию и значительную интенсификацию процесса сушки.

В настоящее время сушка пищевых продуктов растительного происхождения осуществляется в основном конвективным методом, имеющим ряд существенных недостатков: большую продолжительность сушки, неравномерный прогрев продукта по толщине слоя, низкую производительность сушильных установок, громоздкость их конструкции, низкое качество высушенных продуктов.

Определенные перспективы для устранения этих недостатков открывает способ сушки комбинированным методом – конвекцией и терморрадиацией.

В настоящее время процесс сушки с одновременным использованием конвекции и терморрадиации не изучен.

На основе теоретических и экспериментальных исследований разработана новая технология и установка для сушки комбинированным способом подвода энергии – конвекцией и терморрадиацией. Предлагаемая установка позволяет сократить длительность процесса сушки пищевых продуктов растительного происхождения, увеличить выход готового продукта, осуществить автоматизацию ведения процесса сушки, улучшить качество готового продукта.

В качестве объекта сушки использовано культивированные грибы вешенка обыкновенная, как наиболее распространенные грибы на территории Украины.

Грибы, как объект сушки, согласно классификации А.В. Лыкова следует отнести к коллоидным капиллярно-пористым телам. Их коллоидная структура обусловлена содержанием белков.

Эффективность сушки зависит не только от способа сушки и температуры, а также от удельной нагрузки сушеной продукции.

Влияние удельной нагрузки обезвоженных материалов на сушильную поверхность в виде кривых сушки и скорости сушки грибов вешенка приведены на *рис.1.* и *рис.2.* Характер кривых показывает, что их можно разделить на два периода – постоянной и нисходящей скоростей сушки. На кривых скоростей сушки в точках перегиба отмечаются критические влажосодержания. Увеличение удельной нагрузки на сушильную поверхность от 2,2 до 8,8 кг/м² свежего сырья приводит к снижению величины $W_{кр1}$ и увеличению продолжительности процесса сушки в два раза.

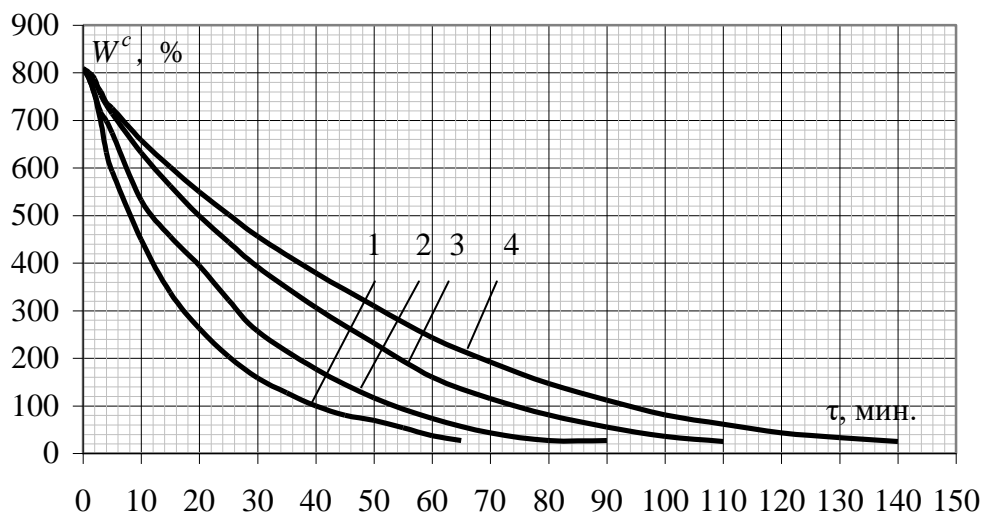


Рис.1. Кривые комбинированной сушки культивируемых грибов Вешенка при различной удельной нагрузке: 1 – 2,2 кг/м²; 2 – 4,4 кг/м²; 3 – 6,6 кг/м²; 4 – 8,8 кг/м².

В результате проведенных исследований установлено, что продолжительность сушки грибов вешенка обыкновенная при удельной нагрузке 2,2 кг/м² составляет 65 мин, в то время как при 8,8 кг/м² – 140 мин. Максимальная температура в центре сушеной продукции при удельной нагрузке 2,2 кг/м² достигает 88,1°С, что пагубно влияет на содержание белков, витаминов и т.д. Из *рис.2* наблюдается, что процесс сушки лучше проходит при удельной нагрузке 2,2 - 4,4 кг/м².

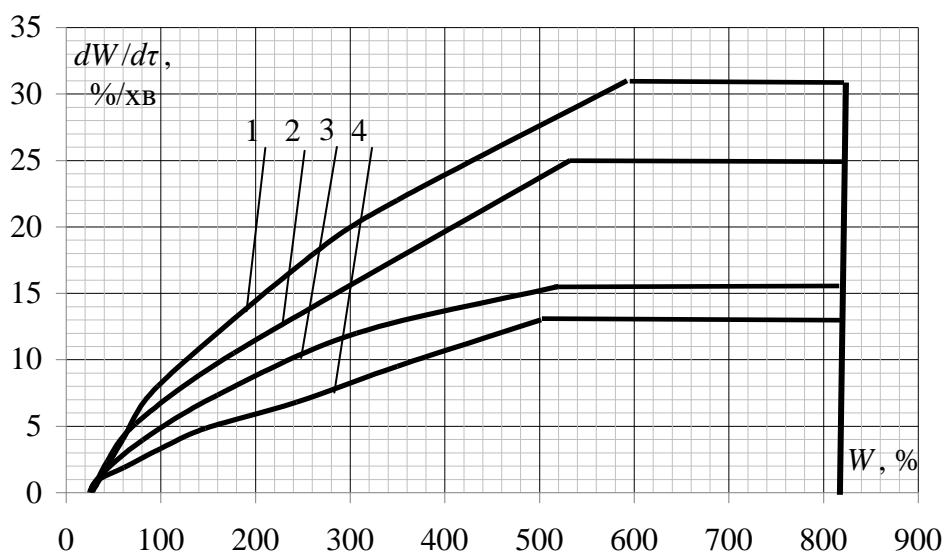


Рис.2. Кривые скорости сушки культивируемых грибов вешенка комбинированным способом при нагрузке сырья: 1 – 2,2 кг/м²; 2 – 4,4 кг/м²; 3 – 6,6 кг/м²; 4 – 8,8 кг/м².

В связи с тем, что температура оказывает решающее влияние на скорость прохождения биохимических реакций в сырье, нами были изучены закономерности изменения во времени температуры плодового тела грибов (рис.3) при проведении процесса сушки при различных параметрах. Полученные результаты имеют практическое значение для разработки оптимальных режимов сушки и позволяют предсказать направление биохимических изменений под действием температуры.

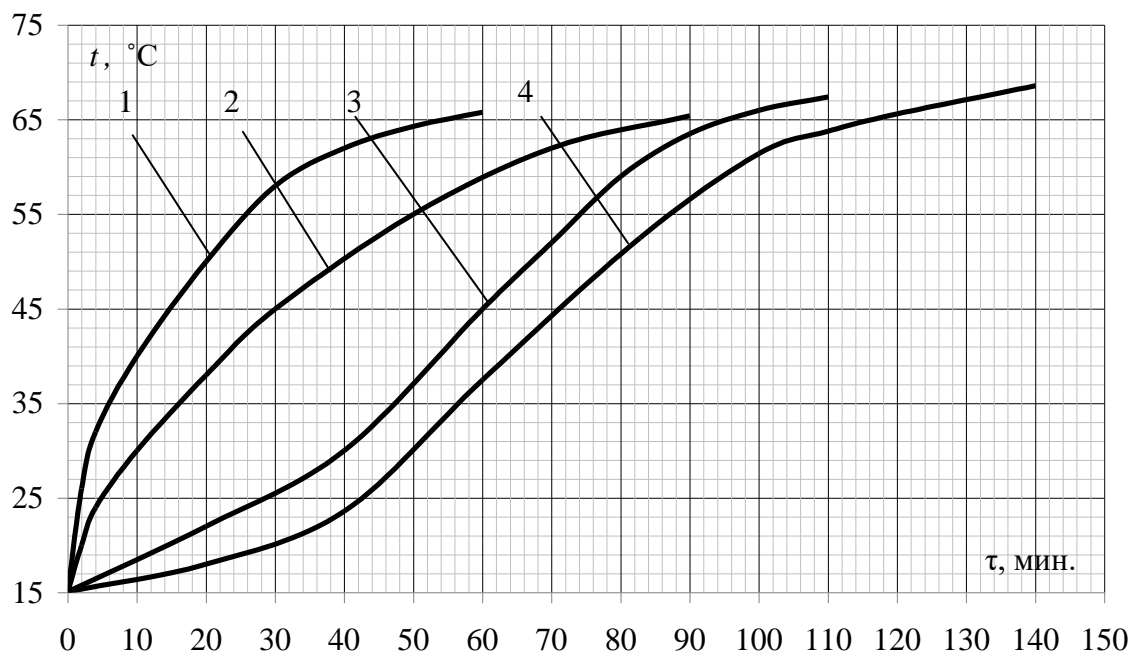


Рис.3. Термограммы сушки культивируемых грибов вешенка при различной удельной нагрузке при температуре теплоносителя 60 °С и величины облучения 8 кВт/м²; 1– 2,2 кг/м²; 2 – 4,4 кг/м²; 3 – 6,6 кг/м²; 4– 8,8 кг/м².

Эксперименты проводили в интервале удельных нагрузок от 2,2 кг/м² до 8,8 кг/м². Было определено, что удельная нагрузка менее 2,2 кг/м² для конкретной установки не рациональна, поскольку основная часть сушильного агента была потеряна. Также было определено, что удельная нагрузка 8,8 кг/м² и более для конкретной установки затрудняет процесс сушки.

Определено влияние удельной нагрузки на продолжительность сушки культивируемых грибов вешенка при температуре сушильного агента 60 °С (табл.1).

Влияние удельной нагрузки на продолжительность процесса сушки культивируемых грибов вешенка при $t_{с.а.} = 60$ °С.

Таблица 1

Удельная нагрузка, M/F , кг/м ²	Продолжительность сушки, мин.					
	60	50	40	30	20	10
	Влагосодержание, $W^c_{кон.}$, %					
2,2	57,3	69,1	100	158,2	262,7	449,1
4,4	73,6	116,8	177,3	256,8	394,6	532,3
6,6	160,0	231,8	306,7	391,8	499,1	631,8
8,8	243,4	310,0	379,3	456,2	549,5	658,4

Целесообразно сравнить экспериментально полученные постоянные скорости сушки в первом периоде с теоретически рассчитанными коэффициентами внешнего влагопереноса между поверхностью продукта и воздуха. Данные приведены в табл.2. и на рис. 4, 5.

Таблица 2

Коэффициенты скорости сушки вешенки обыкновенной культивируемой
комбинированным способом при разной удельной нагрузке

№ п/п	M/F , кг/м ²	W^c кр., %	dW^c/dt , %/мин.	K_1 , %/с ⁻¹	$K_{1r} * 10$ с ⁻¹	$\tau_{пр}$, мин.	τ_1 , мин.	τ_2 , мин.	$\tau_{заг.}$, мин.
1	2,2	592,7	31,0	0,051	0,026	2	11	54	65
2	4,4	535,3	25,0	0,047	0,025	2	15	75	90
3	6,6	520,0	15,5	0,032	0,016	2	20	90	110
4	8,8	501,8	13,0	0,026	0,013	2	24	126	140

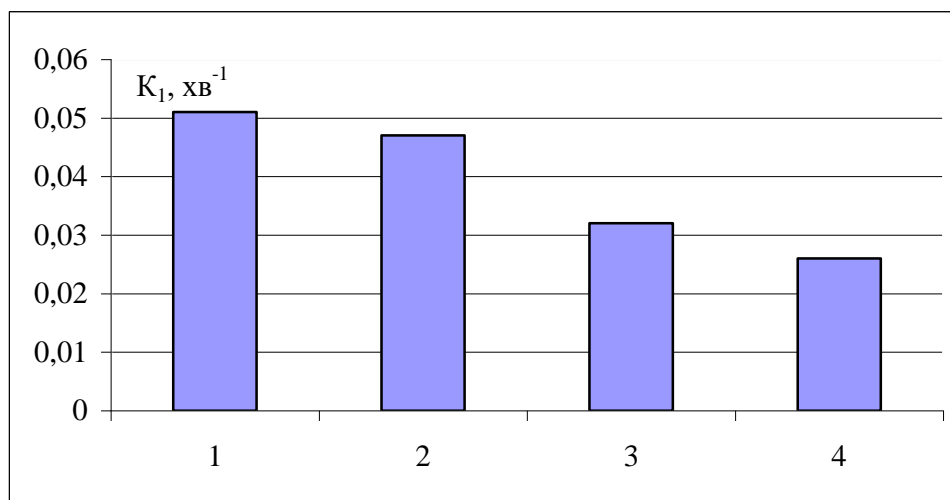


Рис.4. Коэффициенты скорости сушки культивируемых грибов вешенка обыкновенная в первый период сушки при разной удельной нагрузке: 1– 2,2 кг/м²; 2 – 4,4 кг/м²; 3 – 6,6 кг/м²; 4– 8,8 кг/м².

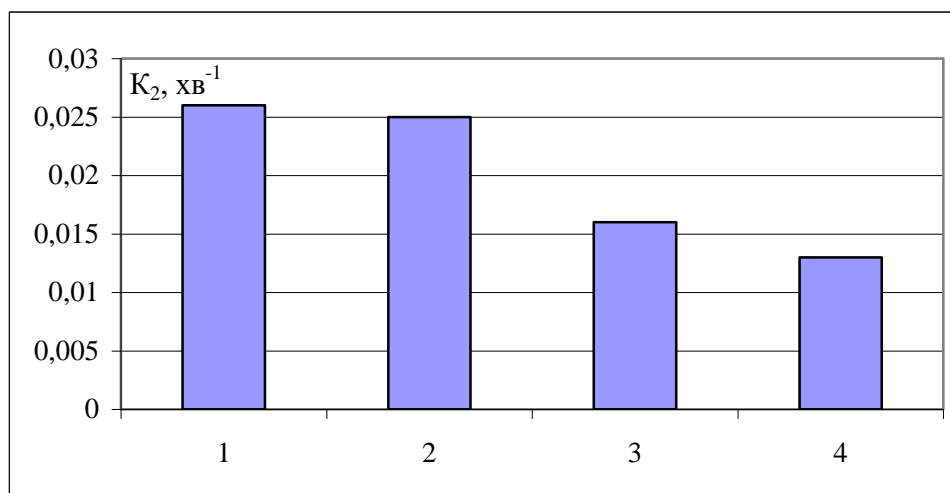


Рис.5. Коэффициенты скорости сушки культивируемых грибов вешенка обыкновенная у второй период сушки при разной удельной нагрузке: 1– 2,2 кг/м²; 2 – 4,4 кг/м²; 3 – 6,6 кг/м²; 4– 8,8 кг/м².

Исследована зависимость общей продолжительности сушки от удельной нагрузки продукта при различных значениях температуры сушильного агента. Установлено, что скорость сушки существенно зависит от удельной нагрузки только в период постоянной скорости, а в период падающей скорости эта зависимость

незначительна. Поэтому удельную нагрузку следует выбирать при минимальных удельных энергозатратах на процесс сушки.

График зависимости затрат энергии от удельной нагрузки при радиационно-конвективном способе сушки культивируемых грибов вешенка приведен на рис. 6.

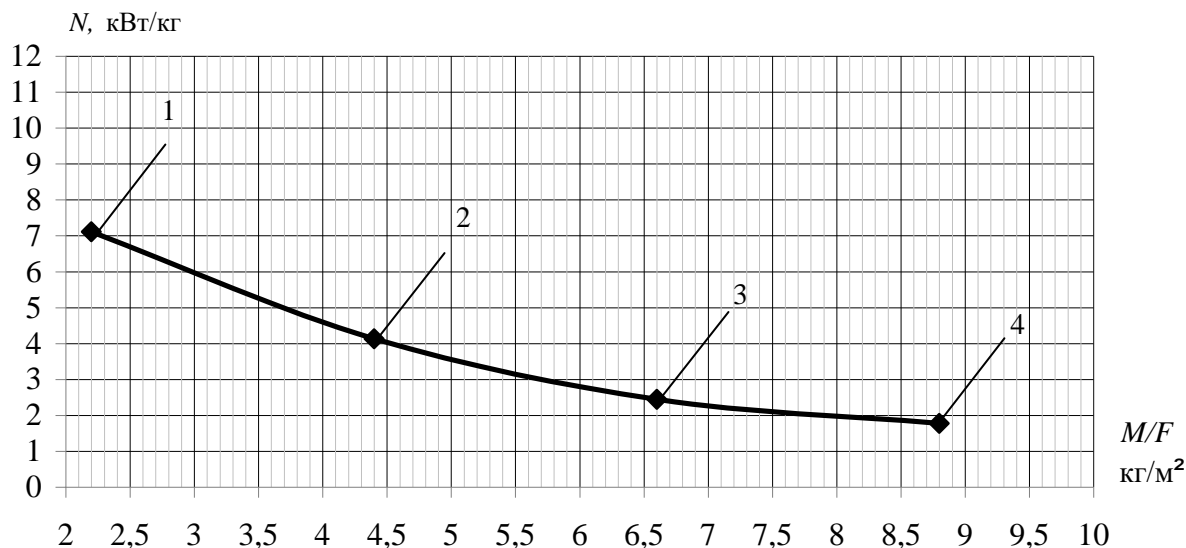


Рис. 6. Зависимость затрат энергии от удельной нагрузки при радиационно-конвективном методе при температуре теплоносителя 60 °С и величины облучения 8 кВт/м², кВт/кг готового продукта: 1– 2,2 кг/м²; 2 – 4,4 кг/м²; 3 – 6,6 кг/м²; 4– 8,8 кг/м².

Аппроксимируя данные, вывели уравнение, что подчиняется логарифмическому закону:

$$N = -3,9376 \ln(M/F) + 10,1 \text{ при } R^2 = 0,9919$$

Одним из основных показателей качества готового продукта в сушильном производстве является восстановительная способность.

Результаты исследований процесса набухания высушенных культивируемых грибов показали, что способность материала к восстановлению зависит от вида сырья, его структуры, физико-химических свойств, а также от величины тех изменений, которые произошли в процессе обезвоживания.

Интересным оказался факт, что способность к набуханию культивируемых грибов, высушенных комбинированным методом, лучшая, чем грибов, высушенных чистой конвекцией.

На основе проведенных исследований можно сделать вывод, что процесс сушки культивируемых грибов вешенка целесообразнее проводить при удельной нагрузке в пределах 4,4 ... 8,8 кг/м².

Increased production in the food processing industry on the background of a rise in price of energy is a need to develop advanced energy-saving technologies and equipment. The highest energy in these areas accounted for heat and mass transfer processes, in particular the drying process. At the same time, the traditional approach to technology and design development, based on experimental studies, requires substantial capital investment and is not always possible to obtain the best engineering solutions, which is a significant obstacle to re processing industry. One of the promising ways to solve this problem is to develop new methods to increase the efficiency of drying equipment, the optimization of the drying process of food raw materials for energy consumption and quality of dried products.