

УДК 631.363

Гербер Ю. Б.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЗАТРАТЫ НА ПРОЦЕСС СУШКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕЛИОУСТАНОВКИ

***Аннотация.** Приведены результаты экспериментальных исследований по определению оптимальных параметров процесса для двухэтапной сушки сельскохозяйственных, в частности кормовых, материалов с использованием гелиоустановки. Экспериментально подтверждена гипотеза об энергетической целесообразности применения двухэтапной сушки сельскохозяйственных материалов. Определены оптимальные значения основных параметров процесса: промежуточной влажности материала, подвергаемого сушке; отношения площади гелиоколлекторов к расходу воздуха. В результате исследований даны рекомендации производству по сушке кормовых материалов.*

***Ключевые слова:** сушка, энергетические затраты, гелиоколлектор, промежуточная влажность.*

ЕНЕРГЕТИЧНІ ВИТРАТИ НА ПРОЦЕС СУШІННЯ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ГЕЛІОУСТАНОВКИ

Анотація. Наведено результати експериментальних досліджень по визначенню оптимальних параметрів процесу для двухетапного сушіння сільськогосподарських, зокрема кормових, матеріалів з використанням геліоустановки. Експериментально підтверджена гіпотеза про енергетичну доцільність застосування двухетапного сушіння сільськогосподарських матеріалів. Визначено оптимальні значення основних параметрів процесу: проміжної вологості матеріалу, що піддається сушці; відносини площі геліоколекторів до витрати повітря. В результаті досліджень дані рекомендації виробництву по сушці кормових матеріалів.

Ключові слова: сушка, енергетичні витрати, геліоколектор, проміжна вологість.

Gerber Y. B.

ENERGY CONSUMPTION FOR THE DRYING PROCESS USING SOLAR PLANTS

Summary. The results of experimental studies to determine the optimal process parameters for 2-stage drying of agricultural, in particular, feed materials with the use of solar systems are given. The hypothesis of the energy appropriateness of the 2-stage drying of agricultural materials is experimentally confirmed. To do this, a multivariate experiment was planned and carried out. The optimal values of the basic parameters of the process are identified: the intermediate moisture of the material to be dried; ratio of the area of solar collectors for the air flow. As a result of studies the recommendations were made to produce the dried forage materials.

Key words: drying, energy costs, solar collectors, intermediate humidity.

Постановка проблеми. Известно, что эффективным способом повышения интенсивности процесса сушки сельскохозяйственных материалов является предварительная обработка инфракрасными (ИК) лучами. Эффект достигается за счет того, что ИК лучи проникают вглубь материала, подвергаемого сушке, и нагревают его изнутри. Повышение температуры внутренних слоев материала способствует постепенному перемещению влаги из внутренних слоев к наружным. Таким образом, создаются предпосылки для более интенсивного испарения влаги с поверхности материала. В то же время основным способом сушки остается конвективный. В связи с этим была выдвинута гипотеза сушки сельскохозяйственных материалов в два этапа: первый этап – предварительная сушка инфракрасными лучами; второй этап – окончательная сушка конвективным способом с помощью теплоносителя (теплого воздуха), нагретого в гелиоколлекторах под действием солнечного излучения.

Анализ литературы. Исследованию процесса теплообмена в условиях массообмена посвящено большое количество работ теоретического и экспериментального характера [1]. Различные аспекты изучаемой проблемы рассматривались в работах А. В. Лыкова, А. С. Клячко, А. В. Нестеренко, А. А. Гухмана, И. Ньютона, В. Нуссельта, Г. Грасгофа, Ю. Накатани и др. Использование солнечной энергии для сушки изучали А. В. Гарькавый, Л. И. Грачева, А. В. Спирин, А. Р. Вернер, А. С. Мазинов. Установлено,

что для снижения потребления традиционных энергоносителей для сушки целесообразно использовать возобновляемые источники энергии, а в качестве технических устройств – гелиоколлекторы разных систем [2]. Кроме того, прогрессивным способом является сушка инфракрасными лучами, которая способствует интенсификации процесса, особенно на первом этапе [3].

Цель статьи – экспериментальное обоснование параметров процесса для двухэтапной сушки сельскохозяйственных, в частности кормовых, материалов, а также определение зависимости энергетических затрат на сушку от конструктивно-режимных параметров.

Изложение основного материала. Основным показателем процесса сушки как теплового процесса являются удельные энергетические затраты. Как указано выше, наиболее оптимальным является процесс двухэтапной сушки: вначале способом инфракрасной сушки, затем конвективным способом. С целью определения оптимальных параметров процесса проведен многофакторный эксперимент, в ходе которого учтены все значимые факторы, пределы их варьирования, влияние на критерий оптимизации [4]. Критерием оптимизации выбран показатель удельных энергетических затрат на процесс сушки. Параметры процесса определены в результате априорных данных, предварительных исследований, поисковых экспериментов. Учитывая вышеизложенное, основными параметрами выбрана промежуточная влажность материала по-

сле инфракрасной суши $W_{п}$; отношение площади гелиоколлектора $S_{к}$ к расходу воздуха – теплового агента суши $Q_{в}$.

Уровни и интервалы варьирования перечисленных факторов представлены в табл. 1.

Таблица 1.
Интервалы и уровни варьирования основных факторов.

Фактор X	X_{\min}	X_0	X_{\max}	Интервал варьирования
X_1 ($W_{п}$) – промежуточная влажность материала суши, %	20	30	40	10
X_2 ($S_{к}/Q_{вк}$) – отношение площади коллектора к расходу воздуха	50	60	70	10

Для определения возможности проведения регрессионного анализа рассчитали однородность дисперсии параллельных опытов по критерию Кохрена $\sum_{u=1}^N S_U^2 = 0,0071$:

$$G_{\max} = S_{U_{\max}}^2 / \sum_{u=1}^N S_U^2 = 0,0016 / 0,0071 = 0,2311. \quad (1)$$

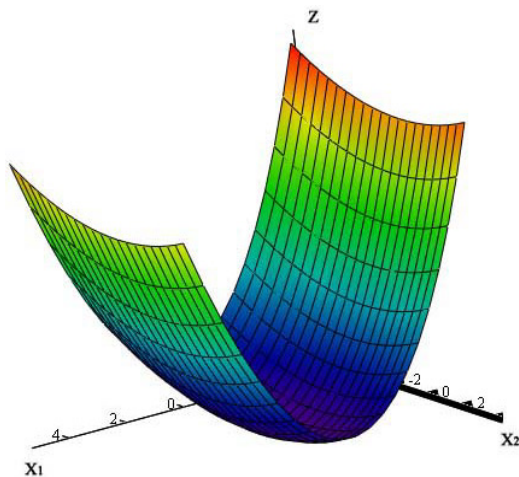
Табличное значение G – критерия Кохрена при уровне значимости 0,05, числе степеней свободы 2 и числе опытов 9 $G_{0,05\%} = 0,478$.

Так как расчетное значение критерия Кохрена меньше табличного, то гипотеза однородности параллельных опытов принимается $G_{0,05\%} - G_{\max} = 0,478 - 0,2311 = 0,247 > 0$ [4].

Проведенные вычисления по формуле:

$$b_i = \sum_{u=1}^N X_{iu} \bar{Y}_u / \sum_{u=1}^N X_{iu}^2 \quad (2)$$

позволили получить следующие значения коэффициентов регрессии выбранной математической модели: $b_0 = 3,87$; $b_1 = -0,26$; $b_2 = -0,14$; $b_{12} = 0,01$; $b_2^2 = 0,07$; $b_1^2 = 0,61$.



После этого определены дисперсия, а также среднее квадратичное отклонение ошибки коэффициентов регрессии по формуле:

$$S\{b_i\} = \sqrt{S^2\{\bar{Y}\}} / \sum_{u=1}^N X_{iu} = 0,009. \quad (3)$$

Определены значимость коэффициентов регрессии по t_i критерию Стьюдента для 5% уровня значимости $t_{0,05} = 5,2$.

В рассматриваемом случае коэффициент b_{12} оказался незначимым.

Адекватность полученной модели процесса проверяли по F -критерию Фишера. Табличное значение F_{\max} принято согласно определенным числам степеней свободы $f = N - k - 1$, $v_1 = m - 1 = 2$, $v_2 = N - 9 = 2$. При уровне значимости $q = 5\%$ значение критерия $F_{0,05} = 5,14$.

Гипотеза адекватности модели принимается, так как определенное по формуле

$$\bar{F} = \zeta_{\text{ад}}^2 / S^2(Y) = 0,00026 / 0,0008 = 0,334 \quad (4)$$

значение критерия меньше табличного значения $F_{0,05} = 5,14$ [5].

$F_{0,05\%} - \bar{F} = 4,806 > 0$, следовательно полученное аналитическое выражение достаточно точно описывает характер влияния выбранных факторов на параметр оптимизации – энергетические затраты на сушку.

Уравнение регрессии, описывающее энергетические затраты в процессе двухэтапной суши в зависимости от указанных выше факторов принимает вид:

$$y = 3,87 - 0,26 \cdot x_1 - 0,14 \cdot x_2 + 0,61 \cdot x_1^2 + 0,07 \cdot x_2^2. \quad (5)$$

Для изучения данной зависимости воспользуемся методикой построения трехмерных поверхностей отклика.

На рис. 1 приведены графики зависимости удельных энергозатрат от параметров процесса суши – промежуточной влажности $W_{п}$ и отношения $S_{к}/Q_{вк}$.

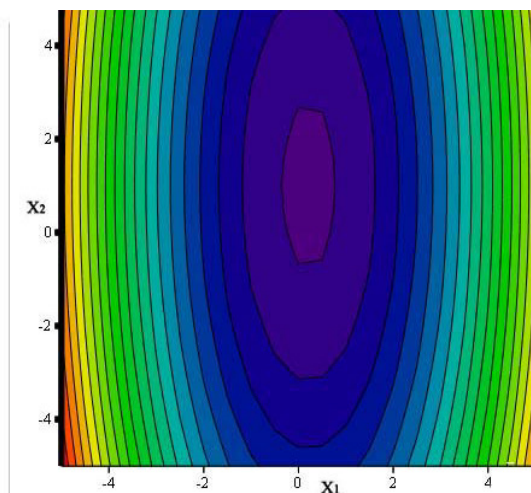


Рис. 1. Поверхность отклика и ее контурный график.

Уравнение регрессии в раскодированном виде:

$$y = 0,0061 \cdot W_{\text{п}}^2 + 0,0007 \cdot (S/Q)^2 - 0,392 \cdot W_{\text{п}} - 0,098 \cdot S/Q + 13,03. \quad (6)$$

Выводы.

1. На энергетические затраты сушки сельскохозяйственного сырья наиболее значительное влияние оказывают следующие режимно-конструктивные параметры сушильной установки с использованием гелиоколлекторов: промежуточная влажность материала $W_{\text{п}}$, отношение площади гелиоколлекторов к расходу воздуха $S_{\text{к}}/Q_{\text{вк}}$.

2. Потребление энергии снижается при увеличении промежуточной влажности до 30%, повышение этого показателя вызывает рост суммарного энергопотребления, что объясняется увеличением времени ИК-обработки материала, а удельные энергозатраты при этом выше, чем при конвективной сушке.

3. Оптимальные значения промежуточной влажности материала, подвергаемого сушке, находятся в интервале 28–33%.

4. Снижение энергопотребления наблюдается при повышении отношения площади гелиоколлекторов к расходу воздуха до значения $61,5 \text{ м}^2 \cdot \text{с}/\text{м}^3$, дальнейшее увеличение этого показателя ведет к постепенному повышению энергозатрат, что объясняется увеличением суммарного объема нагретого воздуха и необходимостью увеличения

мощности на его подачу в сушильную камеру, при этом производительность процесса не увеличивается, так как температура теплоносителя остается на прежнем уровне.

5. Оптимальные значения отношения площади гелиоколлекторов к расходу воздуха находятся в интервале $60\text{--}62 \text{ м}^2 \cdot \text{с}/\text{м}^3$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лыков А. В. Теория сушки / А. В. Лыков. – М. : Энергия, 1968. – 472 с.
2. Гербер Ю. Б. К вопросу энергосбережения при переработке с/х продукции / Ю. Б. Гербер, О. В. Носковский, И. Г. Панченко // Сборник научных работ Крымского государственного аграрного университета. – Симферополь, 2000. – С. 100–104.
3. Гербер Ю. Б. Интенсификация сушки предварительной подготовкой сырья / Ю. Б. Гербер, О. В. Носковский // Проблемы конструирования, производства и эксплуатации сельскохозяйственной техники : сборник научных трудов. – Кировоград, 1997. – С. 29–32.
4. Мельников С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Роцин. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – Л. : Колос, Ленингр. отд-ние, 1980. – 168 с.