

УДК 664.047-032.1:621.1.016.4-023.33

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СУШИЛЬНЫХ УСТАНОВОК ВЗВЕШЕННОГО СЛОЯ

*Чабанова О.Б., Зеленская Л.Д.*

*Одесская национальная академия пищевых технологий*

*65039, г. Одесса, ул. Канатная, 112*

*E-mail: [onaft-ecology@yandex.ru](mailto:onaft-ecology@yandex.ru)*

Розглянуто використання пластинчастого теплообмінника повітря-повітря фірми HOVAL. Проведені варіанти розрахунків типорозмірів теплообмінника, показана ефективність його роботи на прикладі сушильної установки завислого шару.

**Ключові слова:** пластинчасті теплообмінники “повітря-повітря”, використання, сушильна установка завислого шару.

The use of plate heat exchanger of “air-air” of firm of HOVAL is considered. Conducted variants of calculations class of size, rotined efficiency of his work on the example of the drying setting of hanging layer up.

**Keywords** plate heat exchanger of air-air, use, drying setting of hanging layer up.

**Введение.** Современные тенденции развития сушильной техники характеризуются следующими основными направлениями: увеличение эффективности работы оборудования, улучшение его экологических показателей, повышение уровня автоматизации.

Особое значение приобретает в последнее время экономия энергоресурсов, поэтому в первую очередь совершенствование сушильной техники направлено на снижение продолжительности сушки и, прежде всего, за счет интенсификации процессов внешнего и внутреннего тепло- и массопереноса и утилизации уходящего воздуха из сушильных установок [1,2].

**Цель работы.** Решение инженерной задачи снижения теплопотерь в сушильных установках при дорогах теплоносителях.

**Материал и результаты исследований.** Для сушки круп мы использовали сушильную установку взвешенного слоя, имеющую ряд преимуществ, в сравнение с сушильными установками, применяемыми на заводах [4].

Принцип кипящего слоя позволяет значительно упростить и интенсифицировать процесс сушки при значительном сокращении габаритов сушильного аппарата.

При сушке пищевых продуктов в кипящем слое важно обеспечить устойчивый режим псевдооживления с интенсивным перемешиванием материала во всем объеме слоя, рациональное аппаратное оформление процесса и правильный выбор режима сушки, увязанные с кинетикой процесса и изменением технологических свойств материалов.

Сушка продукта в кипящем слое создает внутри высушиваемого продукта градиент давления пара, под действием которого происходит «вздутие образца». Этот способ предложен М.А.Гришиным [3]. При температурах сушильного агента 105-160<sup>0</sup>С продолжительность сушки в кипящем слое уменьшается в 3-4 раза и более по сравнению с сушкой в

плотном слое. Кроме того, появляется возможность глубокой сушки до конечного влагосодержания 1-2%. Малая продолжительность сушки способствует хорошей сохранности витаминов в высушенном продукте. Применение высокотемпературного сушильного агента приводит к уменьшению расхода энергии на испарение влаги, процесс становится более экономичным, чем при других способах сушки.

Воздух на выходе из сушильных установок имеет высокое теплосодержание. Как правило, этот воздух в больших количествах уходит в атмосферу и его теплоту можно отнести к теплопотерям.

В связи с этим, для утилизации уходящего воздуха из сушильных установок взвешенного слоя мы предусмотрели пластинчатый теплообменник воздух-воздух, который является лучшим и наиболее реальным типом утилизатора теплоты.

Пластинчатые теплообменники выпускают серийно, например, фирмой Noval (PWT) с 1976 г. на заводе-изготовителе в г. Шаан (Лихтенштейн). Абсолютно все характеристики теплообменников, в т.ч. эффективность рекуперации тепла и падение давления, получены в результате испытаний, проводимых и подтверждаемых независимыми организациями.

Фирма выпускает параметрический ряд теплообменников воздух-воздух и продает их во всех странах Европы.

Используемая фирмой Noval система управления качеством проверена и сертифицирована по стандарту ISO 9001. Это подтверждает качество продукции на всех этапах - при проектировании, изготовлении и поставке.

Компьютерная программа подбора теплообменников (CAPS - Computer Aided Plate Heat Exchanger Selection) позволяет получить технические данные выбранного теплообменника и его экономические характеристики.

Теплообменники Noval отличаются 100%-ной надежностью работы и не требуют дополнительных

експлуатаційних расходов, благодаря отсутствию в них подвижных элементов и электрических соединений.

Опыт использования теплообменников на многочисленных объектах доказал, что они практически не подвержены загрязнению, поэтому не нуждаются в обслуживании.

Преимущественные характеристики пластинчатых теплообменников Noval:

- высокоэффективная рекуперация и малые капитальные вложения, следовательно, высокая самоокупаемость;
- отсутствие подвижных элементов, следовательно, долговечность и возможность непрерывного функционирования;
- раздельные потоки приточного и вытяжного воздуха, следовательно, исключение смешения и загрязнения воздуха;
- отсутствие электрических контактов, следовательно, экономия средств при монтаже и эксплуатации;
- широкие возможности для оптимального подбора - 2 типа конструкции, 3 исполнения, 13 типоразмеров, 17 величин расстояния между пластинами, любая требуемая ширина;
- малый вес и компактность, следовательно, простота монтажа;

- автоматизированное производство, следовательно, гарантированное качество продукции;
- многочисленные опции для возможности обеспечения комплексного решения.

Эффективность передачи теплоты в теплообменнике можно оценить с помощью коэффициента утилизации  $K_y$ , который определяется как отношение количества утилизированной теплоты к количеству теплоты в уходящем воздухе.

Этот коэффициент для данных пластинчатых теплообменников достигает значений  $K_y = 0,52...0,58$ .

Воздух, уходящий из сушильной установки, имеет высокое влагосодержание, и его энтальпия равна сумме энтальпий сухого воздуха и пара.

Если в теплообменнике произойдет конденсация пара, то будет выделена теплота парообразования, что способствует одновременному улучшению условий теплопередачи.

Чтобы оценить особенности использования пластинчатых теплообменников для утилизации теплоты уходящего воздуха из сушильных установок, рассмотрим схему сушильной установки взвешенного слоя (рис.1) на примере сушки овсяной крупы по следующим исходным данным: массе испаренной влаги – 100 кг/час, массовому расходу воздуха – 5300×1,2 кг/час; температуры воздуха указаны на рис. 1.

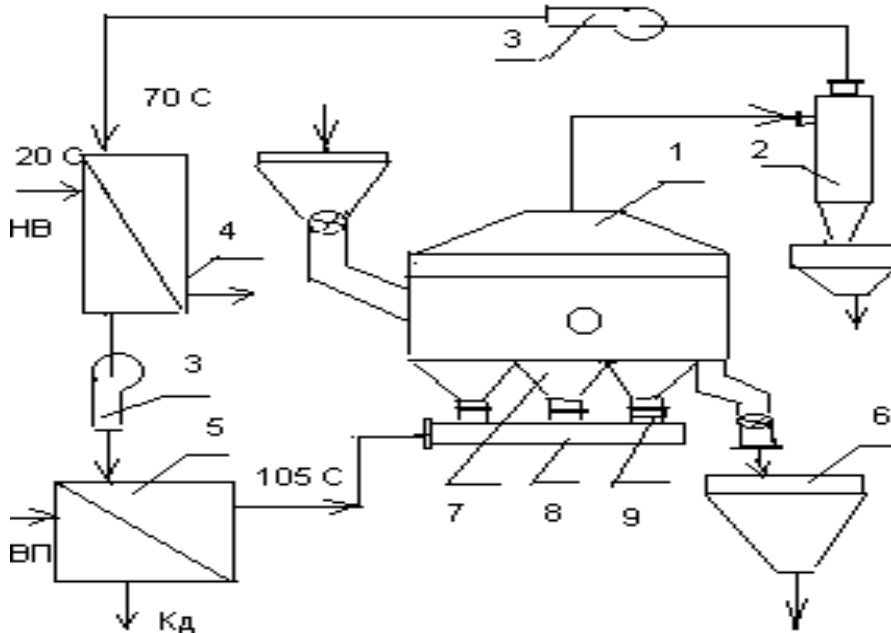


Рисунок 1 – Схема сушильной установки с утилизатором теплоты уходящего воздуха:

1-сушильная камера; 2-батарейный циклон; 3-вентилятор; 4-пластинчатый теплообменник; 5-калорифер; 6-бункер для выгрузки готового продукта; 7-патрубки; 8-воздуховод; 9-дросселирующие органы; НВ-наружный воздух; ВП-пар; Кд-конденсат

Влажная крупа поступает в сушильную камеру (1) на газораспределительную решетку и под действием потока теплоносителя (горячий воздух) приводится в состояние псевдооживления. В сушильную камеру подают горячий воздух, нагретый в калорифере (5) до температуры 105 °С. Время пребывания материала в сушильной камере регулируется скоростью его перемещения вдоль газораспределительной решетки к месту выгрузки за счет изменения количества теплоносителя, подаваемого на каждый участок. Распределение теплоносителя по участкам осуществляется с помощью дросселирующих органов (9). Сухой продукт выгружается в бункер (6). После сушильной камеры воздух проходит через батарейный циклон (2) и поступает с температурой 70 °С в пластинчатый теплообменник (4). Наружный воздух с температурой 20 °С проходит через теплообменник, где нагревается уходящим из сушильной камеры воздухом, а затем поступает в калорифер (5).

Отличительными особенностями сушильной установки взвешенного слоя являются надежность и простота конструкции, малая металлоемкость, высокая удельная производительность, хорошие технико-экономические показатели.

Для выбора размеров пластинчатого теплообменника и его расчета необходимы следующие исходные данные: массовый расход по горячему и холодному воздуху  $M_r$ ,  $M_x$ , температура горячего воздуха на входе  $t_{r.1}$ , его относительная влажность  $\varphi_{r.1}$ , температура холодного воздуха на входе в теплообменник  $t_{x.1}$ , его относительная влажность  $\varphi_{x.1}$ .

Задача выбора типоразмера теплообменника технически допускает несколько решений [1].

При уменьшении размеров теплообменника уменьшается его стоимость, увеличивается скорость воздуха в каналах и коэффициент теплопередачи, но одновременно возрастают потери давления, как по холодному, так и по горячему воздуху, что влечет за собой возрастание стоимости вентилятора.

Выбор теплообменника сводится к технико-экономическому сравнению ряда вариантов, учитывающих все факторы, влияющих на суммарную стоимость теплообменника, вентилятора и всех эксплуатационных расходов, связанных с их работой.

При этом стоимость вентилятора и теплообменника выражается через амортизационные отчисления в грн/год. Оптимальным является теплообменник, который имеет минимальные суммарные затраты, грн/год.

Также был проведен расчет пластинчатого теплообменника по программе (CAPS), разработанной фирмой HOVAL, по следующим исходным данным при сушке овсяной крупы:  $M_r = 6360$  кг/час;  $M_x = 6360$  кг/час;  $t_{r.1} = 70$  °С;  $\varphi_{r.1} = 14$  %;  $t_{x.1} = 20$  °С;  $\varphi_{x.1} = 60$  %.

Кроме того, дополнительно проведены расчеты по двум вариантам типоразмеров теплообменника и приведены их сравнительные характеристики (табл.1).

Результаты расчета по варианту 1: количество переданной теплоты – 47,3 кВт;  $K_y = 52,5$  %; цена – 1700 у.е.; масса – 43 кг; габаритные размеры:  $L=1200$  мм;  $B=500$  мм;  $H=500$  мм.

Результаты расчета по варианту 2: количество переданной теплоты – 50,4 кВт;  $K_y = 56,0$  %; цена – 1560 у.е.; масса – 39 кг; габаритные размеры (рис. 2):  $L=600$  мм;  $B=700$  мм;  $H=700$  мм.

**Таблица 1 – Результаты расчета теплообменника по варианту 1 и 2**

Характеристика параметров теплообменника	Вариант 1		Вариант 2	
	Горячий воздушный поток	Холодный воздушный поток	Горячий воздушный поток	Холодный воздушный поток
Потери давления, Па	202	186	464	431
Количество конденсата, кг/час	0		0	
Входная температура, °С	70,0	20,0	70,0	20,0
Выходная температура, °С	44,1	46,4	42,4	48,1
Входная относительная влажность, %	14	60	14	60
Выходная относительная влажность, %	47,6	13,7	52,0	12,5

Второй вариант имеет меньшие габаритные размеры и массу. Он обеспечивает большую эффективность передачи теплоты (на 3,1 кВт), имеет меньшую стоимость - на 140 \$. В тоже время потери давления в каналах теплообменника, как по холодному, так и по горячему воздуху, значительно увеличились, стоимость вентилятора возросла примерно на 140 \$.

Проведенные нами расчеты показали, что увеличились суммарные затраты мощности на перемещение горячего и холодного воздуха в каналах теп-

лообменника на 1,5 кВт, но в тоже время увеличилась передача теплоты от горячего к холодному воздуху на 3,1 кВт.

Следовательно, конструктивно вариант 2 является более компактным.

Рассмотрим возможность использования теплоты пара, который в большом количестве испаряется в сушильной камере. При его конденсации можно получить мощность перемещения воздуха 69,2 кВт.

Количество сконденсированного пара, как по первому варианту, так и по второму, равно нулю (из расчета).

Это можно объяснить тем, что при параметрах горячего воздуха на входе в теплообменник ( $t_{г.1} = 70^{\circ}\text{C}$ ;  $\varphi_{г.1} = 14\%$ ) точка росы –  $29^{\circ}\text{C}$ , а воздух не контактирует с «холодной стенкой», температура которой ниже точки росы этого воздуха, так как в теплообменнике используется перекрестная схема движения воздуха.

Использовать теплоту, содержащуюся в паре влажного воздуха, уходящего из сушильной камеры, можно при более низкой температуре наружного воздуха. Понятно, что чем ниже температура наружного воздуха, тем более вероятна конденсация пара.

Дополнительно проведен расчет теплообменника по варианту 1 при температуре наружного воздуха  $10^{\circ}\text{C}$  (остальные исходные данные не изменились).

Результат показал, что при этом образуется 1 кг/час конденсата, т.е. 1 % конденсируется из пара, выделенного в сушильной камере, следовательно, теплоты примерно  $2500 \text{ кДж/час} \approx 0,7 \text{ кВт}$ .

Это небольшое количество теплоты передается холодному воздуху, повышая эффективность теплообменника. При инженерных расчетах это количество можно не учитывать.

Теплоту, содержащуюся в паре влажного воздуха, уходящего из сушильной камеры, в теплообменнике утилизировать при температурах наружного воздуха  $10\text{-}20^{\circ}\text{C}$  практически не удается.

При среднесуточной температуре наружного воздуха ниже  $10^{\circ}\text{C}$  (холодный период года) конденсация пара из влажного воздуха в теплообменнике увеличивается и ее необходимо учитывать при расчете теплопередачи.

По результатам расчета приводим приближенный экономический эффект работы сушильной установки (рис.1) с использованием пластинчатого теплообменника.

Теплый период.

Холодному воздуху передается теплоты – 50 кВт. При тарифе 20 коп. за 1 кВт·ч получаем за 1 час – 10 грн., в сутки при двухсменной работе – 160 грн., в месяц – 3200 грн.

Холодный период.

Холодному воздуху передается теплоты – 60 кВт. При тарифе 20 коп. за 1 кВт·ч получаем за 1 час – 12 грн., в сутки при двухсменной работе – 192 грн., в месяц – 3840 грн.

Срок окупаемости – 6...8 месяцев.

**Выводы.** Результаты расчетов и их анализ показали, что для утилизации теплоты уходящего воздуха из сушильных установок можно рекомендовать современные высокоэффективные пластинчатые теплообменники типа «воздух-воздух».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бурдо О.Г., Соломыкин А.В., Перетьяка Н.С. Энергосберегающие технологии сушки пищевых продуктов // Научные основы создания энергосберегающей техники и технологии: Тез. докл. Всесоюз. конф. – М., 1990. – С.108-109.
2. Долгополов И.С., Яловой Н.И., Масалитин Б.С. Ресурсосбережение при сушке дисперсных материалов во взвешенном слое // Промышленная энергетика.-1999.- № 2.
3. Гришин М.А. Интенсификация процесса сушки пищевых растительных материалов. Дисс. ...д.т.н. – Одесса, 1974.
4. Фраас А., Оцисик М. Расчет и конструирование теплообменников / Пер. с англ. - М.: Атомиздат, 1971. – 358 с.

Статья поступила 1.10.2007.

Рекомендовано к печати к.т.н., доц.  
Бахаревым В.С.