

Таблица 1 – Основные экономические показатели

| Наименование                                         | Значение |
|------------------------------------------------------|----------|
| 1. Расходы на оборудование, грн                      | 3349332  |
| 2. Расходы на проектирование, грн                    | 334933   |
| 3. Сумма капитальных расходов, грн                   | 3684265  |
| 4. Годовые эксплуатационные расходы, грн             | 1055038  |
| 5. Годовая экономия расходов, грн                    | 3782240  |
| 6. Прирост балансовой прибыли предприятия, грн       | 2727202  |
| 7. Прирост чистой прибыли предприятия, грн           | 2045401  |
| 8. Срок окупаемости капитальных расходов предприятия | 1.8      |
| 9. Коэффициент эффективности капитальных вложений    | 0.5      |

**Выводы**

В данной работе было проведено обследование пятиколонной установки ректификации этилового спирта, были определены потоки, которые будут использованы во время тепловой интеграции процесса. Также было проведено уточнение данных установки с помощью пакета моделирования Unisim Design.

С помощью метода составных кривых были определены целевые энергетические значения горячих и холодных утилит и локализация точки пинча. Построена сеточная диаграмма систем теплообменников для интегрированного процесса ректификации этанола и рассчитано теплообменное оборудование для реализации проекта реконструкции.

Применяя методы пинч-проектирования, удалось значительно снизить потребление горячих утилит на величину 1 693 кВт, а холодных – на 2 009 кВт, что составляет 7.6% по горячим утилитам и 10.1 % по холодным. Согласно экономическим расчетам, потенциал энергосбережения составляет 3 782 240 грн в год. Срок окупаемости предложенного проекта реконструкции составляет приблизительно 1.5 года.

**Литература**

1. Яровенко В.Л. Справочник по производству спирта / Яровенко В.Л., Устинников Б.А. – М: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 57 с.
2. ZhaolinGu. Retrofitting of a distillery based on process synthesis / ZhaolinGu, Zhonghua Tao, Nan Xu // Energy conversion and management. Xi'an, China. - 2006. – 9 с.
3. Цыганков П.С. Ректификационные установки спиртовой промышленности / Цыганков П.С. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 15-21 с.
4. Смит Р. Основы интеграции тепловых процессов / Р. Смит, Й. Клемеш, Л. Л. Тобахьянский, П. А. Капустенко, Л. М. Ульянов. – Харьков: ХГПУ, 2000. – 457 с.
5. Сайт компании «Содружество-Т»: [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.sodrt.kharkiv.com/>

УДК 664.83

**ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ БЛАНШИРОВАТЕЛЯ**

Котов М.И., ОАО «Машпищепрод», г. Марьина Горка, Республика Беларусь

*Получено уравнение для определения объема потока пара, подаваемого в закрытый шинковый бланширователь для обработки картофеля в линии сухого картофельного пюре с целью обеспечения постоянства технологического процесса с заданными параметрами тепловой обработки.*

*The equation for scoping of a stream of steam submitted in closed blanching for processing of a potato in a line of dry mashed potatoes for the purpose of maintenance of a constancy of technological process with set parameters of thermal processing is received.*

**Ключевые слова:** бланширователь, тепловые расчеты

Одной из основных задач при проектировании оборудования для тепловой обработки является определение необходимых затрат энергии для осуществления технологического процесса, которые можно определить из теплового баланса. Разработанный в ОАО «Машпищепрод» бланширователь для картофеля имеет закрытую конструкцию, исключаящую потерю тепла за счет отвода пара, поэтому затраты тепла на испарение воды с поверхности зеркала воды можно не учитывать. В бланширователе происхо-

дит нагревание измельченного картофеля до заданной температуры, выдержка при этой температуре и последующая выгрузка. Химических процессов связанных с поглощением или выделением тепла не происходит. Загрузка и выгрузка картофеля осуществляется непрерывно. Время нахождения картофеля в бланширователе определяется частотой вращения шнека. Подача тепла в бланширователь осуществляется путем подачи перегретого пара в донную его часть ванны. Основным теплоносителем, обеспечивающим теплообмен между измельченной картофельной массой и перегретым паром, является вода.

Для обеспечения качества выполнения технологического процесса бланширователь должен работать в установившемся тепловом режиме при заданной температуре измельченной картофельной массы на выходе. Для сохранения теплового равновесия на установившемся режиме сумма подводимой энергии к бланширователю должна быть равна сумме отводимой от него энергии, т. е. сохранится баланс тепловых потоков.

На переходных режимах загрузка (выгрузка) картофеля баланс тепловых потоков нарушается. При загрузке бланширователя могут иметь место два режима. Первый режим – загрузка картофеля в бланширователь полностью заполненный водой при заданной температуре до максимального уровня. Второй – загрузка картофеля в бланширователь частично заполненный водой. Вторым режим более экономичный, так как изначально требуется меньше энергии чтобы вывести бланширователь на рабочий режим, но при подаче картофеля в этом случае будет наблюдаться инерционность в работе бланширователя, так как в начале работы первая партия картофеля не будет успевать прогреваться до заданной температуры, что негативно скажется на качестве конечного продукта. Первый режим позволяет качественно обеспечить технологический процесс, поэтому он наиболее предпочтительный, а для снижения тепловых потерь сливаемую горячую воду при загрузке картофеля целесообразно использовать в обратном цикле.

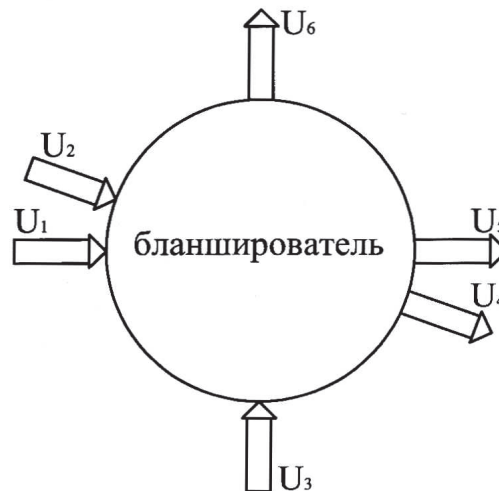
Рассмотрим потоки энергии, подводимые и отводимые от бланширователя в установившемся тепловом режиме.

Величина энергии, подаваемая с измельченным картофелем, зависит от массы (объема) подаваемого картофеля и его температуры. Величина энергии, подаваемая паром зависит от массы (объема) пара и его температуры. Величина энергии, уносимая с водой, зависит от температуры и количества сливаемой воды. Вода в бланширователь поступает при конденсации пара и сливается для поддержания заданного уровня в бланширователе. При этом количество сливаемой воды зависит от разности между количеством воды поступающей от конденсации пара и количеством воды уносимой при выгрузке бланшированного картофеля.

Механическая энергия, подводимая к шнеку бланширователя, расходуется на: перемещение измельченного картофеля вдоль ванны, перемешивания его в воде, выгрузку картофеля из ванны. При вращении шнека возникают потери энергии связанные с затратами на преодоление сил трения картофеля о шнек и стенки бланширователя, гидромеханические потери на перемешивание воды и картофеля. Потери энергии, расходуемые на преодоление сил трения, превращаются в тепловой поток, рассеиваемый в бланширователе. При этом, чем больше потери на трение в бланширователе, тем больше механической энергии превращается в тепловой поток, подводимый к бланширователю. В тоже время, так как нарезанный картофель находится в водной среде, коэффициент его трения по поверхности шнека низок и поэтому тепловым потоком, получаемом за счет трения картофеля о лопасти шнека можно пренебречь.

Энергия отводится от бланширователя при: выгрузке картофеля, теплоотдаче корпуса в окружающую среду; сливе воды для поддержания заданного уровня. Величина отводимой энергии зависит от массы (объема) картофеля и воды забираемых в процессе выгрузки бланшированного продукта, а также от теплоизоляции внешней поверхности бланширователя. С увеличением теплоизоляции корпуса бланширователя величина отводимой энергии уменьшается, и при этом соответственно будет уменьшаться и величина подводимой энергии.

Потоки энергии, подводимые и отводимые от бланширователя, изображены на схеме рисунок 1.



$U_1$  – энергия, подаваемая с картофелем;  $U_2$  – энергия, поступающая от механического привода;  $U_3$  – энергия, подаваемая перегретым паром;  $U_4$  – энергия уносимая со сливаемой водой;  $U_5$  – энергия уносимая с выгружаемым картофелем;  $U_6$  – энергия теплового потока отводимая при теплоотдаче корпуса бланширователя.

**Рис. 1 – Схема потоков энергии в бланширователе**

При перемещении дисперсной среды в бланширователе внутренняя энергия картофеля увеличивается. Разность внутренних энергий картофеля при выгрузке и при загрузке соответствует поглощаемому тепловому потоку.

Внутренняя энергия поступающего на обработку картофеля равна его объемному потоку, умноженному на плотность картофеля, его удельную теплоемкость и его абсолютную температуру. Внутренняя энергия поступающего на обработку картофеля определяется по формуле:

$$U_1 = \dot{V}_k \cdot \rho_k \cdot c_k \cdot t_k, \quad (1)$$

где  $U_1$  – энергия, подаваемая с картофелем, Вт;  $\dot{V}_k$  – объемный поток картофеля, м<sup>3</sup>/с;  $c_k$  – удельная теплоемкость картофеля, Дж/(кг·град);  $t_k$  – температура картофеля подаваемого в бланширователь, °С.

Энергия, уносимая с выгружаемым картофелем, определяется по аналогичному выражению:

$$U_5 = \dot{V}_k \cdot \rho_k \cdot c_k \cdot t_{\delta}, \quad (2)$$

где  $U_5$  – энергия, подаваемая с картофелем, Вт;  $t_{\delta}$  – температура картофеля выгружаемого из бланширователя, равная исходя из условий технологического процесса температуре бланширования, °С.

Тепловой поток, поглощаемый картофелем в бланширователе, определяется по разности энергий на выходе и входе:

$$E_k = U_5 - U_1 = \dot{V}_k \cdot \rho_k \cdot c_k \cdot (t_{\delta} - t_k), \quad (3)$$

где  $E_k$  – поглощаемый картофелем тепловой поток, Вт.

Объемный поток картофеля, умноженный на плотность, есть не что иное, как производительность бланширователя:

$$W_k = V_k \cdot \rho_k, \quad (4)$$

или:

$$E_k = W_k \cdot c_k \cdot (t_{\delta} - t_k), \quad (5)$$

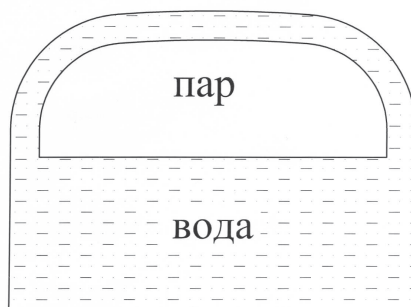
Как видно из представленной зависимости величина поглощаемого теплового потока прямо пропорциональна производительности и перепаду температур картофеля на выходе и входе в бланширователь.

В бланширователе часть теплового потока через стенки переходит в окружающую среду и определяется по формуле:

$$E_c = (k_{\delta 1} \cdot S_{\delta 1} + k_{\delta 2} \cdot S_{\delta 2}) \cdot (t_{\delta} - t_0), \quad (6)$$

где  $k_{\delta 1}$  – коэффициент теплопередачи стенок бланширователя ниже уровня жидкости в бланширователе, Вт/(м<sup>2</sup>·град);  $k_{\delta 2}$  – коэффициент теплопередачи стенок бланширователя над уровнем жидкости в бланширователе, Вт/(м<sup>2</sup>·град);  $S_{\delta 1}$  – площадь, поверхности бланширователя ниже уровня жидкости в бланширователе, м<sup>2</sup>;  $S_{\delta 2}$  – площадь, поверхности бланширователя над уровнем жидкости в бланширователе, м<sup>2</sup>;  $t_0$  – температура окружающей среды, °С.

Так как пар конденсируется на стенках бланширователя, то сечение бланширователя можно условно представить, как это показано на рис. 2.



$\delta_1$  – толщина внутренней стенки;  $\delta_2$  – толщина наружной стенки;  $\delta_3$  – толщина теплоизоляции.

**Рис. 2 – Схема передачи тепла через стенки бланширователя**

Исходя из этого, можно принять, что коэффициент теплопередачи стенок бланширователя, омываемых паром равен коэффициенту теплопередачи стенок омываемых водой:

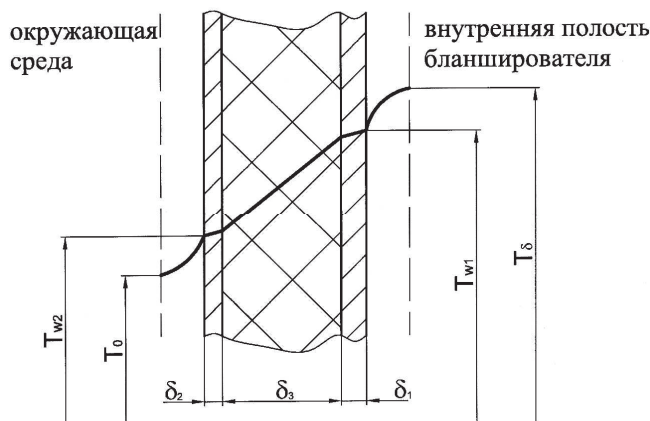
$$k_{\delta} = k_{\delta 1} = k_{\delta 2}, \quad (7)$$

где  $k_{\delta}$  – коэффициент теплопередачи стенок бланширователя, Вт/(м<sup>2</sup>·град)

Схема передачи тепла через стенки бланширователя представлена на рис. 3.

Коэффициент теплопередачи через стенки бланширователя определяется по формуле:

$$\frac{1}{k_{\delta}} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}, \quad (8)$$



$\delta_1$  – толщина внутренней стенки;  $\delta_2$  – толщина наружной стенки;

$\delta_3$  – толщина теплоизоляции.

**Рис. 3 – Схема передачи тепла через стенки бланширователя**

где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – коэффициенты теплопередачи в пристеночном слое внутри и снаружи бланширователя, Вт/(м<sup>2</sup>·град);  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  – коэффициенты теплопроводности материалов внутренней и наружной стенок бланширователя соответственно, Вт/(м·град);  $\delta_1$  и  $\delta_2$  – толщина стенок бланширователя, внутренней и наружной соответственно, м;  $\lambda_3$  – коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала, Вт/(м·град);  $\delta_3$  – толщина теплоизоляционного материала, м.

Для уменьшения потерь теплоты с бланширователя он изолирован теплоизоляционным материалом. Большинство теплоизоляторов состоит из волокнистой, порошковой или пористой основы, заполненной воздухом. Термическое сопротивление теплоизолятора создает воздух, а основа лишь препятствует возникновению естественной конвекции воздуха и переносу теплоты излучением. Сама основа в плотном состоянии обычно обладает достаточно высокой теплопроводностью  $\lambda = 1$  Вт/(м·град). У всех видов теплоизоляции коэффициент теплопроводности всегда выше, чем у воздуха заполняющего поры.

Площадь внутренней поверхности бланширователя:

$$S_{\delta.вн.} = S_{\delta 1} + S_{\delta 2}, \quad (9)$$

$$E_c = k_{\delta} \cdot S_{\delta.вн.} \cdot (t_{\delta} - t_0), \quad (10)$$

Энергия, подаваемая с перегретым паром, зависит от массы подаваемого пара и определяется по известной формуле:

$$U_n = m_n \cdot (i''_{t_n} - i'_{t_0}), \quad (11)$$

где  $U_n$  – энергия подаваемого в бланширователь пара, Вт;  $i''_{t_n}$  – энтальпия пара при температуре  $t_n$ , Дж/кг;  $t_n$  – температура греющего пара, °C;  $i'_{t_0}$  – энтальпия воды при температуре бланширования, Дж/кг;  $m_n$  – масса пара, кг.

Масса подаваемого пара при заданной температуре  $t_n$  определяется по формуле:

$$m_n = V_{n(n)} \cdot \rho_{n(n)} \text{ или } m_n = V_{n(n)} / v_{n(n)}, \quad (12)$$

где  $V_{n(n)}$  – объем насыщенного водяного пара при температуре  $t_n$ , м<sup>3</sup>;  $\rho_{n(n)}$  – плотность насыщенного водяного пара при температуре  $t_n$ , кг/м<sup>3</sup>;  $v_{n(n)}$  – удельный объем насыщенного водяного пара при температуре  $t_n$ , м<sup>3</sup>/кг.

Тепловой поток, подаваемый перегретым паром:

$$E_n = \frac{U_n}{t}, \quad (13)$$

где  $t$  – время, с.

Проводя преобразования, получим уравнение теплового потока, подаваемого в бланширователь с паром:

$$E_n = \frac{V_{n(n)} \cdot (i''_{t_n} - i'_{t_0})}{v_{n(n)} \cdot t}, \quad (14)$$

В общем виде уравнение баланса тепловых потоков подводимых и отводимых от бланширователя с учетом вышеизложенного запишем в виде:

$$E_n = E_k + E_c, \quad (15)$$

Из полученного выражения с учетом вышеизложенного можно определить необходимый объем потока пара с заданными параметрами для обеспечения технологического процесса:

$$V_{n(n)} = \frac{v_{n(n)} \cdot t}{(i''_{t_n} - i'_{t_0})} \cdot (W_k \cdot c_k \cdot (t_{\delta} - t_k) + k_{\delta} \cdot S_{\delta.вн.} \cdot (t_{\delta} - t_0)),$$

### Выводы

Получено уравнение для определения объема потока пара, подаваемого в закрытый шнековый бланширователь для обработки картофеля в линии сухого картофельного пюре с целью обеспечения постоянства технологического процесса с заданными параметрами тепловой обработки.