


МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Политехнический институт
Кафедра «Промышленная автоматика и робототехника»

Утверждено на заседании кафедры
«Промышленная автоматика
и робототехника»
«17» января 2023 г., протокол № 2

И.о. заведующего кафедрой

 О.А. Ерзин

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

Оборудование для получения изделий из композиционных материалов

**основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы магистратуры**

по направлению подготовки
18.04.01 Химическая технология

с направленностью (профилем)

Технология органического синтеза

Форма обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 180401-01-23

Тула 2023 год

Разработчик методических указаний**Разработчик:**

Евсеев А.В., профессор, д-р техн. наук, доцент
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель и задачи лабораторных работ.....	4
2. Тематика лабораторных работ	4
3. Методические указания к порядку подготовки и выполнению работ.....	4
4. Содержание лабораторных работ	5
5. Список рекомендуемой литературы.....	19

1. Цель и задачи лабораторных работ

Целью лабораторных работ по дисциплине является закрепление теоретических знаний, полученных в ходе лекционных занятий.

Задачами практических занятий являются:

- освоение основных принципов устройства и действия технологических машин и оборудования для получения изделий из композиционных материалов;
- овладение методиками инспекционного контроля качества технологических машин и оборудования для получения изделий из композиционных материалов;
- овладение методиками повышения качества получения изделий из композиционных материалов.

2. Тематика лабораторных работ

Лабораторные работы для освоения дисциплины включают следующие темы:

1. Устройство и действие моечной машины.
2. Устройство и действие пластинчатого охладителя.
3. Устройство и действие сепаратора.

3. Методические указания к порядку подготовки и выполнению работ

При подготовке к занятию студент должен разобрать вопрос; ознакомиться с кратким описанием темы; просмотреть дополнительную литературу по данным вопросам.

Перед началом занятия студент должен:

1. Получить у преподавателя исходные данные по теме работы.
2. Изучить содержание методических указаний по теме работы.
3. Проанализировать полученные результаты.
4. Сделать выводы по результатам работы.
5. Оформить отчет.

По завершению лабораторной работы студент обязан предъявить выполненные задания и ответить преподавателю на контрольные вопросы.

4. Содержание лабораторных работ

Тема № 1. Расчет бутылкомоечной машины

Устройство и принцип действия цепных отмочно-шприцевальных машин одинаков. Различаются они лишь конструкцией отдельных механизмов, их компоновкой; соотношением длин ванн и т.п. На рис. 1. показана весьма распространенная унифицированная машина АММ-6 номинальной производительностью 6000 бут./ч. Машина такого же типа выпускается марки АММ-12 производительностью 12000 бут./ч.

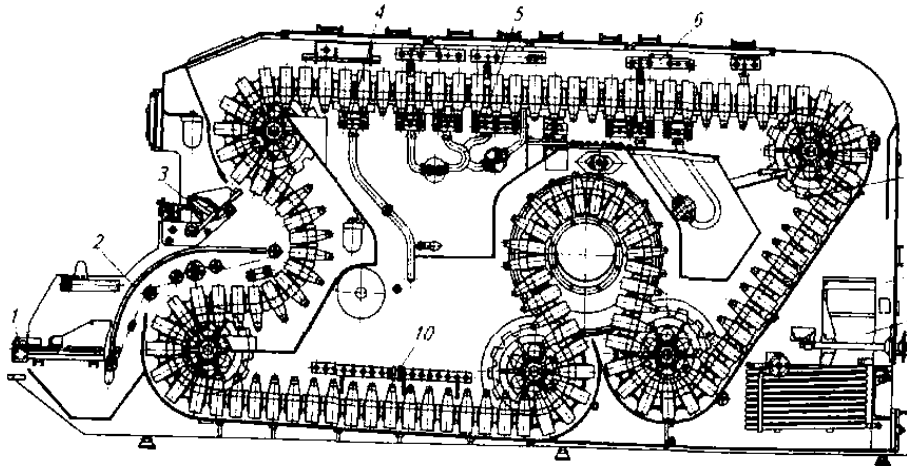


Рис. 1. Бутылкомоечная машина АММ-6 (разрез общего вида).

- 1-конвейер загрузки бутылок, 2 - механизм загрузки бутылок;
 3 - механизм выгрузки бутылок; 4 – шприцевальные трубки; 5 – коллекторы;
 6 – форсунки для наружного обмыва бутылок; 7 – цепь с бутылконосителями;
 8 – корпус; 9 - этикетотборник; 10 - трубчатый подогреватель.

Выполнить тепловой расчет бутылкомоечной машины. Рассчитать расход пара в период установившегося режима, при пуске машины и за сутки. Определить также удельный расход пара на 1000 бут.

Исходные данные.

Производительность (техническая) $P = 7500 \text{ бут./ч.}$

Число гнезд в бутылконосителе $n = 16$;

Вместимость бутылок $E = 500 \text{ см}^3$;

Расход прогреваемой водопроводной воды $W = 4 \text{ м}^3/\text{ч}$;

Давление греющего пара $p = 2,0 \text{ МПа}$;

Температура:

водопроводной воды $t_{\text{хв}} = 8^\circ \text{ C}$;

воды, уходящей в канализацию $t_{\text{кан}} = 35^\circ \text{ C}$;

поступающих бутылок $t_{\text{б1}} = 5^\circ \text{ C}$;

вымытых бутылок $t_{\text{б2}} = 10^\circ \text{ C}$;

конденсата $t_k = 100^\circ \text{C}$;

Вместимость ванн:

первой $V_1 = 2,5 \text{ м}^3$;

второй $V_2 = 1,7 \text{ м}^3$;

первой верхней $V_3 = 0,55 \text{ м}^3$;

второй верхней (водяной) $V_4 = 1,5 \text{ м}^3$;

Температура в ваннах:

в первой $t_1 = 65^\circ \text{C}$;

во второй $t_2 = 80^\circ \text{C}$;

в первой верхней $t_3 = 80^\circ \text{C}$;

во второй верхней (водяной) $t_4 = 35^\circ \text{C}$;

Температура в цехе $t_5 = 20^\circ \text{C}$;

Длительность работы машины в сутки 16 ч.

Дополнительные справочные данные:

- масса одной бутылки $m_{\bar{o}} = 0,485 \text{ кг}$;
- удельная теплоемкость стекла $c_{\bar{o}} = 670 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$;
- удельная теплоемкость воды $c_{\text{в}} = 4187 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$;
- теплосодержание пара $i = 2724 \text{ кДж}/\text{кг}$.

Плотность и удельную теплоемкость моющего раствора, учитывая его малую концентрацию, можно принять равными плотности и удельной теплоемкости воды.

Порядок расчета.

Тепловой расчет производится путем составления внешнего теплового баланса.

1. Период установившегося режима.

В машину вносится теплота поступающих бутылок Q_1 , теплота, вносимая водопроводной водой, Q_2 и теплота, вносимая паром, Q_3 .

Уносится из машины теплота с вымытыми бутылками Q_4 ; с водой, удаляемой в канализацию, Q_5 ; теплота, уходящая с конденсатом, Q_6 и теплота, теряющаяся в окружающую среду, $Q_{\text{п}}$.

Тепловой баланс машины (Вт)

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_{\text{п}},$$

где $Q_1 = \Pi m_{\bar{o}} c_{\bar{o}} t_{\bar{o}1}$;

$$Q_2 = W c_{\text{в}} t_{\text{хв}};$$

$$Q_3 = D i;$$

$$Q_4 = \Pi m_{\bar{o}} c_{\bar{o}} t_{\bar{o}2};$$

$$Q_5 = W c_{\text{в}} t_{\text{кан}};$$

$$Q_6 = D c_{\text{к}} t_{\text{к}} (c_{\text{к}} = c_{\text{в}}).$$

Q_{Π} - принимаем в пределах 15% расхода теплоты.

После подстановок и перегруппировки без учета теплотерь.

$$D = \frac{\Pi m_{\text{сб}} c_{\text{б}} (t_{\text{б}2} - t_{\text{б}1}) + W c_{\text{в}} (t_{\text{кан}} - t_{\text{хв}})}{i - c_{\text{в}} t_{\text{к}}}.$$

После подстановки числовых значений входящих величин

$$D = \frac{\frac{7500}{3600} 0,485 * 670(10 - 5) + \frac{4 * 1000}{3600} 4178(35 - 8)}{2724000 - 4187 * 100} = 0,06 \text{ кг/с} \approx 200 \text{ кг/ч}.$$

Расход пара с учетом потерь теплоты

$$D_{\text{факт}} = 1,15 * 200 = 230 \text{ кг/ч}.$$

2. Период пуска.

Если принять, что температура всех частей машины, моющего раствора и воды равна температуре в цехе, то расход теплоты на нагревание раствора в ваннах (Дж)

$$Q_i = V \rho_{\text{в}} c_{\text{в}} (t_i - t_5),$$

где i – номер ванны.

$$Q_1 = 2,5 * 1000 * 4187(65 - 20) = 471 * 10^6 \text{ Дж} = 471 * 10^3 \text{ кДж}.$$

$$Q_2 = 1,7 * 1000 * 4187(80 - 20) = 427 * 10^6 \text{ Дж} = 427 * 10^3 \text{ кДж}.$$

$$Q_3 = 0,55 * 1000 * 4187(80 - 20) = 138 * 10^6 \text{ Дж} = 138 * 10^3 \text{ кДж}.$$

$$Q_4 = 1,5 * 1000 * 4187(35 - 20) = 94,2 * 10^6 \text{ Дж} = 94,2 * 10^3 \text{ кДж}.$$

Ванны с моющим раствором нагреваются паром через теплопередающие поверхности, а вода в водяной ванне – путем барботирования пара. Следовательно, конденсат охлаждается до температуры нагретой воды, т. е. до 35°C . Поэтому для ванн с моющим раствором

$$D_{1,2,3} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{i - c_{\text{в}} t_{\text{к}}};$$

$$D_{1,2,3} = \frac{(471 + 427 + 138) * 10^3}{2724000 - 4187 * 100} = 449,5 \text{ кг},$$

а для ванны

$$D_4 = \frac{Q_4}{i - c_{\text{в}} t_{\text{к}}};$$

$$D_4 = \frac{94,2 * 10^3}{2724000 - 4187 * 35} = 36,5 \text{ кг}.$$

Таким образом, расход пара в период пуска

$$449,5 + 36,5 = 486 \text{ кг};$$

суточный расход пара

$$230 * 16 + 486 = 4166 \text{ кг};$$

удельный расход пара

$$4166 / (7,5 * 16) = 34,5 \text{ кг}.$$

Тема № 2. Расчет пластинчатого охладителя

Пластинчатый охладитель (рис. 1) состоит из группы рабочих теплообменных пластин, подвешенных на горизонтальных штангах, концы которых заделаны в стойках. При помощи нажимной плиты и винта пластины в собранном состоянии сжаты в один пакет. Продукт входит в аппарат через штуцер и через верхнее угловое отверстие в первой слева пластине (концевой) попадает в продольный коллектор, образованный угловыми отверстиями пластин после их сборки. По коллектору продукт проходит до граничной пластины, имеющей глухой угол (без отверстия), и распределяется по нечетным каналам между пластинами, которые сообщаются с угловым коллектором благодаря соответствующему расположению резиновых прокладок. При движении вниз в межпластинчатом канале продукт обтекает волнистую поверхность пластин, обогреваемых с обратной стороны теплоносителем. Затем продукт выходит в продольный коллектор, образованный нижними угловыми отверстиями, и выходит из аппарата через штуцер.

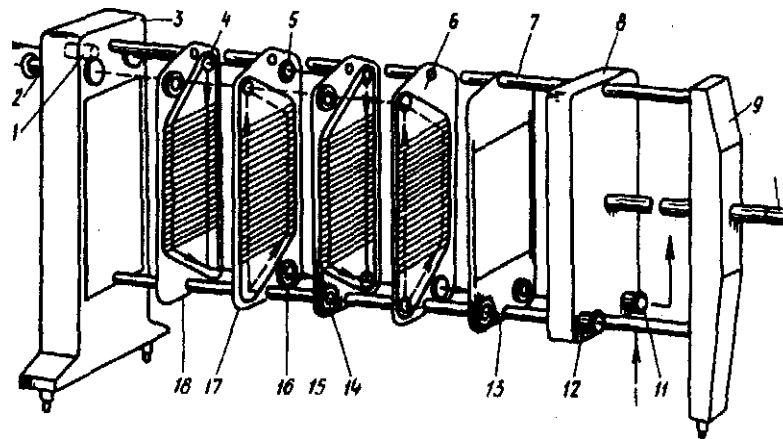


Рис. 1. Схема пластинчатого охладителя;

1, 2, 11, 12 - штуцеры; 3, 9 - стойки; 4, 5, 16 — прокладки; 6, 17 - граничные пластины, 7, 15 - штанги; 8 - нажимная плита, 10 - винт; 13, 18 - концевые пластины; 14 - рабочая пластина

Теплоноситель движется в аппарате навстречу продукту. Он поступает в штуцер, проходит через нижний коллектор, распределяется по четным каналам (между концевой пластиной и граничной, граничной и концевой) и движется по ним вверх. Через верхний коллектор и штуцер теплоноситель выходит из аппарата.

Параллельная расстановка плоских в целом пластин с малыми промежутками между ними позволяет разместить в пространстве рабочую поверхность теплообменника наиболее компактно, что приводит к значительному уменьшению размеров пластинчатого аппарата по сравнению с другими типами жидкостных теплообменников.

Выполнить тепловой и гидравлический расчет двухсекционного пластинчатого охладителя для вина.

Исходные данные.

1. Вино сухое.
 2. Производительность охладителя $\Pi = 6 \text{ м}^3 / \text{ч}$
 3. Плотность продукта $\rho_{65} = 955 \text{ кг/м}^3$; $\rho_{23} = 973 \text{ кг/м}^3$;
 4. Удельная теплоемкость $c_{65} = 3790 \text{ Дж/(кг * К)}$;
 $c_{23} = 3765 \text{ Дж/(кг * К)}$;
 5. Динамическая вязкость $\mu_{65} = 8,84 * 10^{-4} \text{ Па * с}$;
 $\mu_{23} = 15,2 * 10^{-4} \text{ Па * с}$;
 6. Кинематическая вязкость $\nu_{65} = 1,52 * 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $\nu_{23} = 0,90 * 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;
 7. Теплопроводность $\lambda_{65} = 0,557 \text{ Вт/(кг * К)}$; $\lambda_{23} = 0,493 \text{ Вт/(кг * К)}$;
 8. Начальная температура вина $t'_{\Pi} = 65^{\circ} \text{ C}$;
 9. Конечная температура вина после охлаждения водой $t''_{\Pi} = 23^{\circ} \text{ C}$; то же после охлаждения рассолом $t'''_{\Pi} = 8^{\circ} \text{ C}$;
 10. Начальная температура воды
 $t'_e = 18^{\circ} \text{ C} [\rho_{18} = 998,5 \text{ кг/м}^3; c_{18} = 4186,8 \text{ Дж/(кг * К)}]$;
 11. Начальная температура рассола
 $t'_p = -5^{\circ} \text{ C} [\rho_{-5} = 1138 \text{ кг/м}^3; c_{-5} = 3335 \text{ Дж/(кг * К)}]$;
 12. Расход воды и рассола к объему вина двукратный;
 13. Подача вина и воды, вина и рассола противотоком.
- Техническая характеристика пластин П-2, используемых в охладителе:
1. Поверхность теплопередачи $f = 0,198 \text{ м}^2$.
 2. Ширина потока $b = 0,27 \text{ м}$.
 3. Зазор между пластинами $h = 0,0028 \text{ м}$.
 4. Толщина пластины $\delta = 0,0012 \text{ м}$.

Порядок расчета.

1. Определение тепловых потоков (кВт)

$$Q = \Pi \rho c \Delta t$$

Для секции водяного охлаждения

$$Q_e = \frac{6}{360} 955 * 3790 (65 - 23) = 253.$$

Для секции рассольного охлаждения

$$Q_p = \frac{6}{360} 973 * 3765 (23 - 8) = 91,6.$$

2. Определение конечных температур воды t''_e и рассола t''_p :

$$t''_e = t'_e + \frac{Q_e}{2 \Pi \rho_e c_e};$$

$$t_p'' = t_p' + \frac{Q_p}{2\Pi\rho_p c_p};$$

$$t_6'' = 18 + \frac{253 \cdot 10^3 \cdot 3600}{2 \cdot 6 \cdot 998,5 \cdot 4186,8} = 36,12^\circ \text{C};$$

$$t_p'' = -5 + \frac{91,6 \cdot 10^3 \cdot 3600}{2 \cdot 6 \cdot 1138 \cdot 3335} = 2,2^\circ \text{C}.$$

3. Определение средних разностей температур:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\bar{\theta}} - \Delta t_m}{2,31g\Delta t_{\bar{\theta}} / \Delta t_m} \text{ при } \frac{\Delta t_{\bar{\theta}}}{\Delta t_m} > 2;$$

$$\text{и } \Delta' t = \frac{\Delta t_{\bar{\theta}} - \Delta t_m}{2} \text{ при } \frac{\Delta t_{\bar{\theta}}}{\Delta t_m} < 2.$$

В секции водяного охлаждения

$$65 \rightarrow 23;$$

$$36,12 \leftarrow 18;$$

$$\Delta t = \frac{28,88 - 5}{2,31g \frac{33,88}{5}} = 12,5^\circ \text{C}.$$

В секции рассольного охлаждения

$$23 \rightarrow 8;$$

$$2,2 \leftarrow -5;$$

$$\Delta t = \frac{20,8 + 13}{2} = 16,9^\circ \text{C}.$$

4. Выбор скоростей потоков w в каналах между пластинами и определение количества каналов.

На основании опыта предварительно выбранное значение $w_{II} = 0,6 \text{ м/с}$.

Количество параллельных каналов для вина в пакете

$$m_{II} = \Pi / bhw;$$

$$m_{II} = \frac{6}{3600 \cdot 0,027 \cdot 0,0028 \cdot 0,6} = 3,67.$$

Принимаем $m_{II} = 4$.

Уточненное значение

$$w_{II} = 6 / (3600 \cdot 0,27 \cdot 0,0028 \cdot 4) = 0,551 \text{ м/с}.$$

Скорость воды принимаем такой же, как и вина.

Поскольку расход воды в 2 раза больше, то число пакетов для нее должно быть в 2 раза меньше.

Скорость рассола, учитывая его низкую температуру и значительную вязкость, берем в 1,5 раза меньше, чем w_{II} . Поэтому при двукратном расходе рассола число параллельных каналов будет в 3 раза больше, чем для вина.

Скорость рассола

$$w_{II} = 6 * 2 / (3600 * 0,27 * 0,0028 * 12) = 0,367 \text{ м / с }.$$

5. Расчет критериальных величин:

$$\text{Pr} = \mu c / \lambda;$$

$$\text{Re} = w d_{\text{экв}} / \nu = 2wh / \nu;$$

$$\text{Nu} = 0,1 \text{Re}^{0,7} \text{Pr}^{0,43} (\text{Pr}_{\text{ж}} / \text{Pr}_{\text{ст}})^{0,25},$$

где $\text{Pr}_{\text{ж}}$ и $\text{Pr}_{\text{ст}}$ - значения критерия Прандтля при средней температуре жидкости и стенки; при охлаждении $(\text{Pr}_{\text{ж}} / \text{Pr}_{\text{ст}})^{0,25}$ может быть принято равным 0,95 [1].

Показатели вина, воды и рассола принимаются по справочным данным:

Жидкость	Средняя температура, °C	μ , Па * с	C, Дж/(кг*К)	λ , Вт/(м * К)	ν , м ² / с
Секция водяного охлаждения					
Вино	$\frac{65 + 23}{2} = 44$	$10,7 * 10^{-4}$	3700	0,54	$1,02 * 10^{-6}$
Вода	$\frac{18 + 36,12}{2} = 27$	$8,2 * 10^{-4}$	4178	0,63	$0,85 * 10^{-6}$
Секция рассольного охлаждения					
Вино	$\frac{23 + 8}{2} = 15,5$	$21 * 10^{-4}$	3800	0,47	$1,9 * 10^{-6}$
Рассол	$\frac{2,2 + (-5)}{2} = -1,4$	$32 * 10^{-4}$	3336	0,53	$2,6 * 10^{-6}$

Для секции водяного охлаждения:

для потока вина $\text{Pr}_{II} = \frac{10,7 * 10^{-4} * 3700}{0,54} = 7,33;$

$$\text{Re}_{II} = \frac{2 * 0,551 * 0,0028}{1,02 * 10^{-6}} = 3025;$$

$$\text{Nu}_{II} = 0,1 * 3025^{0,7} * 7,33^{0,43} * 0,95 = 61,01;$$

для потока воды $\text{Pr}_6 = \frac{8,2 * 10^{-4} * 4178}{0,63} = 5,44;$

$$\text{Re}_6 = \frac{2 * 0,551 * 0,0028}{0,85 * 10^{-6}} = 3630;$$

$$\text{Nu}_6 = 0,1 * 3630^{0,7} * 5,44^{0,43} * 0,95 = 61,09.$$

Для секции рассольного охлаждения:

$$\text{для потока вина } Pr_{II} = \frac{21,10 \cdot 10^{-4} \cdot 3800}{0,47} = 16,90;$$

$$Re_{II} = \frac{2 \cdot 0,551 \cdot 0,0028}{1,9 \cdot 10^{-6}} = 1624;$$

$$Nu_{II} = 0,1 \cdot 1624^{0,7} \cdot 16,9^{0,43} \cdot 0,95 = 53,65;$$

$$\text{для потока рассола } Pr_p = \frac{32 \cdot 10^{-4} \cdot 3336}{0,53} = 20,14;$$

$$Re_p = \frac{2 \cdot 0,367 \cdot 0,0028}{2,6 \cdot 10^{-6}} = 790;$$

$$Nu_p = 0,1 \cdot 790^{0,7} \cdot 20,14^{0,43} \cdot 0,95 = 36,81.$$

6. Расчет коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи:

$$\alpha = \frac{\lambda}{d_{\text{ЭКВ}}} Nu(d_{\text{ЭКВ}} = 2h);$$

$$k = \frac{1}{1/\lambda_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2} \quad \left[\delta = 0,0012 \text{ м}; \lambda = 15,9 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)} \right].$$

Для секции водяного охлаждения:

$$\text{со стороны вина } \alpha_{II} = \frac{0,54}{2 \cdot 0,0028} 61,01 = 5883 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

$$\text{со стороны воды } \alpha_v = \frac{0,63}{2 \cdot 0,0028} 61,09 = 6873 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{5883} + \frac{0,0012}{15,1} + \frac{1}{6873}} = 2529 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Для секции рассольного охлаждения:

$$\text{со стороны вина } \alpha_v = \frac{0,47}{2 \cdot 0,0028} 53,65 = 4502 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

$$\text{со стороны рассола } \alpha_p = \frac{0,53}{2 \cdot 0,0028} 36,81 = 3484 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{4502} + \frac{0,0012}{15,1} + \frac{1}{3484}} = 1700 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

7. Расчет поверхностей теплообмена:

$$F = Q / (k \Delta t).$$

Для секции водяного охлаждения

$$F_v = \frac{253000}{2529 \cdot 12,5} = 8 \text{ м}^2.$$

Для секции рассольного охлаждения

$$F_p = \frac{91600}{1700 * 16,9} \approx 3 \text{ м}^2.$$

8. Расчет количества пластин и пакетов.

Число пластин $n = F / f$;

Число пакетов $z = n / (2m)$.

Для секции водяного охлаждения $n_{\text{в}} = 8 / 0,198 \approx 40,4$;

$$z_{\text{в}} = 40,4 / 2,4 \approx 5,05.$$

После увеличения $z_{\text{в}}$ до целого числа 6 число пластин $x_{\text{в}} = 6 * 8 = 48$, а поверхность теплопередачи

$$F_{\text{в}} = 0,198 * 48 = 9,5 \text{ м}^2.$$

При этом число пакетов для воды

$$y_{\text{в}} = 48 / (8 * 2) = 3.$$

Для секции рассольного охлаждения

$$n_{\text{п}} = 3 / 0,198 = 15,15;$$

$$z_{\text{п}} = 15,15 / (2 * 4) = 1,89.$$

После округления $z_{\text{п}}$ до 2 число пластин возрастает до $x_{\text{п}} = 2 * 8 = 16$, а поверхность теплопередачи

$$F_{\text{п}} = 0,198 * 16 = 3,168 \text{ м}^2.$$

При этом число пакетов для рассола, как обусловлено, в 3 раза меньше, чем для вина, т. е. равно 0,67; фактически, конечно,

$$y_{\text{п}} = 1.$$

Формула компоновки охладителя

$$\frac{4 + 4 + 4 + 4 + 4 + 4}{8 + 8 + 8} \text{ и } \frac{4 + 4}{8}$$

или

$$\frac{4 * 6}{8 * 3} \text{ и } \frac{4 * 2}{8 * 1}.$$

9. Расчет гидравлических сопротивлений.

Необходимый напор (Па) для преодоления гидравлических сопротивлений в каналах одной секции

$$\Delta p = z \zeta \frac{\rho w^2}{2},$$

где z - число пакетов в секции ($z = \frac{n}{2m}$, здесь n - число пластин в секции; m - число каналов в пакете); ζ - коэффициент сопротивления канала, составленного из пластин П-2 ($\zeta = 2Eu = 8200 * \text{Re}^{-0,55}$; Eu - критерий Эйлера); ρ - плотность жидкости, кг/м³; w - скорость жидкости, м/с.

Для потока вина в секции водяного охлаждения

$$\zeta_{II} = 8200 * 3025^{-0,55} = 99,86;$$

$$\Delta p_{II} = 6 * 99,86 (962 * 0,551^2) / 2 = 0,029 \text{ МПа} \quad (\rho_{II} = 3720 \text{ кг/м}^3 \text{ при средней температуре } 44^\circ \text{ C}).$$

Для потока вина в секции рассольного охлаждения

$$\zeta_{II} = 8200 * 1624^{-0,55} = 140,60.$$

$$\Delta p_{II} = 2 * 140,6 \frac{974 * 0,551^2}{2} = 0,041 \text{ МПа} \quad (\rho_{II} = 974 \text{ кг/м}^3 \text{ при средней температуре } 16^\circ \text{ C}).$$

Суммарные потери напора на пути вина в обеих секциях составили $\sum \Delta p_{II} = 0,029 + 0,041 = 0,07 \text{ МПа}$, что представляет собой небольшую величину.

Потери напора для потоков воды и рассола будут еще меньше из-за более короткого пути их движения.

Тема № 3. Расчет сепаратора.

Исходные данные.

Тип сепаратора – тарельчатый, герметический, с центробежной пульсирующей и двухэтапной или частичной разгрузкой барабана; производительность до 6 м³/ч.

На основании опыта проектирования сепараторов аналогичных назначения и производительности выбранная конструкция имеет следующую техническую характеристику:

Частота вращения барабана, мин ⁻¹	4400
Наружный диаметр барабана, мм	630
Количество тарелок, шт	150
Диаметр тарелок, мм	
максимальный	382
минимальный	160
Угол наклона образующей тарелки, град	50
Межтарелочный зазор, мм	0,5
Вместимость шламowego пространства, дм ³	29,6
Объем, занимаемый межтарелочной жидкостью, дм ³	14,7

Основные физические показатели осветляемых вин

Плотность, кг/м ³	950...1150
Кинематическая вязкость, м ² /с	(1,7...11,5) 10 ⁻⁶
Температура, °С	0...20
Концентрация взвешенных частиц в исходном продукте, %, не более	6

Проведенные экспериментальные поисковые работы на лабораторной модели сепаратора с разделяющим фактором $\Phi_{\text{экспл}} = 182 \cdot 10^2 \text{ м}^3/\text{с}^2$ показали, что удовлетворительное осветление столовых и крепких вин было достигнуто при производительности сепаратора около 450 л/ч.

Выполнить следующее:

- определить производительность сепаратора;
- рассчитать мощность электродвигателя привода сепаратора;
- сделать гидравлический расчет барабана при варианте его двухэтапной разгрузки.

Порядок расчета.

Производительность сепаратора определяют его разделяющим фактором (м³/с²)

$$\Phi = \omega^2 z \operatorname{tg} \alpha (R_{\max}^3 - R_{\min}^3),$$

где $\omega = \frac{\pi n}{30}$ – угловая скорость вращения барабана, с⁻¹; n – частота вращения, мин⁻¹; z – число тарелок, шт.; α – угол наклона образующей тарелки, град; R_{\max} и R_{\min} – соответственно максимальный и минимальный радиусы тарелки, м.

После подстановки значений

$$\omega = \pi \cdot 4400 / 30 = 460 \text{ с}^{-1};$$

$$\Phi = 460^2 \cdot 150 \operatorname{tg} 50^\circ (0,191^3 - 0,080^3) = 2440 \cdot 10^2 \text{ м}^3/\text{с}^2.$$

Имея в виду известную зависимость

$$\frac{\Pi_{\text{проект}}}{\Pi_{\text{экспл}}} = \frac{\Phi_{\text{проект}}}{\Phi_{\text{экспл}}},$$

Производительность проектируемого сепаратора

$$\Pi_{\text{проект}} = \frac{450 \cdot 2440 \cdot 10^2}{182 \cdot 10^2} = 6,03 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Мощность. Необходимую для привода сепаратора мощность (кВт) определяют по формуле [3]

$$N_{\text{общ}} = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + N_4}{\eta},$$

где N_1 – мощность, необходимая для вывода отсепарированного продукта, кВт; N_2 – мощность, необходимая для выбрасывания осадка, кВт; N_3 – мощность, необходимая для преодоления трения барабана о воздух, кВт; N_4 – мощность, необходимая для преодоления трения в опорных подшипниках вала барабана, кВт; η – КПД привода ($\eta = 0,88$).

$$N_1 = \frac{\Pi \omega^2 (R_{\text{д}}^2 - r^2) \rho}{2 \cdot 1000},$$

где Π – производительность сепаратора, $\text{м}^3/\text{с}$ ($\Pi = 6/3600 \text{ м}^3/\text{с}$); ω – угловая скорость барабана, с^{-1} ; $R_{\text{д}}$ – радиус напорного диска, м ($R_{\text{д}} = 0,065 \text{ м}$); r – радиус перелива, м ($r = 0$, так как сепаратор герметический); ρ – плотность продукта, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Подставив значения, получим

$$N_1 = \frac{6 \cdot 460^2 \cdot 0,065^2 \cdot 1150}{3600 \cdot 1000} = 1,703 \text{ кВт};$$

$$N_2 = \frac{q v_6^2}{2 \cdot 1000},$$

где q – количество выбрасываемого осадка, $\text{кг}/\text{с}$

$$q = \frac{V_{\text{ш}} \cdot \rho_{\text{ос}}}{\tau},$$

здесь $V_{\text{ш}}$ – вместимость шламового пространства, м^3 ; $\rho_{\text{ос}}$ – плотность осадка, $\text{кг}/\text{м}^3$; τ – длительность разгрузки, с; $V_{\text{ш}} = 0,0296 \text{ м}^3$, $\rho_{\text{ос}} = 1180 \text{ кг}/\text{м}^3$, $\tau = 60 \text{ с}$. v_6 – окружная скорость барабана, $\text{м}/\text{с}$; $v_6 = \omega R_1$, где $R_1 = 0,291 \text{ м}$.

Подставив значения, получим

$$N_2 = \frac{0,0296 \cdot 1180 \cdot 460^2 \cdot 0,291^2}{60 \cdot 2 \cdot 1000} = 5,512 \text{ кВт};$$

$$N_3 = 1,8 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_B \cdot \omega^3 \sum (F_i R_i^3),$$

где ρ_B - плотность воздуха при 20°C, кг/м³; $\rho_B = 1,29$ кг/м³; ω - угловая скорость барабана, с⁻¹; $\omega = 460$ с⁻¹; F_i - боковая поверхность i -го участка барабана, м²; R_i - средний радиус того же участка барабана, м.

Для того, чтобы определить F_i , необходимо разбить контур барабана на отдельные участки (рис.1 и табл.1

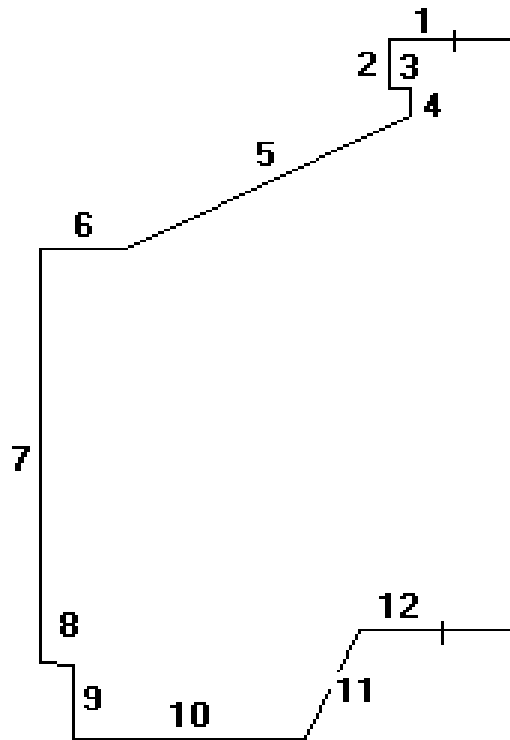


Рис.1. Контур барабана сепаратора

Таблица 1

№ участка	F_i , м ²	R_i , м	R_i^3 , м ³	$F_i R_i^3$
1	0,0270	0,0655	0,000281	0,0000076
2	0,0264	0,1000	0,001000	0,0000264
3	0,0095	0,0917	0,000771	0,0000074
4	0,0052	0,0835	0,000582	0,0000300
5	0,1570	0,1467	0,003157	0,0004950
6	0,1142	0,2550	0,016580	0,0023900
7	0,4470	0,3150	0,031256	0,0139700
8	0,0720	0,2795	0,021830	0,0016700
9	0,1120	0,2570	0,016974	0,0019000
10	0,1538	0,2050	0,008615	0,0013220
11	0,0303	0,1100	0,001331	0,0000403
12	0,0138	0,0600	0,000216	0,0000029
Σ	1,2084			0,0200347

Подставив значения, получим

$$N_3 = 1,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1,29 \cdot 460^3 \cdot 0,0200347 = 4,520 \text{ кВт};$$

$$N_4 = \frac{f m v_B}{1000},$$

где f – коэффициент трения ($f = 0.03$); m – масса вращающихся частей барабана, кг (включая массу барабана 712 кг, массу жидкости в нем 16,9 кг и массу осадка в шламовом пространстве 34,9 кг; последние цифры определяются соответствующими объемами и плотностью); v_B – окружная скорость вала, м/с;

$$v_B = \frac{\omega \cdot d}{2},$$

здесь d – диаметр вала; $d = 0,07$ м.

Подставив значения, получим

$$N_4 = \frac{0,03 \cdot (712 + 16,9 + 34,9) 460 \cdot 0,07}{1000 \cdot 2} = 3,680 \text{ кВт};$$

тогда

$$N_{\text{общ}} = \frac{1,703 + 5,215 + 4,520 + 3,680}{0,88} = 17,17 \text{ кВт}.$$

По полученным данным выбираем электродвигатель АО2-62-4 мощностью 17 кВт.

5. Список рекомендуемой литературы

1. Современные технологии получения и переработки полимерных и композиционных материалов: учебное пособие / В.Е. Галыгин, Г.С. Баронин, В.П. Таров, Д.О. Завражин. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 180 с. ISBN 978-5-8265-1141-1.
2. Основы механики, проектирования и технологии изготовления изделий из слоистых композиционных материалов: учеб. пособие / Ю. С. Первушин, В. С. Жернаков; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа. 2008. – 303с.
3. Технологические процессы производства аэрокосмических конструкций из композиционных материалов: лабораторный практикум / Ю.А. Вашуков, Т.А. Митрошкина. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2016. – 76 с.: ил. ISBN 978-5-7883-1100-5
4. Композиционные материалы: справочник / В.В. Васильев, В.Д. Протасов, В.В. Болотин [и др.]; под ред. Васильева В.В. и Тарнопольского М.Р. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.
5. Басов Н.И., Казанков Ю.В., Любартович В.А. Расчет и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов. М.: Химия, 1986. 488 с.
6. Бушуев В.В. Практика конструирования машин: справочник. М.: Машиностроение, 2006. 448 с.
7. Йоханнабер Ф. Литьевые машины. Справочное руководство. Перевод с англ. под ред. Калинчева Э.Л. Санкт-Петербург: Профессия, 2010. 432 с.
8. Компьютерные технологии при проектировании и эксплуатации технологического оборудования: учеб. пособие для вузов / Г.В. Алексеев [и др.]. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: ГИОРД, 2006. 296 с.
9. Конструирование и расчет машин химических производств / Ю.И. Гуревич, И.Н. Карасев, Э.Э. Кольман-Иванов и др. Под ред. Э.Э. Кольман-Иванова. М.: Машиностроение, 1986. 408 с.
10. Кошкин Л.Н. Роторные и роторно-конвейерные линии. 3-е изд. перераб. и доп., М.: Машиностроение, 1991. 400 с.
11. Справочник по технологии изделий из пластмасс / Г.В. Сагалаев, В.В. Абрамов и др. Под ред. Г.В. Сагалаева, В.В. Абрамова, В.Н. Кулезнева, С.В. Власова. М.: Химия, 2000. 424 с.
12. Справочник по проектированию оснастки для переработки пластмасс / А.П. Пантелеев, Ю.М. Шевцов, И.А. Горячев. М.: Машиностроение, 1986. 400 с.