

**Министерство образования, науки и молодежной политики  
Краснодарского края**  
государственное бюджетное профессиональное образовательное  
учреждение Краснодарского края  
**«КРАСНОДАРСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ»**

## **РАСЧЕТ ВЫПАРНОЙ СТАНЦИИ САХАРНЫХ ЗАВОДОВ**

Методические указания к расчетным работам по курсу  
"Проектирование предприятий", по курсовому и дипломному  
проектированию для студентов всех форм обучения  
специальности 19.02.04 Технология сахаристых продуктов

Краснодар 2021

УДК 664.1  
ББК 36.84я723  
Н 34

**Т.В. Науменко**

Методические указания «Расчет выпарной станции сахарных заводов» разработаны в соответствии с требованиями ФГОС СПО по специальности 19.02.04 Технология сахаристых продуктов, утвержденного Министерством образования и науки Российской Федерации приказ № 374 от 22.04.2014г

В методических указаниях предложена методика расчета многокорпусной выпарной станции с учетом технологической схемы переработки свеклы на сахар-песок. Дан пример расчета для типовой технологической схемы и нормативные показатели.

Пособие предназначено для студентов ссузов, обучающихся по направлению подготовки специалистов среднего звена «Технология сахаристых продуктов», и будет полезно преподавателям – руководителям курсового и дипломного проектирования, а также для проведения практических занятий по дисциплине МДК.01.01 Технология получения свекловичного сахара

**Рецензенты:**

Яндолина Е.В., главный технолог ООО «Динск-Сахар»

## **ВВЕДЕНИЕ**

Многокорпусная выпарная станция (МВС) на сахарном заводе является наиболее крупным потребителем тепла, а также источником вторичных паров, используемых для нагрева технологических потребителей. Она занимает центральное место в тепловой схеме.

Расчет невозможен без знания технологической схемы, так как работа МВС связана с технологическими процессами переработки свеклы.

Снижение производительности МВС за счет неверного расчета приводит к снижению производительности сахарного завода, ухудшению качества готового продукта, к перерасходу топлива.

В данном методическом пособии представлена методика расчета выпарной станции, установленной в типовой технологической схеме переработки свеклы.

На основании предложенной методики произведен пример расчета МВС для сахарного завода мощностью 4500 тонн свеклы в сутки.

## 1. ЗАДАЧИ РАСЧЕТА

В результате расчета должны быть получены размеры поверхностей нагрева корпусов МВС.

Расчет МВС основан на применении уравнений материального и теплового баланса и содержит три основных раздела:

- определение количества выпаренной воды;
- определение термических сопротивлений корпусов;
- расчет поверхности нагрева.

Исходя из вышеизложенного необходимо последовательно:

1. Определить расход пара на технологические потребители в соответствии с выбранной технологической схемой.
2. Рассчитать общую разность температур и с учетом потерь - общую полезную разность температур.
3. Распределить полезную разность температур по корпусам МВС.
4. Составить схему распределения вторичных паров по технологическим потребителям.
5. Определить количество воды, выпаренной по корпусам и в МВС.
6. Вычислить коэффициенты теплопередачи с учетом термического сопротивления.
7. Определить размеры поверхностей корпусов МВС.
8. Уточнить напряжение поверхности нагрева и полезный перепад температур.
9. Уточнить размеры поверхностей корпусов МВС.

## 2. РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ВЫПАРЕННОЙ ВОДЫ

### 2.1. Определение расхода пара на технологические потребители

Расход пара на технологические потребители зависит от технологической схемы переработки свеклы. В настоящее время в качестве типовой /1 / принята схема с прогрессивной преддефекацией, холодно-горячей дефекацией, первой и второй сатурацией с отделением осадка между ними и после второй сатурации, сульфитацией, выпариванием и увариванием утфелей в два продукта (рис. 1.)

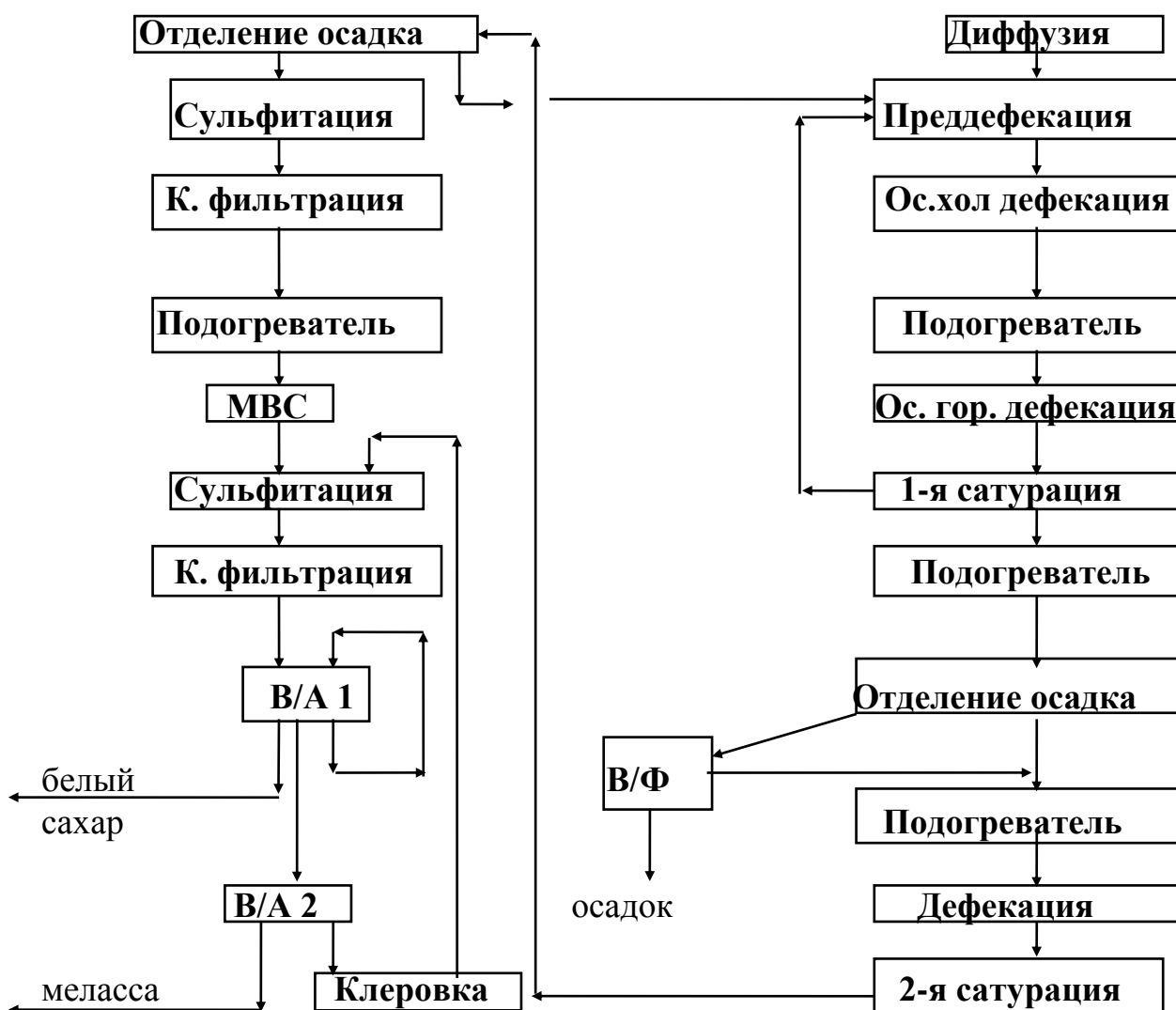


Рисунок 1 - Технологическая схема

Потребителями тепла в этой схеме являются диффузионные аппараты, подогреватели питательной воды, подогреватели между холодной и горячей

ступенями дефекации, подогреватели перед отстойниками сока 1-й ступени, подогреватели перед 2-й сатурацией, подогреватели перед МВС, вакуум-аппараты первого и второго продуктов, подогреватели сиропа с клеровкой и сиропа в сборниках.

Для определения расхода пара на технологические потребители необходимо выполнить расчет продуктов в основных отделениях сахарного завода / 2/.

Экономичность работы МВС определяется кратностью испарения, то есть отношением количества выпаренной воды к количеству греющего пара на первый корпус выпарки. Кратность испарения тем выше, чем больше вторичных паров отбирается с последних ступеней МВС. Поэтому подогреватели принято разбивать на группы, каждая из которых обогревается вторичным паром из разных ступеней МВС. При выборе ступени МВС необходимо чтобы конечная температура нагреваемого продукта была на 10-12<sup>0</sup>С ниже температуры вторичного пара с этой ступени.

Количество продуктов и температурный режим их нагрева с учетом разделения по группам с указанием предварительного распределения вторичных паров заносятся в таблицу 1.

Таблица 1 - Температурный режим нагрева продуктов

Продукты	Количество продуктов, %	СВ, %	Температуры		Греющий пар
			t <sub>н</sub> , <sup>0</sup> С	t <sub>к</sub> , <sup>0</sup> С	
Свекловичная стружка Жомопрессовая вода Питательная вода Диффузионный сок в подогревателях: 1-я группа 2-я группа Сок 1-й сатурации перед фильтрацией Сок перед 2-й сатурацией в подогревателях: 1-я группа 2-я группа	100				

Продолжение табл. 1

Продукты	Количество продуктов, %	СВ, %	Температуры, t <sup>0</sup> С	Греющий пар
Сок перед МВС в подогревателях: 1-я группа 2-я группа 3-я группа Сироп с клеровкой Вакуум-аппараты: 1-го продукта 2-го продукта 1-й оттек утфеля 1 2-й оттек утфеля 1				

По количеству продуктов и температурным режимам вычисляют количество тепла и пара на их обогрев.

Расход пара (Д) в % к массе свеклы на подогреватели определяется по формуле 2.1.

$$D = \frac{A_{np} \cdot C_{np} \cdot (t_{кпр} - t_{нпр})}{r}, \quad (2.1)$$

где  $A_{np}$  - количество продукта, подвергающегося нагреву, % к массе свеклы;

$C_{np}$  - теплоемкость продукта, кДж/(кг<sup>0</sup>С);

$t_{нпр}$  - температура продукта до подогревателя, <sup>0</sup>С;

$t_{кпр}$  - температура продукта после подогревателя, <sup>0</sup>С;

$r$  - скрытая теплота парообразования при температуре вторичного пара, кДж/кг.

Расход пара на паровые рубашки диффузионного аппарата определяется из уравнения теплового баланса.

Приход тепла:

Со стружкой:

$$Q_{стр} = A_{стр} \cdot C_{стр} \cdot t_{стр}, \quad (2.2)$$

где  $Q_{стр}$  - тепло, вносимое в аппарат стружкой;

$A_{стр}$  - количество стружки, % к массе свеклы;

$C_{стр}$  - теплоемкость стружки, кДж/(кг<sup>0</sup>С).

$t_{стр}$  - температура стружки, <sup>0</sup>С.

С питательной водой:

$$Q_{пв} = A_{пв} \cdot C_{пв} \cdot t_{пв}, \quad (2.3)$$

где  $Q_{пв}$  - тепло, вносимое в аппарат питательной водой;  
 $A_{пв}$  - количество питательной воды, определяемое из уравнения материального баланса, % к массе свеклы,

$$A_{пв} = A_{дс} + A_{сж} - A_{стр}, \quad (2.4)$$

где  $A_{дс}$  - количество диффузионного сока, % к массе свеклы;  
 $A_{сж}$  - количество сырого жома, % к массе свеклы ( для наклонных диффузионных аппаратов  $A_{сж} = 80\%$ ).

В случае возврата жомопрессовой воды ( $A_{жв}$ ) в диффузионный аппарат, % к массе свеклы,

$$A_{пв} = A_{жс} + A_{бв}, \quad (2.5)$$

где  $A_{бв}$  - количество барометрической воды, % к массе свеклы;

$$A_{жс} = A_{сж} \left( 1 - \frac{CB_{ож}}{CB_{сж}} \right), \quad (2.6)$$

где  $CB_{сж}$  - массовая доля сухих веществ в сыром жоме, %;  
 $CB_{ож}$  - массовая доля сухих веществ в отжатом жоме, %.

С паром в паровые камеры:

$$Q_{пар} = D_{пар} \cdot i, \quad (2.7)$$

где  $Q_{пар}$  - количество пара, % к массе свеклы;  
 $i$  - энтальпия пара, Дж/кг.

Тогда общий приход тепла определяется как сумма теплот вносимых в аппарат

$$Q_{прих} = \sum_{i=1}^n Q_i. \quad (2.8)$$

Унос тепла из диффузионного аппарата:

с диффузионным соком

$$Q_{дс} = A_{дс} \cdot C_{дс} \cdot t_{дс}, \quad (2.9)$$

где  $C_{дс}$  - теплоемкость диффузионного сока, кДж/(кг<sup>0</sup>С);  
 $t_{дс}$  - температура диффузионного сока, <sup>0</sup>С ( для наклонных диффузионных аппаратов  $t_{дс} = 40 - 50^{\circ}\text{C}$ ),



с НЕОТЖАТЫМ ЖОМОМ

$$Q_{сж} = A_{сж} \cdot C_{сж} \cdot t_{сж}, \quad (2.10)$$

где  $C_{сж}$  - теплоемкость неотжатого жома, кДж/(кг<sup>0</sup>С);  
 $t_{сж}$  - температура неотжатого жома, <sup>0</sup>С;

с конденсатом пара из паровых рубашек:

$$Q_{кон} = D \cdot C_{кон} \cdot t_{кон}, \quad (2.11)$$

где  $C_{кон}$  - теплоемкость конденсата, кДж/(кг<sup>0</sup>С);  
 $t_{кон}$  - температура конденсата, <sup>0</sup>С;

потери тепла в окружающую среду:

$$Q_{пот} = 1,8 \cdot 10^3 \quad \text{кДж.}$$

Из условия теплового баланса, тепло вносимое в аппарат равно теплу уносимого из него.

Определим количество пара ( $D_{пар}$ ) в паровые рубашки:

$$D_{пар} = \frac{Q_{дс} + Q_{сж} + Q_{пот} - Q_{стр} - Q_{пв}}{i - C_{кон} \cdot t_{кон}}, \quad (2.12)$$

Расход пара на обогрев вакуум-аппаратов определяется по количеству воды, выпаренной в них.

Для двухкристаллизационной схемы уваривания продуктов расход пара на вакуум-аппараты первого продукта ( $D_1$ ) равен:

$$D_1 = 1,1 \cdot \left[ A_{сир} \left( 1 - \frac{CB_{сир}}{CB_{y1}} \right) + A_{кл} \left( 1 - \frac{CB_{кл}}{CB_{y1}} \right) + A_{б11} \left( 1 - \frac{CB_{б11}}{CB_{y1}} \right) \right] \quad (2.13)$$

где  $A_{сир}$ ,  $A_{кл}$ ,  $A_{б11}$  - количество сиропа, клеровки и второго оттека утфеля 1, возвращаемого на уваривание утфеля 1, % к массе свеклы;

$CB_{y1}$ ,  $CB_{сир}$ ,  $CB_{кл}$ ,  $CB_{бп}$  - массовая доля сухих веществ в соответствующих продуктах, % к массе свеклы.

Расход пара на вакуум-аппараты второго продукта ( $D_2$ ) определяется как:

$$D_2 = 1,1 \left[ A_{3П} \left( 1 - \frac{СВ_{3П}}{СВ_{у2}} \right) + A_{б12} \left( 1 - \frac{СВ_{3П}}{СВ_{у2}} \right) \right], \quad (2.14)$$

где  $A_{3П}$ ,  $A_{бп1.2}$  - количество первого и второго оттеков, направляемых на уваривание утфеля 2, % к массе свеклы;

$СВ_{3П}$ ,  $СВ_{у2}$  - массовая доля сухих веществ в первом оттоке и в утфеле 2, % к массе свеклы.

В настоящее время на сахарных заводах в продуктовом отделении применяется технологическая схема с увариванием последнего продукта на кристаллической основе предыдущего. В этом случае расход на вакуум-аппараты первого и промежуточного продуктов рассчитывается как и для двухкристаллизационной схемы, а для вакуум-аппаратов конечного продукта ( $D_3$ ) по формуле:

$$D_3 = 1,1 \left[ A_{3П2} \left( 1 - \frac{СВ_{3П2}}{СВ_{уК}} \right) + A_{уНК} \left( 1 - \frac{СВ_{у2}}{СВ_{уК}} \right) \right], \quad (2.15)$$

где  $A_{3П2}$ ,  $A_{уНК}$  - количество первого оттока промежуточного утфеля и количество промежуточного утфеля направляемого в качестве кристаллической основы на уваривание конечного утфеля, % к массе свеклы;

$СВ_{3П2}$ ,  $СВ_{уК}$  - массовая доля сухих веществ в первом оттоке промежуточного утфеля и в конечном утфеле, % к массе свеклы.

## ***2.2. Температурные режимы работы МВС***

На сахарных заводах получили распространение МВС четырехступенчатые под разрежением с концентратом и пятиступенчатые под разрежением.

Наиболее распространенный тип МВС - четырехступенчатая под разрежением с концентратом. Преимуществом такой станции является увеличенная испарительная способность ( по сравнению с трехступенчатой), большой общий перепад температур и повышенная устойчивость при колебаниях в отборе вторичных паров. Она предусматривает испарение 95-100% воды к массе свеклы.

Температурный режим данной МВС представлен в табл.2.

Таблица 2- Температурный режим 4-х ступенчатой выпарной станции

Показатели	Корпуса МВС				Концен- тратор
	1	2	3	4	
Температура греющего пара, °С	132	24.5	115	101	84
Полезная разность температур, °С	6	7.5	10.5	12	15.6
Температура кипения, °С	126	117	104.5	89	68.4
Температурная депрессия, °С	0.5	1.0	2.5	4.0	3.4
Температура вторичного пара, °С	125.5	116	102	85	65
Гидравлическая депрессия, °С	1	1	1	1	-
Температура конденсата, °С	130	122.5	113	99	82
Скрытая теплота парообразования при температуре конденсации, кДж/кг	2174	2195	2222	2259	-

Пятиступенчатая МВС под разрежением обладает повышенной кратностью испарения и большей температурой греющего пара в первом корпусе. Она применяется при высоких откачках диффузионного сока. Основной ее недостаток - громоздкость из-за большего числа аппаратов и трудности в использовании вторичных паров последних корпусов из-за их низкой температуры. В настоящее время при проектировании новых заводов пятиступенчатая МВС рекомендуется в качестве типовой.

Температурный режим данной МВС представлен в табл.3.

Таблица 3-Температурный режим 5-и ступенчатой выпарной станции

Показатели	Корпуса МВС				
	1	2	3	4	5
Температура греющего пара, °С	136	128.5	119	109	96
Полезная разность температур, °С	6	8	8	9.5	6.5
Температура кипения, °С	130	120.5	111	99.5	89.5
Температурная депрессия, °С	0.5	0.5	1.0	2.5	4.0
Температура вторичного пара, °С	129.5	120	110	97	85.5
Гидравлическая депрессия, °С	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Температура конденсата, °С	134	126.5	117	107	94
Скрытая теплота парообразования при температуре конденсации, кДж/к	2162	2187	2211	2218	2272

### 2.3. Расчет количества выпаренной воды

Из очищенного сока в МВС выпаривается вода и получается сироп с содержанием сухих веществ в нем равным 65%. Количество воды, которое необходимо выпарить определяется из уравнений материального баланса по потокам и содержанием сухих веществ. Совместное их решение позволяет определить требуемое количество воды ( $W_{тр}$ )

$$W_{тр} = A_{очс} \left( 1 - \frac{СВ_{очс}}{СВ_{сир}} \right), \quad (2.16)$$

где  $A_{очс}$  - количество очищенного сока, поступающего на МВС, % к массе свеклы;

$СВ_{очс}$ ,  $СВ_{сир}$  - массовая доля сухих веществ в очищенном соке и сиропе, % к массе свеклы.

Реальное количество воды, выпариваемое в МВС, зависит от отбора вторичных паров. Поэтому отбор необходимо осуществить так, чтобы он привел к выпариванию требуемого количества. Расчет проводится без учета коэффициентов испарения и самоиспарения, так как они не оказывают существенного влияния на выбор поверхности теплообмена корпусов МВС (стандартные поверхности отличаются друг от друга в ряду на 10-15%, а уменьшение поверхности теплообмена за счет эффекта самоиспарения не более чем на 5%). В соответствии с предварительным распределением вторичных паров на технологические потребители тепла (табл.1) проводится расчет действительного количества выпаренной воды (табл.4).

Таблица 4- Расчет количества вторичных паров

Технологические потребители тепла	Ретур пар	Корпуса МВС			
		1	2	3	4
Подогреватели питательной воды					
Паровые камеры диффузионного аппарата				х	
Подогреватели диффузионного сока:					
1-я группа					
2-я группа				х	
Подогреватель сока перед отстойниками				х	
Подогреватели сока перед 2-й сатурацией:					
1-я группа				х	
2-я группа			х		

Продолжение таблицы 4

Технологические потребители тепла	Ретур пар	Корпуса МВС			
		1	2	3	4
Подогреватели сока перед МВС:					
1-я группа			х		
2-я группа	х				
3-я группа					
Подогреватели сиропа			х		
Вакуум-аппараты			х		
Подогреватели оттеков					
Калорифер сушки					
<b>Σ</b>		E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>

х - рекомендуемый вторичный пар для обогрева технологических потребителей.

В таблице 4 необходимо просуммировать величины отбора паров по корпусам МВС, то есть определить E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub> и E<sub>4</sub>.

Чтобы МВС была экономичной не должно быть отбора паров на концентратор.

Поэтому количество выпаренной воды в четвертом корпусе МВС равно количеству вторичных паров с этого корпуса:

$$W_4 = E_4 \quad (2.17)$$

Тогда количество воды, выпаренное в третьем корпусе равно:

$$W_3 = W_4 + E_3, \quad (2.18)$$

во втором корпусе

$$W_2 = W_3 + E_2, \quad (2.19)$$

и в первом корпусе

$$W_1 = W_2 + E_1, \quad (2.20)$$

Действительное количество воды ( $W_d$ ) выпаренное в МВС равно сумме выпаренной воды по корпусам:

$$W_{\text{д}} = W_1 + W_2 + W_3 + W_4, \quad (2.21)$$

Сравниваем требуемое количество ( $W_{\text{тр}}$ ) с действительным. Если эти показатели равны, то распределение вторичных паров осуществлено верно и можно приступить к определению поверхностей нагрева МВС. Если эти показатели не равны, то необходимо перераспределить отбор вторичных паров.

При этом следует иметь в виду;

1) при переносе пароотбора на корпус ниже количество выпаренной воды увеличивается;

2) при переносе пароотбора на корпус выше количество выпаренной воды уменьшается и ухудшаются экономические показатели работы МВС;

3) при переносе пароотбора на корпус ниже разность температур вторичного пара и конечной температуры нагреваемого потребителя тепла не должна быть меньше  $10^{\circ}\text{C}$ .

Важным показателем работы МВС является кратность испарения:

$$K_{\text{ис}} = \frac{W_d}{W_1}, \quad (2.23)$$

Максимальная кратность испарения МВС равна количеству корпусов. Поэтому чем больше кратность испарения, тем меньше тепла потребляет МВС.

### 3. РАСЧЕТ ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВА КОРПУСОВ

#### 3.1. Определение напряжения поверхности нагрева

Расчет поверхности нагрева корпусов проводят итерационным методом.

Вначале задаются напряжением поверхности нагрева по испаряемой воде ( $U$ ), т.е. количеством воды, выпариваемой с  $1 \text{ м}^2$  поверхности нагрева в единицу времени.

В качестве нормальных значений напряжений поверхностей нагрева для предварительного расчета можно рекомендовать следующие:

для четырехступенчатой МВС с концентратором:

- 1-й корпус - 20-30 кг/(м<sup>2</sup>ч);
- 2-й корпус - 16-20 кг/(м<sup>2</sup>ч);
- 3-й корпус - 10-15 кг/(м<sup>2</sup>ч);
- 4-й корпус - 6- 9 кг/(м<sup>2</sup>ч);

для пятиступенчатой МВС:

- 1-й и 2-й корпуса - 20-30 кг/(м<sup>2</sup>ч);
- 3-й корпус - 16-20 кг/(м<sup>2</sup>ч);
- 4-й корпус - 10-15 кг/(м<sup>2</sup>ч);
- 5-й корпус - 6- 9 кг/(м<sup>2</sup>ч).

По принятым напряжениям поверхности нагрева ( $U_i$ ) определяем поверхность нагрева ( $F_i$ , м<sup>2</sup>):

$$F_i = \frac{10 \cdot A \cdot W_i}{24 \cdot U_i}, \quad (3.1)$$

где  $W_i$  - количество воды, испаряемой в  $i$ -ом корпусе, % к массе свеклы;

$A$  - производительность завода, тонн/сутки.

По полученным значениям поверхностей нагрева выбираем стандартное ближайшее значение ( $F_{\text{ист}}$ ).

Промышленность выпускает выпарные аппараты типа РЗ-ПВА со следующими техническими характеристиками (табл.5).

Таблица 5- Характеристики выпарных аппаратов

Наименование	Площадь поверхности нагрева, м <sup>2</sup>					
	1000	1180	1500	1800	2120	2300
Диаметр корпуса, мм	3200	3200	3200	3600	3600	3600
Высота, мм						
общая	10480	10480	11550	11691	13280	13280
нижней части	4090	4090	4650	4753	5553	5553
верхней части	6380	6380	6930	6850	7630	7630
Длина греющих трубок, мм	3000	3000	3560	3560	4360	4360

Уточняем напряжение поверхности нагрева:

$$U_i^1 = \frac{10 \cdot A \cdot W_i}{24 \cdot F_{\text{icc}}} \quad (3.2)$$

### 3.2. Определение коэффициентов теплопередачи

Коэффициент теплопередачи с учетом накипеобразования определяем из уравнения аддитивности:

$$K_{сэ} = \frac{\varphi}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{см}}{\lambda_{см}}}, \quad (3.3)$$

где  $K_{сэ}$  - среднеэксплуатационный коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup> °К);

$\varphi$  - коэффициент использования поверхности нагрева;

$\alpha_1$  - коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося пара к стенке, Вт/(м<sup>2</sup> °К);

$\alpha_2$  - коэффициент теплоотдачи от стенки к кипящему продукту, Вт/(м<sup>2</sup> °К),

$\delta_{см}$  - толщина стенки, м,

$\lambda_{см}$  - коэффициент теплопроводности стенки, Вт/м °К.

Все коэффициенты, входящие в уравнение аддитивности зависят от напряжения поверхности нагрева. Коэффициенты использования поверхности нагрева определяются при помощи графиков (рис. 2, 3).



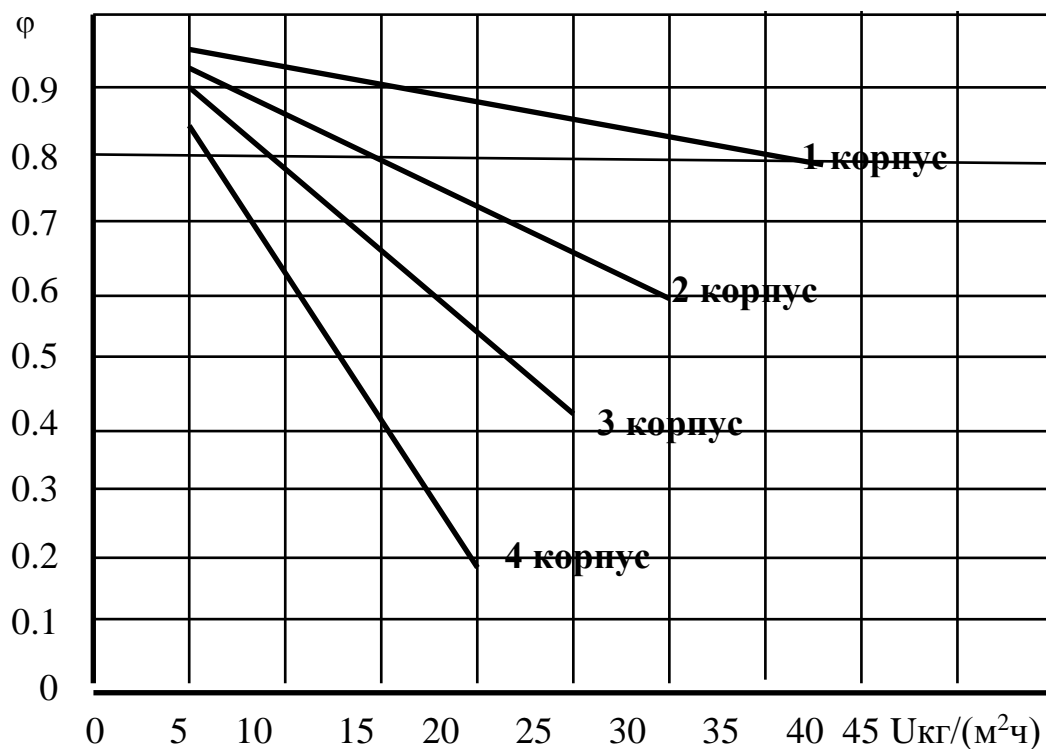


Рисунок 2 - Зависимость коэффициента использования поверхности нагрева от величины напряжения корпуса выпарного аппарата для четырехступенчатой МВС с концентратором

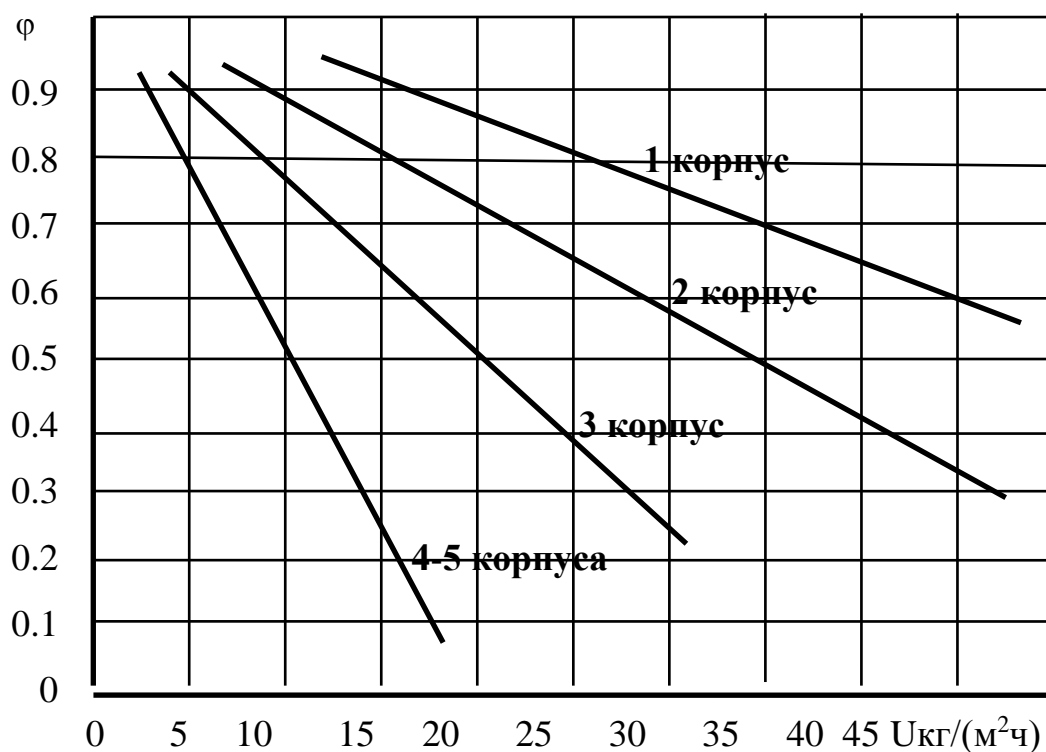


Рисунок 3 - Зависимость коэффициента использования поверхности нагрева от величины напряжения корпуса выпарного аппарата для пятиступенчатой МВС

Расчетная формула для определения коэффициента теплоотдачи от пара к стенке ( $\alpha_1$ ), в  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{К})$ , полученная М.А.Кичигиным и Г.Н.Костенко из уравнения С.С.Кутателадзе, имеет вид:

$$\alpha_1 = \frac{A_1}{(ql)^{0.33}}, \quad (3.4)$$

где  $A_1$  - расчетный коэффициент, зависящий от средней температуры конденсата (рис.4);  
 $q$  - удельная тепловая нагрузка,  $\text{дж}/\text{м}^2$ ,

$$q = r \cdot U \quad (3.5)$$

где  $r$  - скрытая теплота парообразования,  $\text{дж}/\text{кг}$ ;  
 $l$  - высота греющей трубки, м.

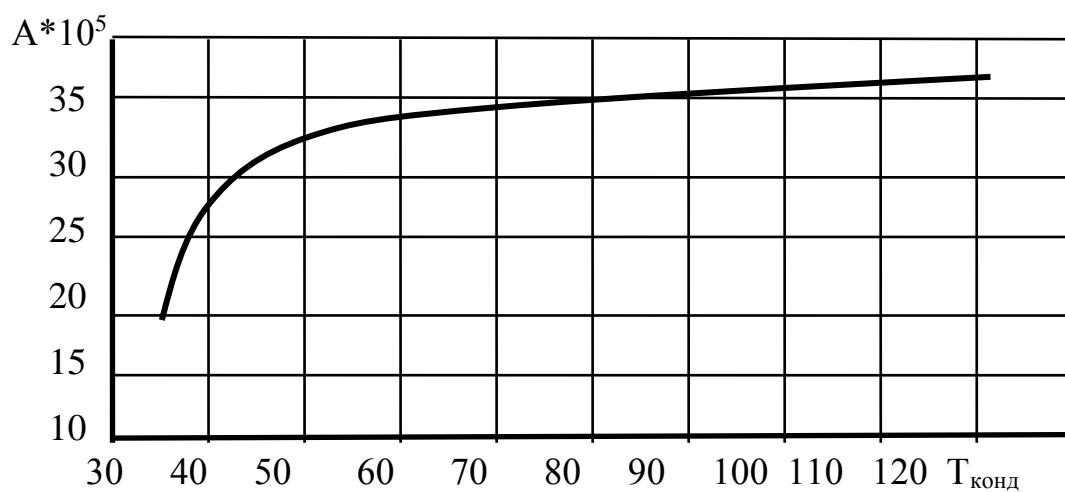


Рисунок 4- Величина расчетного коэффициента  $A_1$  в зависимости от температуры конденсата

Для вычисления коэффициента теплоотдачи от станки к нагреваемому раствору ( $\alpha_2$ )  $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$  можно использовать уравнение:

$$\alpha_2 = A_2 U^{0.6}, \quad (3.6)$$

где  $A_2$  - расчетный коэффициент, зависящий от физических параметров раствора и вторичного пара (рис.5).

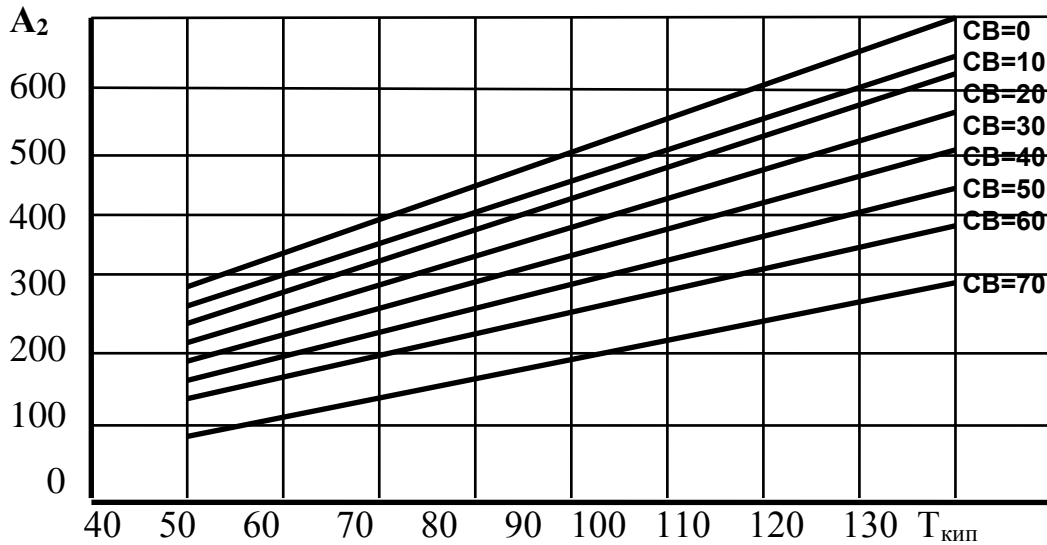


Рисунок 5- Зависимость расчетного коэффициента  $A_2$  от концентрации сухих веществ и температуры кипения

Содержание сухих веществ в растворе ( $CB_i$ ) в % в любом корпусе МВС можно вычислить по уравнению:

$$CB_i = \frac{A_{очс} \cdot CB_{очс}}{A_{очс} - \sum_{i=1}^n Wi}, \quad (3.7)$$

где  $\sum_{i=1}^n Wi$  - количество выпариваемой воды, включая  $n$ -й корпус, % к массе свеклы.

### 3.3. Определение полезной разности температур и уточнение поверхности нагрева корпусов

Определив значения среднеэксплуатационных коэффициентов теплопередачи ( $K_{сэi}$ ), находим потребный полезный температурный перепад ( $\Delta t_n^a$ ) с учетом уточненного напряжения поверхности нагрева ( $U_i^1$ ):

$$\Delta t_{ni}^n = \frac{r_i \cdot U_i}{3600 \cdot K_{сэ}}, \quad (3.8)$$

где  $r_i$  - скрытая теплота парообразования, дж/кг.

Сравниваем значения  $\Delta t_{ni}^n$  с заданными полезными разностями температур (табл.2, 3). Если они получились равными ( или незначительно отличаются друг от друга), то поверхности нагрева корпусов выбраны верно. Если отличие существенно, то необходимо уточнить напряжение поверхности нагрева ( $U_i''$ )

$$U_i'' = \frac{\Delta t_i}{\Delta t_{ni}^n} U_i' . \quad (3.9)$$

По найденному значению  $U_i''$  и формулам (3.1 - 3.8) повторяем расчет до тех пор, пока

$$\sum_{i=1}^n \Delta t_{ni}^n = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \quad (3.10)$$

или

$$\frac{\sum_{i=1}^n \Delta t_{ni}^n}{\sum_{i=1}^n \Delta t_i} = 0.98 - 1.02 \quad (3.11)$$

#### 4. РАСЧЕТ ПЯТИСТУПЕНЧАТОЙ МВС

В примере разобран расчет пятиступенчатой МВС на сахарном заводе мощностью 4500 тонн свеклы в сутки. В отделении очистки диффузионного сока принята технологическая схема с отделением осадка до основной дефекации. В кристаллизационном отделении принята двухпродуктовая технологическая схема с увариванием последнего утфеля на своей кристаллической основе. Продуктивный расчет выполнен на ЭВМ по усредненным данным, характерных для сахарных заводов Краснодарского края (табл. 6, 7).

Таблица 6- Продуктовый расчет сокоочистительного отделения

Исходные данные					
$S_{хстр} = 15.85$ $P_{уд} = 0.35$ $P_{нд} = 0.1$ $A_{ж} = 80$ $СВ_{сж} = 8.1$ $СВ_{жф} = 1.02$ $СВ_{ож} = 18.0$ $W_{сж} = 50.0$ $Э_{оч} = 40$ $П_{оч} = 0.2$ $A_{ипр} = 0.25$ $K_{дс} = 0.05$ $A_{и1} = 1.75$ $A_{и2} = 0.6$ $A_{и3} = 0.9$ $П_{лиз} = 21.1$ $П_{лсок} = 1.05$ $Щ_1 = 0.1$ $Щ_2 = 0.02$ $K_{ос} = 30$ $I_1 = 2.0$ $I_2 = 0.5$ $I_3 = 0.2$ $Дб_{дс} = 85.35$ $W_{гр} = 50$ $A_{дс} = 120$ $A_{возв} = 0$					
Состав и качество продуктов					
Продукт	А	Т	Сх	СВ	Дб
Диффузионный сок	120	18.04	15.4	15.04	85.35
Отжатый жом	33.36	-	-	-	-
Жомопрессовая вода	46.64	-	-	-	-
Барометрическая вода	53.36	-	-	-	-
Преддефекованный сок	122.7	-	-	-	-
Пересатурированный сок	122.6	-	-	-	-
Дефекованный сок	139.3	-	-	-	-
Сок 1-й сатурации	147.9	-	-	-	-
Сок 2-й сатурации	135.1	-	-	-	-
Очищенный сок	130.5	16.76	15.2	12.84	90.69

Таблица 7- Продуктовый расчет кристаллизационного отделения

Трехкристаллизационная схема с аффинацией желтого сахара (уваривание на кристаллической основе)					
Наименование продукта	А	Т	Сх	СВ	Дб
Очищенный сок	130.63	16.76	15.20	12.84	90.69
Сок на выпарку	126.20	16.19	14.57	12.84	90.69
Сироп	24.91	16.19	14.57	65	90.69
Клеровка желтого сахара 2	11.46	7.45	7.22	65	96.92
Сироп с клеровкой	36.37	23.64	21.79	65	92.17
Утфель 1	25.80	23.64	21.79	91.64	92.17
Белый сахар	12.92	12.90	12.88	99.86	99.89
1-й оттек утфеля 1	8.46	6.85	5.49	81	80.06
1-й оттек утфеля 1 на аффинацию	4.28	3.42	2.74	81	80.06
2-й оттек утфеля 1	5.17	3.89	3.44	75.22	88.51
Утфель 2	8.04	7.32	6.19	91.0	84.55
Утфель 2 на утфель 3	5.04	4.58	3.87	91.0	84.55
Утфель 2 на фуговку	3.01	2.74	2.31	91.0	84.55
Желтый сахар утфеля 2	1.73	1.69	1.63	97.65	96.24
1-й оттек утфеля 2	1.28	1.05	0.69	82	65.71
Утфель 3	10.30	9.30	7.34	90.28	78.91
Желтый сахар утфеля 3	5.59	5.44	5.14	97.25	94.47
Меласса	4.71	3.86	2.20	82	57
Меласса условная	4.54	3.86	2.20	85	57
Аффинационный утфель	9.87	6.86	7.88	89.77	88.90
Аффинированный сахар	5.31	5.19	5.08	97.89	97.90
Аффинационный оттек	4.56	3.67	2.79	80	76.15

Проводим предварительное распределение технологических потребителей тепла по греющим теплоносителям МВС (табл. 8).

Таблица 8- Температурные режимы нагрева технологических потребителей

Продукты	Колич продук- тов, %мс	СВ, %	Пределы нагрева		Возможный греющий агент
			t <sub>н</sub> , °С	t <sub>к</sub> , °С	
Свекловичная стружка	100		10		
Жомопрессовая вода в подогрева- телях:					
1-я группа	46.64	1.02	50	65	Конденс.
2-я группа	46.64	1.02	65	75	5 корпус
Аммиачные конденсаты	53.36	1.00	60	65	Конденс.
Диффузионный сок в подогрева- телях преддефекации:					
1-я группа	120	15.04	55	70	5 корпус
2-я группа	120	15.04	70	80	4 корпус
Преддефекованный сок в подо- гревателях перед горячей дефека- цией	122.7	-	75	85	4 корпус
Сок в подогревателях перед 2-й сатурацией:					
1-я группа	147.9	-	80	90	4 корпус
2-я группа	147.9		90	95	3 корпус
Сок перед МВС в подогревателях:					
1-я группа					
2-я группа	126.2	12.8	90	100	3 корпус
3-я группа	126.2	12.8	100	110	2 корпус
4-я группа	126.2	12.8	110	119	1 корпус
Сироп с клеровкой в подогревате- ле	126.2	12.8	119	130	рет. пар
1-й оттек в подогревателе	36.37	65	70	80	4 корпус
2-й оттек в подогревателе	8.46	81	70	80	4 корпус
Вакуум-аппараты 1-го продукта	5.17	75.2	70	80	4 корпус
Вакуум-аппараты 2-го продукта					3 корпус
Вакуум-аппараты 3-го продукта					3 корпус
					3 корпус

Используя данные табл. 8 определим расход пара на технологические потребители.

Расход пара в паровые рубашки диффузионного аппарата находим по формулам (2.2 - 2.12).

Приход тепла на 100 кг свеклы:

с питательной водой

$$Q_{пв} = 100 \cdot 4200 \cdot 65 = 27,3 \cdot 10^6 \text{ Дж};$$

со стружкой

$$Q_{стр} = 100 \cdot 3770 \cdot 10 = 3,77 \cdot 10^6 \text{ Дж};$$

с греющим паром

$$Q_{гп} = D \cdot 2691 \cdot 10^3 \text{ Дж}.$$

Унос тепла:

с диффузионным соком

$$Q_{дс} = 120 \cdot 3770 \cdot 55 = 24,88 \text{ Дж};$$

с жомом

$$Q_{жс} = 80 \cdot 3770 \cdot 60 = 18,1 \text{ Дж};$$

потери тепла

$$Q_n = 1,25 \cdot 10^6 \text{ Дж};$$

с конденсатом

$$Q_k = D \cdot 461 \cdot 10^3 \text{ Дж}.$$

Расход пара:

$$D = \frac{24,88 + 18,1 + 1,25 - 27,3 - 3,77}{2,691 - 0,461} = 5,9\%$$

Расход пара в подогреватели вычисляем по формуле (2.1.)



Расход пара в подогреватели:

жомопрессовой воды 2-й группы

$$D_{жв} = \frac{46,64 \cdot 4200(75 - 65)}{2272 \cdot 10^3} = 0,86\%;$$

диффузионного сока 1-й группы

$$D_{дс1} = \frac{120 \cdot 3770(70 - 55)}{2272 \cdot 10^3} = 2,98\%;$$

диффузионного сока 2-й группы

$$D_{дс2} = \frac{120 \cdot 3770 \cdot (80 - 70)}{2264 \cdot 10^3} = 2,02\%;$$

преддефекованного сока перед горячей дефекацией

$$D_{деф} = \frac{122,7 \cdot 3770 \cdot (85 - 75)}{2238 \cdot 10^3} = 2,07\%;$$

сока первой сатурации перед второй сатурацией

$$D_{2с} = \frac{147,91 \cdot 3770 \cdot (95 - 90)}{2211 \cdot 10^3} = 1,26\%;$$

очищенного сока на выпарку в подогревателях 1-й, 2-й, 3-й и 4-й группах:

$$D_{ол} = \frac{126,2 \cdot 3770 \cdot (100 - 90)}{2211 \cdot 10^3} = 2,15\%;$$

$$D_{o2} = \frac{126,2 \cdot 3770 \cdot (110 - 100)}{2187 \cdot 10^3} = 2,18\%,$$

$$D_{o3} = \frac{126,2 \cdot 3770 \cdot (119,5 - 110)}{2162 \cdot 10^3} = 2,09\%,$$

$$D_{o4} = \frac{126,2 \cdot 3770 \cdot (130 - 119,5)}{2156 \cdot 10^3} = 2,31\%,$$

сиропа с клеровкой

$$D_{ck} = \frac{36,37 \cdot 2500 \cdot (80 - 70)}{2238 \cdot 10^3} = 0,41\%,$$

1-го оттека

$$D_{1om} = \frac{8,46 \cdot 2500 \cdot (80 - 70)}{2238 \cdot 10^3} = 0,1\%;$$

2-го оттека

$$D_{2om} = \frac{5,17 \cdot 2500 \cdot (80 - 70)}{2238 \cdot 10^3} = 0,06\%.$$

Расход пара на обогрев вакуум-аппаратов определяем по формулам 2.13-2.15.

$$D_1 = 1,1 \left[ 36,37 \cdot \left( 1 - \frac{65}{91,64} \right) \right] = 11,63\%,$$

$$D_2 = 1,1 \left[ 3,43 \cdot \left( 1 - \frac{80}{91} \right) + 5,17 \cdot \left( 1 - \frac{75,22}{91} \right) \right] = 1,44\%,$$

$$D_{2k} = 1,1 \cdot \left[ 1,28 \cdot \left( 1 - \frac{82}{90,28} \right) + 4,56 \cdot \left( 1 - \frac{80}{90,28} \right) \right] = 0,26\%.$$

Полученные результаты заносим в табл. 9 расчета количества вторичных паров.

Таблица 9- Расчет количества вторичных паров

Технологические потребители	Ретур пар	Вторичный пар							
		1	2	3	4	5			
Паровые камеры диффузионного аппарата	2.31	2.09	2.18	5.9	2.02	0.86			
Подогреватель жомопрессовой воды 2-й группы				2.07					
Подогреватели диффузионного сока:									
1-я группа							1.26	2.15	0.41
2-я группа									
Подогреватель преддефектованного сока									
Подогреватель перед 2-й сатурацией									
Подогреватели перед МВС:									
1-я группа									
2-я группа									
3-я группа									
4-я группа									
Подогреватели:									
сиропа с клеровкой									
1-го оттека									
2-го оттека									
Вакуум-аппараты:									
первого продукта									
второго продукта									
третьего продукта									
<b>Σ</b>	2.31	2.09	2.18	22.64	4.66	3.84			

В пятом корпусе выпариванием воды

$$W_5 = 3.84\% \text{ мс.}$$

В четвертом корпусе

$$W_4 = 3.84 + 4.66 = 8.5\% \text{ мс.}$$

В третьем корпусе

$$W_3 = 8,5 + 22,64 = 31,14\% \text{ мс.}$$

Во втором корпусе

$$W_2 = 31,14 + 2,18 = 33.32 \% \text{ мс.}$$

В первом корпусе

$$W_1 = 33,32 + 2,09 = 35,41\% \text{ мс,}$$

а в МВС

$$W = 3,84 + 8,5 + 31,14 + 33,32 + 35,41 = 112,21\% \text{ мс.}$$

По условиям технологического процесса, чтобы получить концентрацию сухих веществ в сиропе, равную 65% необходимо выпарить воды:

$$W_{mp} = 126,2 \cdot \left(1 - \frac{12,84}{65}\right) = 101,27\% \text{ мс.}$$

МВС выпаривает воды больше, чем необходимо, поэтому необходимо перераспределить вторичные пары. Для этого вместо двух групп подогревателей диффузионного сока принимаем одну, то есть устанавливаем один подогреватель, который будет нагреваться вторичным паром четвертого корпуса МВС. Преддефекованный сок в подогревателе будет нагреваться третьим корпусом МВС. Вакуум-аппараты второго и конечного продукта будут использовать вторичный пар второго корпуса МВС. Нагрев очищенного сока, поступающего на МВС, будем осуществлять в трех группах, причем в первой группе нагрев осуществляется вторичным паром второго корпуса МВС до

температуры 110<sup>0</sup>С. Нагрев сиропа с клеровкой и оттеков в сборниках осуществляем вторичным паром первого корпуса МВС.

С учетом вышеизложенного проводим расчет количества вторичных паров (табл.10)

Таблица 10- Расчет количества вторичных паров

Технологические потребители	Рetur пар	Вторичный пар				
		1	2	3	4	5
Паровые камеры диффузионного аппарата Подогреватель жомопрессовой воды 2-й группы Подогреватели диффузионного сока Подогреватель преддефектованного сока Подогреватель перед 2-й сатурацией Подогреватели перед МВС: 1-я группа 2-я группа 3-я группа Подогреватели: сиропа с клеровкой 1-го оттека 2-го оттека Вакуум-аппараты: первого продукта второго продукта третьего продукта	2.31	2.09	4.33	5.9 2.07 1.26	5.0	0.86
<b><math>\Sigma</math></b>	2.31	2.66	6.03	20.86	5.0	0.86

Определяем количество выпаренной воды в каждом корпусе МВС:

$$W_5 = 0.86\% \text{ к массе свеклы};$$

$$W_4 = 0.86 + 5.0 = 5.86\% \text{ к массе свеклы};$$

$$W_3 = 5.86 + 20.86 = 26.72\% \text{ к массе свеклы};$$

$$W_2 = 26.72 + 6.03 = 32.75\% \text{ к массе свеклы};$$

$$W_1 = 32.75 + 2.66 = 35.41\% \text{ к массе свеклы},$$

а количество воды, выпаренной во всей МВС:

$$W_{\text{дейс}} = 0.86 + 5.86 + 26.72 + 32.75 + 35.41 = 101.6\% \text{ мс.}$$

Это количество выпаренной воды соответствует требуемому (101.27), поэтому считаем, что распределение вторичных паров произведено верно.

Определяем кратность испарения (по формуле 2.22).

$$K = \frac{101,6}{35,41} = 2,87$$

Полученное значение еще раз подтверждает правильность распределения.

Для дальнейших вычислений, необходимо найти значения сухих веществ в растворе после каждого корпуса МВС по формуле 3.7.

$$CB_1 = \frac{126,2 \cdot 12,84}{126,2 - 35,41} = 17,85\% ;$$

$$CB_2 = \frac{126,2 - 12,84}{126,2 - 35,41 - 32,75} = 27,92\% ;$$

$$CB_3 = \frac{126,2 \cdot 12,84}{126,2 - 35,41 - 32,75 - 26,72} = 51,73\% ;$$

$$CB_4 = \frac{126,2 \cdot 12,84}{126,2 - 35,41 - 32,75 - 26,72 - 5,86} = 63,64\% ;$$

$$CB_5 = \frac{126,2 \cdot 12,84}{126,2 - 35,41 - 32,75 - 26,72 - 5,86 - 0,86} = 65,87\% .$$

Определяем поверхность нагрева ( $F_1$ ) первого корпуса МВС, задаваясь напряжением поверхности нагрева ( $U^1$ ) равной 25 кг/(м<sup>2</sup>ч):

$$F_1 = \frac{10 \cdot 4500 \cdot 35,41}{24 \cdot 25} = 2656 \text{ м}^2.$$

Принимаем к установке аппарат РЗ-ПВА с поверхностью нагрева 2300 м<sup>2</sup> и уточняем напряжение поверхности нагрева:

$$U^1 = \frac{10 \cdot 4500 \cdot 35,41}{24 \cdot 2300} = 28,87 \text{ кг/(м}^2\text{ч)}.$$

Определяем коэффициент теплопередачи:

$$\varphi = 0,87, \quad A_1 = 55 \cdot 10^5, \quad A_2 = 625, \quad L = 4,36 \text{ м}.$$

$$\alpha_1 = \frac{55 \cdot 10^5}{(2162 \cdot 10^3 \cdot 28,87 \cdot 4,36)^{0,33}} = 8487 \text{ Вт/(м}^2\text{К)},$$

$$\alpha_2 = 625 \cdot 28,87^{0,6} = 4700 \text{ Вт/(м}^2\text{К)},$$

$$K_{c\pi 1} = \frac{0,87}{\frac{1}{8487} + \frac{1}{4700} + \frac{0,0015}{45}} = 2336 \text{ Вт/(м}^2\text{К)},$$

$$\Delta t_{n1}^n = \frac{2162 \cdot 10^3 \cdot 28,87}{3600 \cdot 2336} = 7,4^\circ\text{C}, .$$

Рекомендованная полезная разность температур равна 6<sup>0</sup>С, поэтому необходимо уточнить напряжение поверхности нагрева.

$$U_1'' = \frac{6}{7,4} \cdot 28,87 = 23,41 \text{ кг}/(\text{м}^2\text{ч}).$$

Находим поверхность нагрева:

$$F_1 = \frac{10 \cdot 4500 \cdot 35,41}{24 \cdot 23,41} = 2836 \text{ м}^2.$$

В качестве первого корпуса МВС можно использовать пленочный аппарат с поверхностью нагрева равной 3000 м<sup>2</sup>, тогда:

$$U_1'' = \frac{10 \cdot 4500 \cdot 35,41}{24 \cdot 3000} = 22,13 \text{ кг}/(\text{м}^2\text{ч}).$$

Определяем коэффициент теплопередачи:

$$\varphi = 0,91 \quad A_1 = 55 \cdot 10^5 \quad A_2 = 625. \quad L = 7,0 \text{ м}$$

$$\alpha_1 = \frac{55 \cdot 10^5}{(2162 \cdot 10^3 \cdot 22,13 \cdot 7)^{0,33}} = 7920 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}),$$

$$\alpha_2 = 625 \cdot 22,13^{0,6} = 4007 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}),$$

$$K_{сэ1}^1 = \frac{0,91}{\frac{1}{7920} + \frac{1}{4007} + \frac{0,0015}{45}} = 2249 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}),$$

$$\Delta t_{n1}^n = \frac{2162 \cdot 10^3 \cdot 22,13}{3600 \cdot 2215} = 6,0 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Полученная полезная разность температур удовлетворяет предварительному распределению. Поэтому в качестве первого корпуса устанавливаем пленочный выпарной аппарат с поверхностью нагрева равной 3000 м<sup>2</sup>.

Определим поверхность нагрева второго корпуса МВС, задаваясь напряжением поверхности нагрева равной 23 кг/(м<sup>2</sup>ч).



$$F_2 = \frac{10 \cdot 4500 \cdot 32,84}{24 \cdot 23} = 2677 \text{ м}^2.$$

Принимаем к установке пленочный аппарат с поверхностью нагрева равной 3000 м<sup>2</sup>.

Тогда:

$$U_2^1 = \frac{10 \cdot 4500 \cdot 32,84}{24 \cdot 3000} = 20,53 \text{ кг}/(\text{м}^2\text{ч}).$$

Определяем коэффициент теплопередачи:

$$\varphi = 0,79 \quad A_1 = 54,5 \cdot 10^5 \quad A_2 = 500. \quad L = 7 \text{ м}$$

$$\alpha_1 = \frac{54,5 \cdot 10^5}{(2187 \cdot 10^3 \cdot 20,53 \cdot 7)^{0,33}} = 8016 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}),$$

$$\alpha_2 = 500 \cdot 20,53^{0,6} = 3065 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}),$$

$$K_{c\varphi 2} = \frac{0,79}{\frac{1}{8016} + \frac{1}{3065} + \frac{0,0015}{45}} = 1631 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}).$$

Определяем полезный потребный перепад температур:

$$\Delta t_{n2}^n = \frac{2187 \cdot 10^3 \cdot 20,53}{3600 \cdot 1631} = 7,65^\circ\text{C}.$$

Рекомендованное значение для пятикорпусной МВС равно 8<sup>0</sup>С, поэтому считаем, что второй корпус выбран верно.

Определяем поверхность нагрева третьего корпуса МВС, задаваясь напряжением поверхности нагрева равной 14 кг/(м<sup>2</sup>ч).

$$F_3 = \frac{10 \cdot 4500 \cdot 26,72}{24 \cdot 14} = 3579 \text{ м}^2.$$

Принимаем к установке 2 аппарата РЗ-ПВА поверхностью по 1800 м<sup>2</sup> каждый.

$$U_3^1 = \frac{10 \cdot 4500 \cdot 26.72}{24 \cdot 3600} = 13,92 \text{ кг}/(\text{м}^2\text{ч})$$

Определяем коэффициент теплопередачи:

$$\varphi = 0,73, \quad A_1 = 53,7 \cdot 10^5, \quad A_2 = 350., \quad L = 3,56 \text{ м},$$

$$\alpha_1 = \frac{53,7 \cdot 10^5}{(2211 \cdot 10^3 \cdot 13,92 \cdot 3,56)^{0,33}} = 11223 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}),$$

$$\alpha_2 = 350 \cdot 13,92^{0,6} = 1699 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}),$$

$$K_{сэ3} = \frac{0,73}{\frac{1}{11223} + \frac{1}{1699} + \frac{0,0015}{45}} = 1027 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}).$$

Определяем полезный потребный перепад температур:

$$\Delta t_{н3}^n = \frac{2211 \cdot 10^3 \cdot 13,92}{3600 \cdot 1027} = 8,33^\circ\text{С}.$$

Рекомендованное значение для пятиступенчатой МВС равно 8<sup>0</sup>С, поэтому считаем что в качестве третьей ступени устанавливаем два корпуса (ЗА и ЗВ) с поверхностью нагрева 1800 м<sup>2</sup> каждый.

Определяем поверхность нагрева четвертого корпуса МВС, задаваясь напряжением поверхности нагрева равной 9.31 кг/(м<sup>2</sup>ч):

$$F_4 = \frac{10 \cdot 4500 \cdot 5,86}{24 \cdot 9,31} = 1180 \text{ м}^2.$$

Принимаем к установке аппарат РЗ-ПВА с поверхностью нагрева 1500 м<sup>2</sup>.

Определяем коэффициент теплопередачи:

$$\varphi = 0,65, \quad A_1 = 52,7 \cdot 10^5, \quad A_2 = 230., \quad L = 3,0,$$

$$\alpha_1 = \frac{57,2 \cdot 10^5}{(2238 \cdot 10^3 \cdot 9,31 \cdot 3,0)^{0,33}} = 13279 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}),$$

$$\alpha_2 = 230 \cdot 9,31^{0,6} = 877 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}),$$

$$K_{c94} = \frac{0,78}{\frac{1}{13590} + \frac{1}{726} + \frac{0,0015}{45}} = 521 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}).$$

Определяем полезный потребный перепад температур:

$$\Delta t_{n4}^n = \frac{2238,10^3 \cdot 9,31}{3600 \cdot 521} = 11,1^0\text{C} .$$

Рекомендованное значение равно  $9,5^0\text{C}$ , поэтому оставляем в качестве четвертого корпуса МВС аппарат с поверхностью нагрева  $1500 \text{ м}^2$ .

Определяем поверхность нагрева пятого корпуса МВС, задаваясь напряжением поверхности нагрева равной  $2,02 \text{ кг}/(\text{м}^2\text{ч})$ .

$$F_5 = \frac{10 \cdot 4500 \cdot 0,86}{24 \cdot 2,02} = 800 \text{ м}^2.$$

Принимаем к установке аппарат с поверхностью нагрева  $800 \text{ м}^2$ .

Определяем коэффициент теплопередачи:

$$\varphi = 0,94, \quad A_1 = 51 \cdot 10^5, \quad A_2 = 190.,$$

$$\alpha_1 = \frac{51 \cdot 10^5}{(2272 \cdot 10^3 \cdot 2,02 \cdot 3)^{0,33}} = 21280 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}),$$

$$\alpha_2 = 190 \cdot 2,02^{0,6} = 290 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}),$$

$$K_{c95} = \frac{0,94}{\frac{1}{21280} + \frac{1}{290} + \frac{0,0015}{45}} = 266 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}),$$

$$\Delta t_{n5}^n = \frac{2272 \cdot 10^3 \cdot 2,02}{3600 \cdot 266} = 4,8 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Определяем коэффициент запаса работы МВС:

$$a = \frac{6+7,65+8,33+11,1+4,8}{6+8+8+9,5+6,5} = 1$$

Расчет и выбор поверхностей нагрева МВС выполнен верно.

В результате расчета принимаем к установке:

- 1 ступень - 1 аппарат с  $F=3000\text{м}^2$ ,
- 2 ступень - 1 аппарат с  $F=3000\text{м}^2$ ,
- 3 ступень - 2 аппарата с  $F_1=1800\text{м}^2$  и  $F_2=1800\text{м}^2$ ,
- 4 ступень - 1 аппарат с  $F=1500\text{м}^2$ ,
- 5 ступень - 1 аппарат с  $F=800\text{м}^2$ ,

## 5. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

### 5.1. Теплоемкость продуктов свеклосахарного производства

Таблица 11- Теплоемкость продуктов свеклосахарного производства

Наименование продукта	Теплоемкость, кДж/(кг * град)
Жомопрессовая вода	4.19
Сульфитированная вода	4.19
Свекловичная стружка	3.77
Сокостружечная смесь в диффузионных аппаратах колонного и наклонного типов	3.77
Жом из диффузионных аппаратов колонного и наклонного типов	4.19
Циркуляционный сок диффузионных аппаратов колонного типа	3.77
Сок 1-й сатурации	3.77
Сок сульфитированный, фильтрованный, перед выпариванием	3.77
Сироп перед сульфитацией	2.51
Сироп с клеровкой в сборниках у вакуум-аппаратов	2.51
Оттеки в сборниках перед вакуум-аппаратами	2.1
Утфель в вакуум-аппаратах	1.87
Клеровка	2.51

## *5.2. Углы естественного откоса материалов и продуктов в свободнонасыпанном состоянии*

Таблица 12- Углы естественного откоса материалов и продуктов в свободнонасыпанном состоянии

Материал, продукты	Угол естественного откоса, градусов
Свекла (корни в сухом состоянии , свеженасыпанные)	38-42
Стружка свекловичная	60-65
Жом прессованный	45
Жом сушеный	45-60
Сахар-песок белый свеженасыпанный	40-45
Сахар-песок в силосе	33
Известняк в средних кусках	30-45
Известняк в крупных кусках	38
Осадок фильтрационный (из отвалов)	50-60
Кокс	35-50
Уголь каменный	30-45
Зола	27-35
Земля	27-40
Грунт сухой	40-50

### 5.3. Насыпные плотности продуктов

Таблица 13- Насыпные плотности продуктов

Наименование продукта	Насыпная плотность, т/м <sup>3</sup>
Свекла в ковше свекломойки	0.55
Свекла в бункере	0.50
Свекла в элеваторе	0.60
Стружка на грабельном или ленточном конвейере	0.45
Хвостики и обломки свеклы в элеваторе	0.50
Свежий жом на грабельном конвейере	0.60
Отжатый жом в элеваторе	0.50
Сушеный жом насыпью	0.25
Влажный сахар на виброконвейере	0.80
Влажный сахар в элеваторе	0.80
Сушеный сахар на ленточном конвейере	0.75
Сушеный сахар в бункере	0.80
Желтый и аффинированный сахар	0.80
Известняк	1.25-1.6
Фильтрационный осадок сока 1-й сатурации, влажностью 50%	1.25
Фильтрационный осадок сока 2-й сатурации, влажностью 50%	1.20





### 5.5. Количество устанавливаемого резервного оборудования

Таблица 15- Количество устанавливаемого резервного оборудования

Наименование оборудования	Количество резервного оборудования
Свеклонасос	1
Свеклорезка	1 на каждую диффузию
Подогреватель циркулирующего сока	1
Подогреватель диффузионного сока	1
Подогреватель преддефекованного сока	1
Подогреватель сока перед 1-м фильтрованием	
Подогреватель сока перед 2-м сатурированием	1
Дисковый фильтр	
ФИЛСы	1
Вакуум-фильтр	1 на группу из 5
Центрифуга	по паспортным данным
Гидроциклон известкового молока	1
Насосы	1 на группу из 5
Компрессор и вакуум-насосы	1 на группу
	1 на группу
	1 на группу

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сапронов А.Р. Технология сахарного производства.-М.: Агропромиздат, 1986.-431с.
2. Силин П.М., Силина Н.П. Химический контроль свеклосахарного производства.- М.: Пищевая пром-сть, 1977.-254с.
3. Азрилевич М.Я. Оборудование сахарных заводов.-3-е изд.-М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1982.-392с.
4. Востоков А.И. Расчет технической мощности оборудования и сооружений свеклосахарных заводов.- 2-е изд.-М.: Пищевая пром-сть, 1965.-514с.
5. Ведомственные нормы технологического проектирования свеклосахарных заводов.-М.: Гипросахпром, 1991.-359с.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>ВВЕДЕНИЕ</i>	5
<i>1. ЗАДАЧИ РАСЧЕТА</i>	6
<i>2. РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ВЫПАРЕННОЙ ВОДЫ</i>	7
<i>2.1. Определение расхода пара на технологические потребители</i>	7
<i>2.2. Температурные режимы работы МВС</i>	12
<i>2.3. Расчет количества выпаренной воды</i>	14
<i>3. РАСЧЕТ ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВА КОРПУСОВ</i>	17
<i>3.1. Определение напряжения поверхности нагрева</i>	17
<i>3.2. Определение коэффициентов теплопередачи</i>	18
<i>3.3. Определение полезной разности температур и уточнение поверхности нагрева корпусов</i>	21
<i>4. РАСЧЕТ ПЯТИСТУПЕНЧАТОЙ МВС</i>	23
<i>5. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА</i>	39
<i>5.1. Теплоемкость продуктов свеклосахарного производства</i>	39
<i>5.2. Углы естественного откоса материалов и продуктов в свободнонасыпанном состоянии</i>	40
<i>5.3. Насыпные плотности продуктов</i>	41
<i>5.4. Нормативные плотности продуктов</i>	42
<i>5.5. Количество устанавливаемого резервного оборудования</i>	43
<i>ЛИТЕРАТУРА</i>	44
<i>СОДЕРЖАНИЕ</i>	45