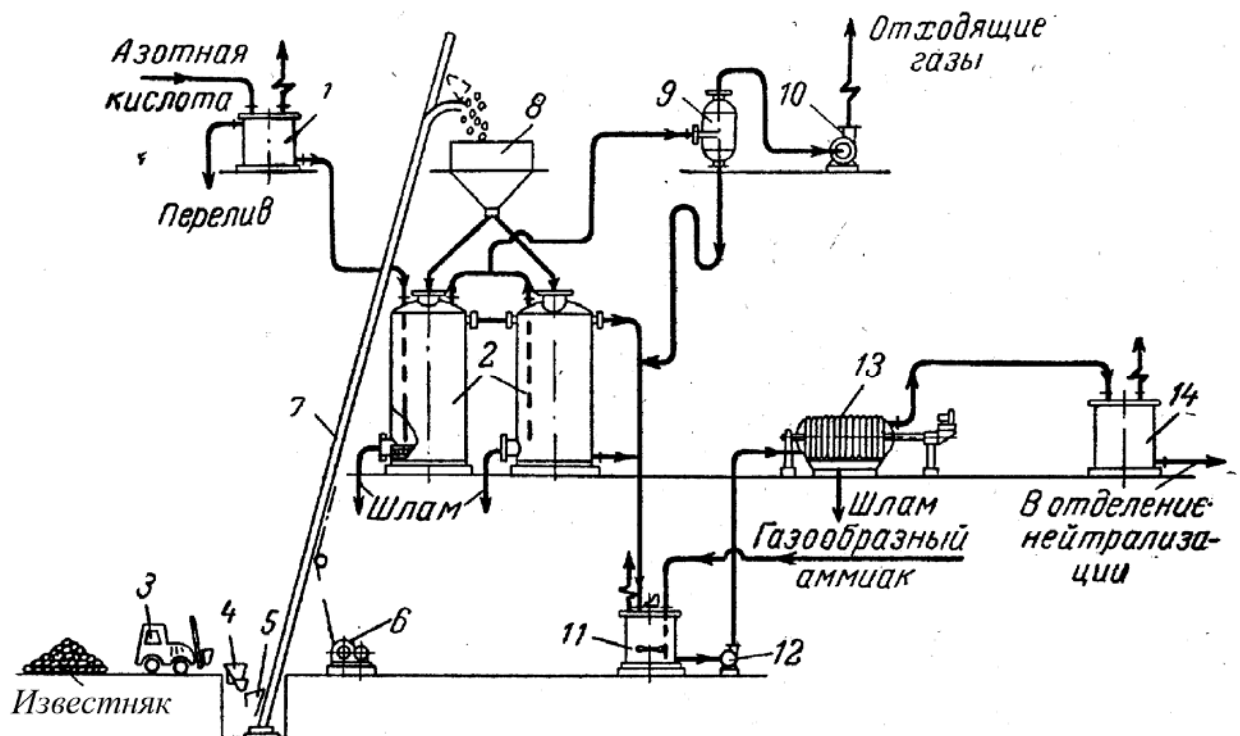


# 1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УСТАНОВКИ

Схема установки для получения известковой добавки приведена на рисунке 1.1 [1]



1 — напорный бак для азотной кислоты; 2 — реакторы; 3 — автопогрузчик; 4 — бункер; 5 — ковш; 6 — лебедка; 7 — подъемник; 8 — распределительный бункер; 9 — ловушка; 10 — вентилятор; 11 — бак (мешалка) для растворов нитратов кальция; 12 — насос; 13 — фильтр-пресс; 14 — сборник раствора добавки.

Рисунок 1.1 - Схема установки для получения добавки

Из напорного бака 1 в реактор 2 (диаметр 1,9 м, высота 4,3 м) до половины его объема заливается азотная кислота. Известняк подвозится со склада автопогрузчиком 3, ссыпается в бункер 4, затем в ковш 5, подъемника 7 и с помощью лебедки 6 подается в распределительный бункер 8.

## 2 ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОЧИХ ВЕЩЕСТВ

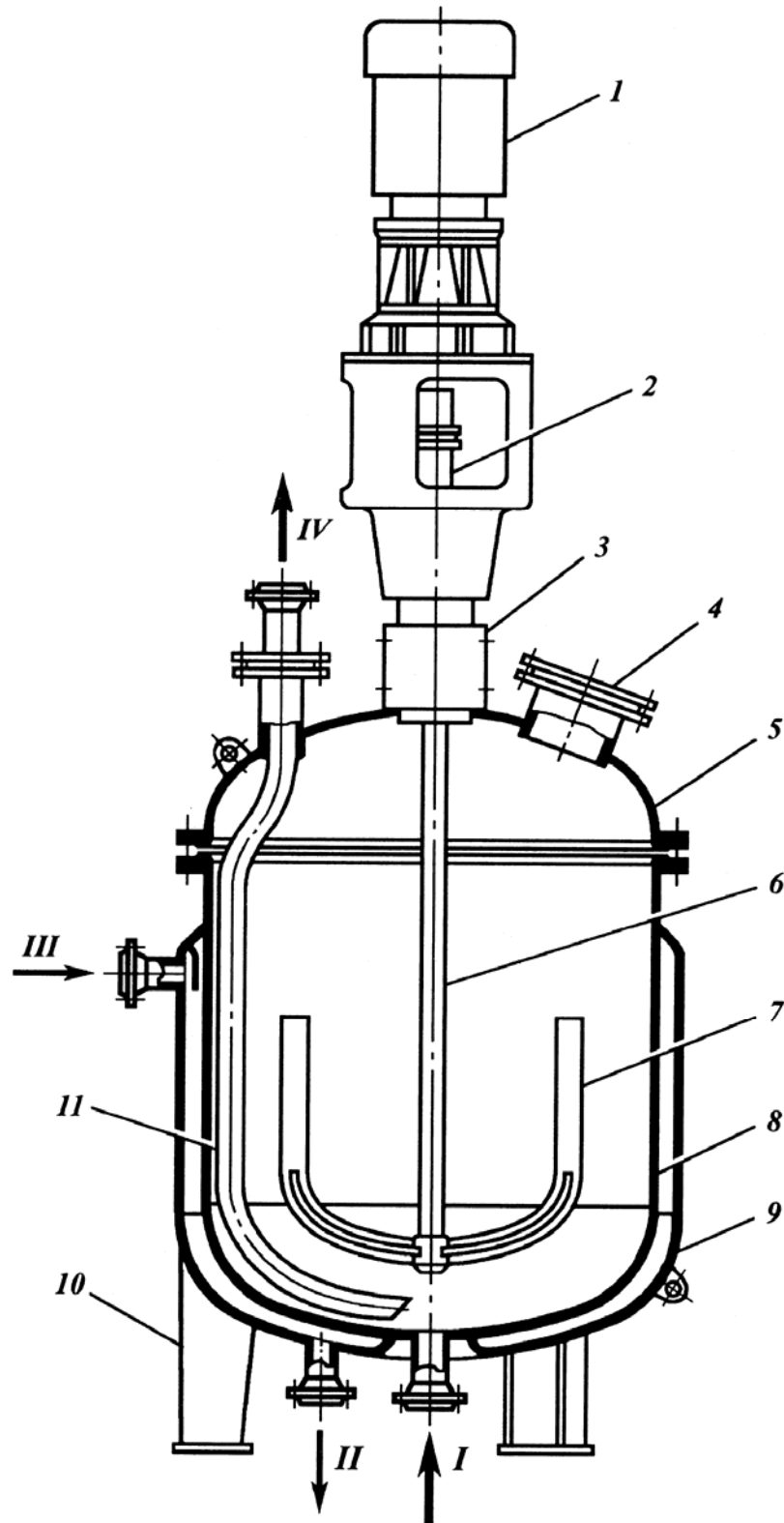
**Известняк** – осадочная горная порода, состоящая преимущественно из кальцита  $\text{CaCO}_3$  (редко из арагонита). Наиболее частыми примесями в известняке являются доломит, кварц, глинистые минералы, окислы и гидроокислы железа и марганца, а также пирит, марказит, фосфаты, гипс, органическое вещество и др. Химический состав чистого известняка приближается к теоретическому составу кальцита (56%  $\text{CaO}$  и 44%  $\text{CO}_2$ ). При содержании в известняке  $\text{MgO}$  от 4 до 17% его называют доломитизированным. При возрастании содержания магния известняк через ряд промежуточных разновидностей переходит в доломит. Известняк, содержащий от 25 до 50% глинистых частиц, называется мергелем. Существуют также переходные образования между известняком и песчаниками. Природный мел также представляет собой известняк, состоящий на 96-99% из  $\text{CaCO}_3$ . Изменение известняка под влиянием процессов метаморфизма приводит к образованию мрамора.

Чистый известняк белого или светло-серого цвета, примеси органических веществ окрашивают известняк в чёрный и тёмно-серый цвета, а окислы железа – в жёлтый, коричневый и красный.

Известняк используются во многих отраслях народного хозяйства: в чёрной металлургии (в качестве флюса), в промышленности вяжущих стройматериалов – для изготовления портландцемента, в химической промышленности – при производстве соды, карбида кальция, минеральных удобрений и др.; в сахароварении – для очистки свекловичных соков; в стекольной промышленности для придания стеклу термической стойкости, механической прочности и устойчивости против воздействия химических реагентов и выветривания.

**Вода**, окись водорода,  $\text{H}_2\text{O}$ , простейшее устойчивое в обычных условиях химическое соединение водорода с кислородом (11,19% водорода и 88,81% кислорода по массе), молекулярная масса 18,0160. Вода – бесцветная жидкость без запаха и вкуса (в толстых слоях имеет голубоватый цвет). По отношению к черным металлам проявляет коррозионные свойства [1]

					КП ПУАХТ ХТЗ-012 М 00.00.00 ПЗ	10
		N				



1 – мотор-редуктор; 2 – муфта; 3 – уплотнение; 4 – люк; 5 – крышка; 6 – вал; 7 – якорное перемешивающее устройство; 8 – корпус; 9 – рубашка; 10 – опора; 11 – труба передавливания. Потoki: I – вход исходной среды; II – выход теплоносителя (хладагента); III – вход теплоносителя (хладагента); IV – выход продукта

Рисунок 3.1 – Конструкция якорной мешалки

По преобладающему характеру движения жидкости выделяют мешалки с круговым потоком (лопастные с вертикальными лопастями, турбинные открытого типа, якорные, рамные), осевым потоком (лопастные с наклонными лопастями, пропеллерные, ленточные, шнековые), радиальным потоком (турбинные закрытые). Применяют также мешалки со сложным планетарным движением перемешивающих устройств.

Основным элементом перемешивающего устройства лопастного типа является вертикальный вал, на котором может быть установлено несколько лопастей вертикально или наклонно под углом к горизонту от 45 до 60°. Вертикальные лопасти сообщают жидкости в основном вращательное движение, а наклонные способствуют перемещению жидкости вверх в вертикальном направлении. Окружная скорость на концах лопастей обычно не превышает 5 м/с.

При вращении лопастей на поверхности жидкости может образоваться воронка, снижающая эффективность перемешивания контактирующих фаз. Для разрушения воронок к внутренней стенке корпуса крепят отражательные вертикальные перегородки шириной  $H$ , примерно равной  $0,1 D$ . Число перегородок обычно равно 4. Перегородки препятствуют горизонтальному вращению кольца жидкости и способствуют тем самым ее циркуляции в вертикальном направлении.

Для обеспечения интенсивного перемешивания во всем объеме аппарата за счет внутренней рециркуляции применяют пропеллерные мешалки. Пропеллерные мешалки обычно используют для перемешивания жидкостей малой вязкости. Область их применения – получение эмульсий или суспензий с небольшим (до 10%) содержанием твердых частиц размером менее 250 мкм. В мешалках больших размеров следует установить несколько самостоятельных пропеллеров.

При необходимости обеспечить перемешивание жидкости большой вязкости, применяют перемешивающие устройства якорного или рамного типов с лопастями, повторяющими по своим очертаниям профиль корпуса. В этих конструкциях зазор между стенкой корпуса и перемешивающим устройством невелик ( $D/d_M = 1,05 \div 1,25$ ). Это обстоятельство обуславливает большую турбулентность потока у самой стенки, что способствует лучшей теплопередаче через стенку и

## 4 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

### 4.1 Исходные данные

В качестве исходных данных выступают следующие величины, указанные в задании на проектирование.

Таблица 4.1 – Исходные данные для проектирования мешалки

Наименование параметра	Обозначение	Величина
Объем суспензии	$V_M$	50 м <sup>3</sup>
Массовая доля дисперсной фазы	$X_M$	15%
Начальная температура среды	$t_H$	25 °С
Конечная температура среды	$t_K$	45 °С

### 4.2 Выбор конструкции мешалки

Для интенсификации теплообмена подходят мешалки нескольких конструкций. Их выбор обусловлен вязкостью перемешиваемой среды.

Средняя температура среды в аппарате

$$t_{cp} := \frac{t_H + t_K}{2} = \frac{25 + 45}{2} = 35 \text{ °С}$$

Вязкость среды для случая объемной концентрации твердой фазы более 10% рассчитываем по формуле [3, ф-ла 31.9]

$$\mu_M := \mu_{ж} \cdot (1 + 4.5X_V)$$

где  $\mu_{ж}$  – вязкость жидкости, Н × с / м<sup>2</sup>;

$X_V$  – объемная концентрация твердой фазы.

В задании на проектирование указана массовая концентрация и объем суспензии. Для приведения этих данных в соответствие выполним ряд преобразований.

Плотность суспензии

$$\rho_M := \frac{G_M}{V_M} = \frac{54840}{50} = 1097 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Вязкость воды при средней температуре определяем интерполированием справочных данных [4, табл. XXXIX] при 30 °С и 40 °С.

$$\mu_{ж}^{30} = 804 \times 10^{-6} \frac{\text{Н} \times \text{с}}{\text{м}^2} \quad \mu_{ж}^{40} = 657 \times 10^{-6} \frac{\text{Н} \times \text{с}}{\text{м}^2}$$

$$\mu_{ж} = \frac{\mu_{ж}^{40} + \mu_{ж}^{30}}{2} = \frac{657 \times 10^{-6} + 804 \times 10^{-6}}{2} = 731 \times 10^{-6} \frac{\text{Н} \times \text{с}}{\text{м}^2} = 7,31 \times 10^{-4} \frac{\text{Н} \times \text{с}}{\text{м}^2}$$

Вязкость среды для случая объемной концентрации твердой фазы более 10% [3, ф-ла 31.9]

$$\begin{aligned} \mu_M &:= \mu_{ж} \cdot (1 + 4.5X_V) = 731 \times 10^{-6} \times (1 + 4.5 \times 0.0621) = \\ &= 9,35 \times 10^{-4} \frac{\text{Н} \times \text{с}}{\text{м}^2} = 0.935 \text{ спз} \end{aligned}$$

Плотность перемешиваемой среды [3, ф. 31.2]

$$\rho_M := \rho_D \cdot X_V + \rho_B \cdot (1 - X_V) = 2650 \times 0,0621 + 994 \times (1 - 0,0621) = 1097 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Полученное значение согласуется с рассчитанным выше исходя из массы и объема суспензии.

На основании рассчитанного значения вязкости принимаем в соответствии с рекомендациями [3, табл. 31.1] мешалку рамного типа с рубашкой. Эта мешалка предназначена для суспензий с вязкостью до 10 000 спз и рекомендуется для интенсификации теплообмена.

Принимаем окружную скорость вращения [3, табл. 31.1]

$$V_{\text{окр}} := 6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Принимаем высоту перемешиваемого слоя равным  $\psi$  от диаметра аппарата

$$\psi = 1.2$$

Тогда приблизительный объем среды в аппарате (без учета эллиптического днища и внутренней арматуры)

$$V = \pi \cdot \frac{D_B^2}{4} \cdot H$$

Откуда после подстановки  $H = \psi D_B$  получим

$$V = \pi \cdot \frac{\psi \cdot D_B^3}{4}$$

Отсюда требуемый диаметр аппарата

$$D_B := \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_M}{\pi \cdot \psi}} = \sqrt[3]{\frac{4 \times 50}{3,14 \times 1.2}} = 3.758 \text{ м}$$

Поскольку в нормали МН 5874-66 [3, т. 31.4] максимальный диаметр мешалки рамного типа равен 2800 мм, то принимаем аппарат нестандартной конструкции с внутренним диаметром

$$D_B := 3.8 \text{ м}$$

Тогда высота слоя суспензии

$$H_{\text{ж}} := \frac{4 \cdot V_M}{\pi \cdot D_B^2} = \frac{4 \times 50}{3,14 \times 3,8^2} = 4.41 \text{ м}$$

Наружный диаметр рамы [3, табл. 31.1]

$$d_M := \frac{D_B}{1.1} = \frac{3.8}{1,1} = 3.45 \text{ м}$$

Ширина лопасти рамы

$$b := 0.07d_M = 0,07 \times 3,45 = 0,242$$

Принимаем

$$b = 0.250 \text{ м}$$

Зазор между мешалкой и днищем аппарата

$$h_M := 0.04d_M = 0,04 \times 3,45 = 0,138 \text{ м}$$

					КП ПУАХТ ХТЗ-012 М 00.00.00 ПЗ	20
		N				

$$Q_M := C_M \cdot G_M \cdot (t_K - t_H)$$

где  $C_M$  – теплоемкость суспензии, Дж / (кг × К).

Теплоемкость суспензии рассчитываем по правилу аддитивности

$$C_M := C_D \cdot X_M + C_B \cdot (1 - X_M)$$

где  $C_D$  – теплоемкость известняка,  $C_D = 920$  Дж / (кг × К) [4, табл. XXV];

$C_B$  – теплоемкость воды,  $C_B = 4180$  Дж / (кг × К) [4, табл. XXXIX];

Тогда

$$C_M = 920 \times 0,15 + 4180 \times (1 - 0,15) = 3691 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \times \text{К}}$$

Соответственно требуемое количество теплоты на нагрев смеси

$$Q_M = 3,691 \times 54840 \times (45 - 25) = 4,048 \times 10^6 \text{ кДж}$$

#### 4.6 Определение расхода греющего агента

Принимаем нагрев за счет использования тепла конденсации водяного пара 5 ат ( $t_{\text{конд}} = 151$  °С) [4, табл. LV]. Тогда расход греющего пара

$$G_{\text{п}} = \frac{Q_M}{r}$$

где  $r$  – теплота парообразования пара 5 ат,  $r = 2117$  кДж/кг [4, табл. LV].

Соответственно расход пара

$$G_{\text{п}} = \frac{4,048 \times 10^6}{2117} = 1912 \text{ кг}$$

#### 4.7 Расчет времени нагревания суспензии

##### 4.7.1 Расчет поверхности теплообмена

Принимаем толщину стенки мешалки

$$s_M := 10 \text{ мм}$$

Тогда поверхность теплообмена между суспензией и конденсирующимся паром составит

$$F_M := \pi \cdot (D_B + 2s_M) \cdot H_{\text{ж}} = 3,14 \times (3,8 + 2 \times 0,01) \times 4,41 = 52,9 \text{ м}^2$$

##### 4.7.2 Расчет средней разности температур

Среднегеометрическая разность температур в теплообменнике

					КП ПУАХТ ХТЗ-012 М 00.00.00 ПЗ	22
		N				



Критерий Рейнольдса

$$Re_M := \frac{n_M \cdot d_M^2 \cdot \rho_M}{\mu_M} = \frac{0,53 \times 3,45^2 \times 1090}{9,35 \times 10^{-4}} = 7,423 \times 10^6$$

Критерий Прандтля

$$Pr_M := \frac{c_M \cdot \mu_M}{\lambda_M}$$

где  $\lambda_M$  – коэффициент теплопроводности для суспензии, для расчетов принимаем как для воды  $\lambda_M = 67,5 \times 10^{-2}$  Вт / (м × К) [4, табл. XXXIX];

$$Pr_M = \frac{3691 \times 9,35 \times 10^{-4}}{67,5 \times 10^{-2}} = 5,801$$

Тогда значение критерия Нуссельта

$$Nu_M = 0,36 \times (7,423 \times 10^6)^{0,67} \times 5,801^{0,33} = 2,580 \times 10^4$$

Из критерия Нуссельта выражаем значение коэффициента теплоотдачи [5, стр. 23]

$$\alpha_M := \frac{\lambda_M}{D_B} \cdot Nu_M = \frac{67,5 \times 10^{-2}}{3,45} \times 2,580 \times 10^4 = 4582 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$$

Коэффициент теплоотдачи со стороны конденсирующегося на вертикальной стенке пара [5, ф. П.22]

$$\alpha_{\text{п}} = \sqrt[4]{\lambda_{\text{п}}^3 \rho_{\text{п}}^2 g \Delta t H_{\text{ж}} / \mu_{\text{п}}}$$

где  $\lambda_{\text{п}}$  – теплопроводность водяного пара при  $t_{\text{конд}}$ ;

$\rho_{\text{п}}$  – плотность водяного пара при  $t_{\text{конд}}$ ;

$\Delta t$  – средняя разность между температурой конденсации пара и суспензией, °С;

$\mu_{\text{п}}$  – вязкость водяного пара при  $t_{\text{конд}}$ ;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения

Значение вязкости и теплопроводности водяного пара определим интерполяцией справочных данных [6, прил. XIII]

$\omega_{\text{загр}}$  – скорость среды в трубопроводе загрузки, при перекачивании жидкостей насосом в нагнетательных трубопроводах  $\omega_{\text{загр}} = 2,5$  м/с [5, стр. 10].

$$t_{\text{загр}} = \frac{4 \times 50}{3,14 \times 0,500^2 \times 2,5} = 102 \text{ с}$$

Время выгрузки суспензии зависит от способа выгрузки.

$$t_{\text{выгр}} = \frac{4 V_M}{\pi D_{\text{выгр}}^2 \omega_{\text{выгр}}}$$

где  $D_{\text{выгр}}$  – диаметр разгрузочного штуцера, принимаем  $D_{\text{выгр}} = 500$  мм;

$\omega_{\text{выгр}}$  – скорость среды в трубопроводе разгрузки, при перекачивании жидкостей насосом во всасывающих трубопроводах  $\omega_{\text{загр}} = 1,5$  м/с [5, стр. 10].

$$t_{\text{загр}} = \frac{4 \times 50}{3,14 \times 0,500^2 \times 1,5} = 170 \text{ с}$$

Суммарное время работы оборудования

$$t_{\text{пер}} = 102 + 537 + 170 = 809 \text{ с} = 14,5 \text{ мин}$$

Увеличиваем время на дополнительные операции по обслуживанию оборудования, пуска и останова. Окончательно, принимаем

$$t_{\text{пер}} = 20 \text{ мин}$$

Принимаем одинаковый диаметр для всасывающего и нагнетательного трубопровода.

В соответствии с рассчитанным диаметром штуцера ввода суспензии принимаем трубу с внутренним диаметром 500 мм и толщиной стенки 3 мм. Тогда действительная скорость суспензии в трубопроводе

$$\omega = \frac{4V_M}{\pi d^2 t_{\text{загр}}} = \frac{4 \times 50}{3,14 \times 0,500^2 \times 170} = 2,50 \text{ м/с}$$

Определим критерий Рейнольдса

$$Re = \frac{\omega \rho_M d}{\mu_M} = \frac{2,50 \times 1092 \times 0,500}{9,35 \times 10^{-4}} = 1,46 \times 10^6$$

Режим течения турбулентный. Принимаем стальные новые трубы, для которых абсолютная шероховатость внутренней стенки [5, стр. 9]

$$\Delta = 0,1 \text{ мм} = 8 \times 10^{-4} \text{ мм}$$

Тогда относительная шероховатость трубы

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{0,1}{500} = 0,0002$$

В рассматриваемом случае имеем зону смешанного трения, поскольку

$$100/e < Re < 560 / e$$

$$100 / 0,0002 < 1,46 \times 10^6 < 560 / 0,0002$$

$$0,5 \times 10^6 < 1,46 \times 10^6 < 2,8 \times 10^6$$

Для этой зоны значение коэффициента трения [5, стр. 9]

$$\lambda = 0,11 (e + 68 / Re)^{0,25} = 0,11 \times (0,0002 + 68 / 1,46 \times 10^6)^{0,25} = 0,0138$$

Определим сумму коэффициентов местных сопротивлений [3, стр. 10]

1. выход из штуцера в аппарат:  $\xi = 1$
2. колено с углом  $90^\circ$  при  $d > 50$  мм (два поворота):  $\xi = 1.1$
3. задвижка для  $d > 300$  мм:  $\xi = 0.15$

Сумма коэффициентов

$$\Sigma \xi_i = 1 + 1.1 + 0,15 = 2,25$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном курсовом проекте была разработана мешалка рамного типа периодического действия для суспендирования частиц известняка в воде. Содержание твердых частиц 15 % масс. Объем суспензии в мешалке 50 куб. метров. Также мешалка предназначена для подогрева суспензии от 25 до 45 °С.

При проектировании мешалки были выполнены технологический расчет основного и вспомогательного оборудования (насоса для подачи суспензии). Были определены размеры мешалки и перемешивающего устройства.

Спроектированная мешалка удовлетворяет техническому заданию и может быть использована в производстве.

					КП ПУАХТ ХТЗ-012 М 00.00.00 ПЗ	30
		N				