


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 ПРАКТИЧЕСКИМ (СЕМИНАРСКИМ) ЗАНЯТИЯМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

«Избранные главы процессов и аппаратов химических технологий»

**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)

Практическая работа № 1

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВЕЩЕСТВ ПО ТРУБОПРОВОДАМ ПОД ДЕЙСТВИЕМ НАСОСОВ, РАСЧЕТ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Целью темы является рассмотрение классификаций и видов насосов, по достоинствам и недостаткам определить какой из насосов имеет более высокую эффективность при проведении расчетов, расчет основных параметров выбранного насоса.

Достижение поставленной цели осуществляется решением задач:

1. Изучить область применения насосов.
2. Ознакомиться с основными параметрами насосов.
3. Рассмотреть схему насосной установки.
4. Провести сравнительный анализ насосов различного типа.
5. Провести расчет самого эффективного насоса.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1. Общие сведения о насосах. Жидкости в трубопроводах и аппаратах перемещаются под действием разности давлений, например, в начале и в конце трубопровода. Для перемещения жидкости с низшего уровня на высший используют насосы, которые сообщают жидкости потенциальную энергию давления.

Насос — это гидравлическая машина, которая преобразует механическую энергию электродвигателя в энергию перемещаемой жидкости.

Насосы применяются во всех отраслях промышленности, в сельском и коммунальном хозяйстве, на транспорте. Они находят применение не только как самостоятельные машины или агрегаты, но и как узлы сложных машин и установок: станков, энергетических устройств, транспортных машин и т. п.

Особое значение имеет применение насосов, насосных установок или насосных станций в системах водоснабжения и канализации, где они являются одним из основных узлов.

В системах водоснабжения насосы обеспечивают подачу воды потребителям: промышленным предприятиям, тепловым электростанциям, жилым кварталам населенных мест.

В системах отопления и горячего водоснабжения с помощью насосных установок осуществляется циркуляция горячей воды.

В системах канализации насосы обеспечивают подачу сточной жидкости на очистные сооружения или перекачку ее из пониженных районов населенных мест в основные городские или районные коллекторы.

Независимо от конструкции и рабочего узла каждый водоподъемный насос работает по одному принципу, а именно: вращение рабочего узла (винта, колеса или движение мембраны) создаёт в полости агрегата вакуум, который понижает давление (рис. 1.1). Благодаря этому вода поступает в резервуар и охлаждает рабочий механизм.

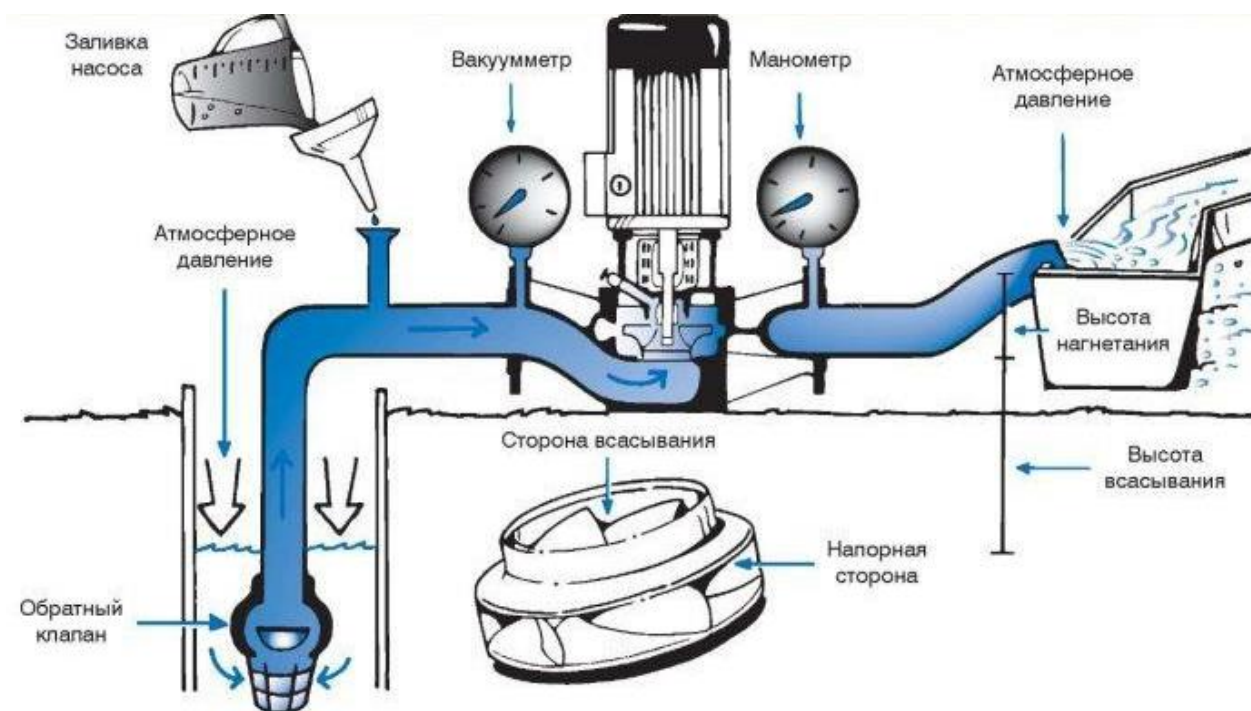


Рис. 1.1. Общая схема работы насоса

Давление снова повышается, что заставляет воду продвигаться вверх и выходить через верхний клапан. Быстрый и непрерывный цикл такого движения создаёт постоянную транспортировку воды по водоприёмной трубе и далее по системе дачного водопровода.

Основные параметры насосов. Основные параметры насосов — подача, напор и потребляемая мощность.

Подача (производительность) V (в $\text{м}^3/\text{с}$) — это объемный расход жидкости, подаваемой насосом в нагнетательный трубопровод.

Напор насоса H (в м) — удельная энергия, сообщаемая насосом единице массы перекачиваемой жидкости.

Полезная мощность N_{Π} (в Вт) — затрачиваемая на создание в жидкости потенциальной энергии давления и равна произведению массового расхода жидкости qgV на напор H :

$$N_{\Pi} = qgVH.$$

Чтобы определить мощность на валу насоса N_e , следует полезную мощность разделить на КПД насоса η_n , который характеризует потери энергии в насосе:

$$N_e = N_{\Pi} / \eta_n = qgVH / \eta_n.$$

Потери энергии в насосе зависят от совершенства конструкции, экономичности эксплуатации и изношенности насоса:

$$\eta_n = \eta_v \eta_r \eta_{\text{мех}},$$

где η_v — коэффициент подачи; учитывает потери производительности при утечках жидкости через клапаны, сальники, зазоры и представляет собой отношение дей-

ствительной подачи V к теоретической V_m , определяемой по соответствующим формулам; η_r - гидравлический КПД; представляет собой отношение действительного напора насоса к теоретическому; $\eta_{мех}$ - механический КПД; характеризует потери мощности на механическое трение в подшипниках, сальниках и других элементах насоса.

КПД насоса в среднем составляет для поршневых 0,8...0,9, для центробежных 0,7...0,95.

Полный КПД насосной установки

$$\eta = \frac{N_{\Pi}}{N_{ДВ}} = \eta_n \eta_{пер} \eta_{ДВ}.$$

где $N_{ДВ}$ - мощность, потребляемая двигателем; $\eta_{пер}$ - КПД передачи; $\eta_{ДВ}$ - КПД двигателя.

Установочную мощность двигателя $N_{уст}$ определяют по значению с учетом перегрузок в момент пуска насоса.

$$N_{уст} = \beta N_{ДВ},$$

где β - коэффициент запаса мощности, который в зависимости от мощности электродвигателя принимает значения от 2 до 1,1, причем с увеличением мощности электродвигателя β снижается.

Схема насосной установки. Насосная установка (рис. 1.2) состоит из насоса 3, нижнего 1 и напорного 5 резервуаров, манометра М, вакуумметра В, всасывающего 2 и напорного 4 трубопроводов.

Чтобы определить напор насоса, запишем уравнение Бернулли для сечений 1-1 и 0-0 для режима всасывания. За плоскость сравнения примем уровень жидкости в нижнем резервуаре

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = H_{BC} + \frac{v_{BC}^2}{2g} + \frac{p_{BC}}{\rho g} + h_{П.ВС}, \quad (1.1)$$

где p_1 - давление в нижнем резервуаре; v_1 - скорость жидкости в нижнем резервуаре в сечении 1-1; H_{BC} - высота всасывания; v_{BC} - скорость жидкости во всасывающем трубопроводе; p_{BC} - давление на всасывании насоса; $h_{П.В}$ - потери во всасывающем трубопроводе.

Для режима нагнетания уравнение Бернулли, составленное для сечений 0-0 и 2-2 (за плоскость сравнения примем плоскость, проходящую через ось насоса 0-0), запишется в виде

$$\frac{p_n}{\rho g} + \frac{v_n^2}{2g} = H_n + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + h_{П.Н} + \frac{h}{g} \quad (1.2)$$

где p_n - давление нагнетания; v_n - скорость в нагнетательном трубопроводе; H_n - высота нагнетания, v_2 - скорость жидкости в верхнем резервуаре в сечении 2-2;

p_2 — давление в нагнетательном резервуаре; $h_{П.Н}$ — потери в нагнетательном трубопроводе.

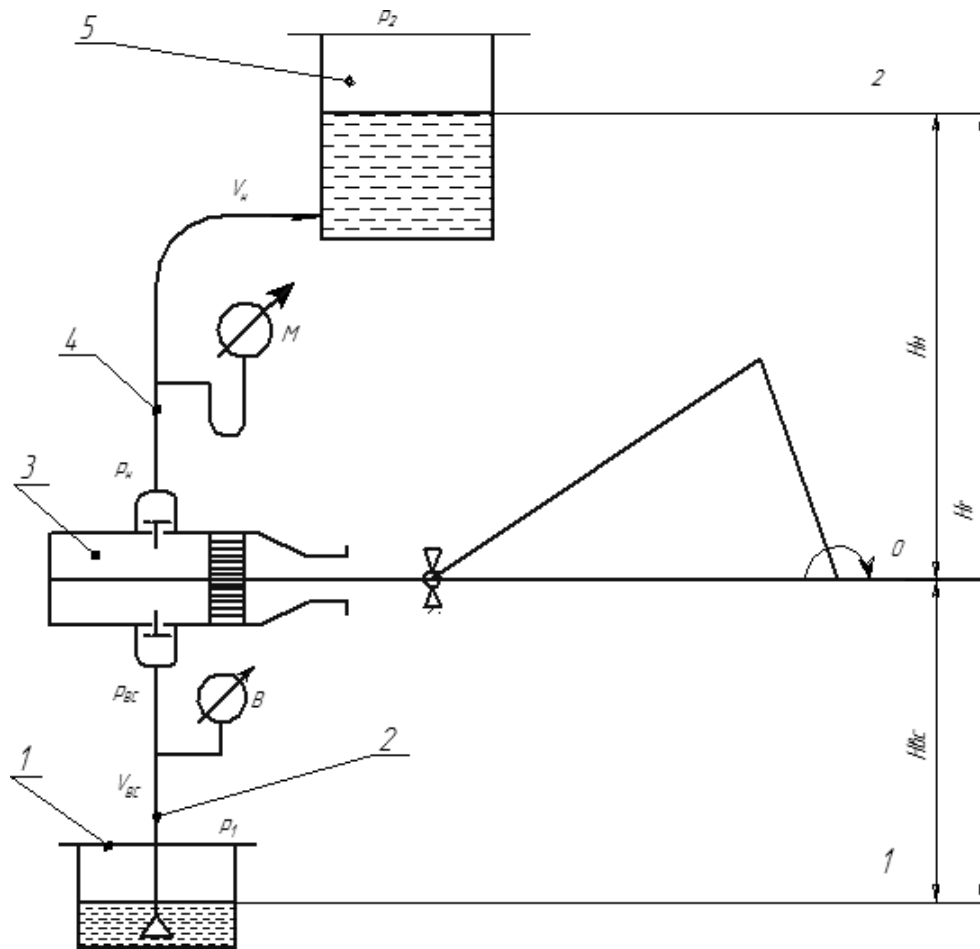


Рис 1.2. Схема насосной установки: 1 – нижний резервуар; 2 – всасывающий трубопровод; 3 – насос; 4 – напорный трубопровод; 5 – напорный резервуар; М – манометр; В – вакуумметр

Если сравнить скорости в нижнем резервуаре v_1 и в напорном v_2 со скоростью во всасывающем трубопроводе v_{BC} и нагнетательном v_H , то окажется, что они пренебрежимо малы. Поэтому примем, что $v_1 = 0$ и $v_2 = 0$.

Это выражение можно упростить, имея в виду, что диаметры нагнетательного и всасывающего трубопроводов, как правило, равны. Тогда $v_{BC} = v_H$. Геометрическая высота подачи жидкости $H_г = H_{BC} + H_H$

Тогда

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + H_r + h_{\Pi} \quad (1.3)$$

где $h_{\Pi} = h_{\Pi.BC} + h_{\Pi.H}$ — общие потери напора.

Если давление в напорном и нижнем резервуарах одинаково ($p_2 = p_1$), то

$$H = H_r + h_{\Pi} \quad (1.4)$$

Согласно уравнению (1.3) напор насоса затрачивается на подъем жидкости на геометрическую высоту H_z , преодоление разности давлений в резервуарах 2 и 3 и гидравлических сопротивлений во всасывающем и напорном резервуарах.

При перекачивании жидкости по горизонтальному трубопроводу ($H_z = 0$) напор насоса целиком затрачивается на преодоление сопротивлений:

$$H = h_{\Pi} \quad (1.5)$$

Напор работающего насоса можно определить по показаниям вакуумметра H_B и манометра H_M в метрах водяного столба:

$$H = H_M + H_B + h,$$

где h — расстояние между вакуумметром и манометром.

Высота всасывания из уравнения 1.1:

$$H_{BC} = \frac{p_2 - p_{BC}}{\rho g} - \frac{v_{BC}^2}{2g} - h_{\Pi.BC} \quad (1.6)$$

Имея в виду, что по сравнению с v_{BC} , скорость v_1 , мала, можно принять, что $v_1 \approx 0$.

Как видно из уравнения (1.6), высота всасывания увеличивается с уменьшением p_{BC} . Чтобы жидкость в насосе не закипела, значение p_{BC} должно быть больше давления насыщенного водяного пара p_1 при температуре перекачиваемой жидкости, т. е. $p_{BC} > p_1$.

Таким образом, предельная высота всасывания

$$H_{BC} \leq \frac{p_{am} - p_1}{\rho g} - \frac{v_{BC}^2}{2g} - h_{\Pi.BC},$$

где p_{am} — атмосферное давление; $p_{am} = p_1$.

В противном случае жидкость в насосе может закипеть, что сопровождается интенсивным парообразованием. Когда пузырьки пара вместе с жидкостью попадают в область повышенного давления, они конденсируются, а жидкость мгновенно заполняет полости, в которых находится пар. Это явление сопровождается шумом, гидравлическими ударами и называется кавитацией. При кавитации снижаются производительность и напор насоса, а гидравлические удары и коррозия приводят к быстрым поломкам насоса.

2. Классификация насосов. Дадим классификацию насосов, получивших наиболее широкое распространение пищевой промышленности (рис. 2.1).

В динамических насосах жидкость перемещается при воздействии сил на незамкнутый объем жидкости, который непрерывно сообщается со входом в насос и выходом из него. В объемных насосах жидкость перемещается (вытесняется) при периодическом изменении замкнутого объема жидкости, который попеременно сообщается со входом в насос и выходом из него. В лопастных насосах энергия сообщается жидкости при обтекании лопастей рабочего колеса (колес) насоса. В насосах трения жидкость перемещается под воздействием сил трения. В объемных насосах с возвратно–поступательным движением рабочего органа жидкость получает энергию при возвратно–поступательном движении рабочего органа.

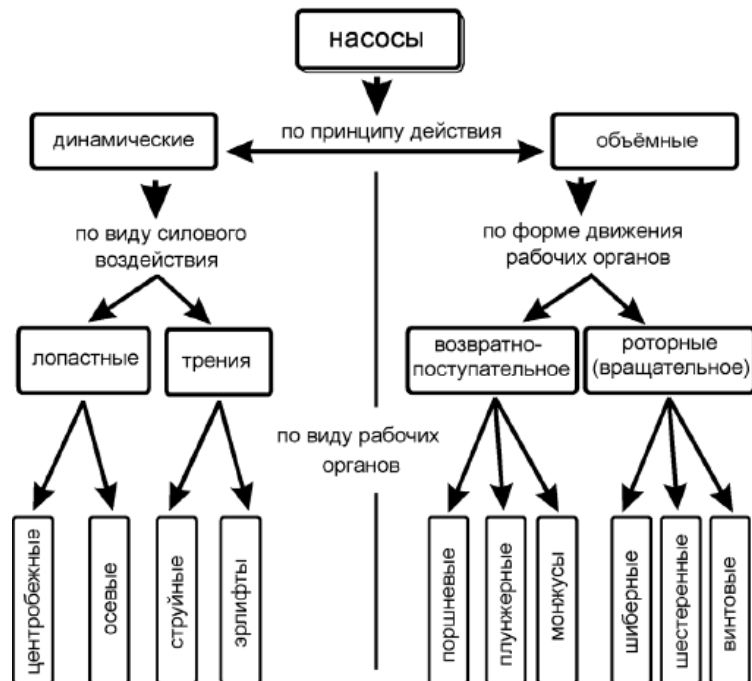


Рис. 1.3. Классификация насосов

В роторных насосах энергия сообщается жидкости при вращательном движении рабочего органа. В соответствии с ГОСТ 17398–72 виды насосов по принципу действия и конструктивному исполнению насчитывают около 130 наименований.

Динамические насосы

Центробежные насосы. Центробежные насосы характеризуются большими производительностями независимо от величины напора.

Основной частью центробежного насоса (рис. 1.4) является рабочее колесо 2, имеющее изогнутые лопатки. Колесо соединено с валом 9 и заключено в кожух (спиральную камеру) 1. При быстром вращении рабочего колеса 2, приводимого во вращение от двигателя, развивается центробежная сила. Под ее влиянием жидкость между лопатками колеса прогоняется к его периферии и, выходя из колеса, поступает в спиральную камеру насоса, а из нее в нагнетательный трубопровод 8. Освобождающееся от выброшенной жидкости центральное пространство насосной камеры заполняется жидкостью, поступающей по всасывающей трубе 5 под

действием внешнего давления p_0 . Таким образом, образуется непрерывный поток жидкости в насос, а из него – к месту подачи.

До начала своей работы центробежные насосы требуют предварительной заливки, без чего они не могут производить всасывание жидкости. Для того, чтобы жидкость при заливке насоса не вытекала из него в исходный резервуар, на погруженном конце всасывающей трубы устанавливается приемный обратный клапан б, снабженный фильтром (сеткой) для предохранения от загрязнений.

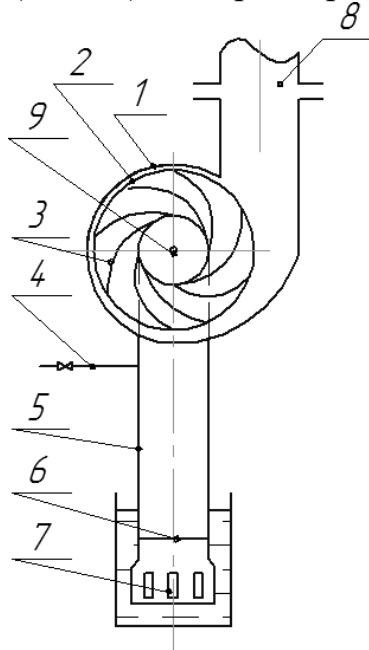


Рис. 1.4. Схема центробежного насоса: 1 – корпус; 2 – рабочее колесо; 3 – лопатки; 4 – линии для залива насоса перед пуском; 5 – всасывающий трубопровод; 6 – обратный клапан; 7 – фильтр; 8 – нагнетательный трубопровод; 9 – вал

Для увеличения подачи при данном напоре насос выполняют с несколькими рабочими колесами, соединенными параллельно. Для подачи небольших объемов жидкости на значительную высоту делают насосы с несколькими последовательно соединенными колесами. По величине создаваемого напора различают: низконапорные центробежные насосы (при напоре до 20 м); насосы среднего давления (напор от 20 до 60 м), а при напоре более 60 м – насосы высокого давления.

По способу подвода жидкости на рабочее колесо центробежные насосы подразделяют на насосы с односторонним и двусторонним входом. По расположению вала: горизонтальные и вертикальные насосы. По способу соединения с двигателем: со шкивом или с редуктором; при помощи муфты; моноблоки (насосы, имеющие общий вал с двигателем).

Преимущества центробежных насосов перед насосами других типов:

- компактность, небольшая металлоемкость, простота установки, отсутствие передаточных устройств, более низкая стоимость в сравнении с поршневыми насосами;
- высокая производительность при равномерной подаче;
- простота пуска, регулирования, ремонта и обслуживания;

– возможность перекачивания загрязненных жидкостей (отсутствие клапанов);

– высокая надежность в работе и долговечность.

К недостаткам центробежных насосов следует отнести понижение напора с увеличением производительности, а также низкий коэффициент полезного действия при малой производительности (ниже $0,25 - 0,30 \text{ м}^3/\text{с}$).

Осевые насосы. Внешне похожи на гребной винт корабля (рис. 1.5).

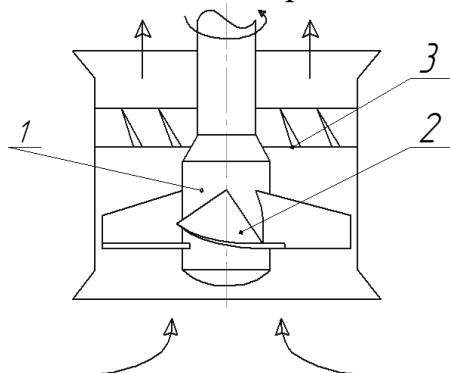


Рис. 1.5. Осевой насос: 1 – втулка; 2 – лопасти; 3 – осевой направляющий аппарат

На втулке 1 закреплено несколько лопастей. Механизм передачи энергии от рабочего колеса жидкости тот же, что и у центробежного насоса. Отводом насоса служит осевой направляющий аппарат 3 (неподвижный), с помощью которого устраняется закрутка жидкости, и кинетическая ее энергия преобразуется в энергию давления. Осевые насосы применяют при больших подачах и малых напорах (до 20 м). Для расширения диапазона работы осевых насосов применяют поворотные лопасти.

Осевые насосы не так чувствительны к загрязнению жидкости (что вызывает износ и истирание лопаток), как центробежные, поэтому в случае небольших напоров они имеют преимущество перед центробежными при водозаборе из рек и каналов, несущих наносы. Для получения напоров более 10 м применяют двухступенчатые и трехступенчатые пропеллерные насосы. Их изготавливают с вертикальным или горизонтальным валом. В первом случае насосы называются вертикальными, во втором — горизонтальными.

Эрлифты. Действие эрлифтов основано на создании разности объемного веса жидкости в двух сообщающихся сосудах. При помощи компрессора (рис. 2.4) по трубке 1 подается сжатый воздух, который через форсунку 2 распыляется в нижнем конце трубы 3. В подъемной трубе 3 образуется газожидкостная эмульсия плотностью $\rho_э$, которая будет вытесняться жидкостью ($\rho_{жс} > \rho_э$) и подниматься по трубе 3. Эрлифты характеризуются простотой конструкции, отсутствием трущихся частей и низким к.п.д. (20...25%). Кроме того, высота подъема жидкости в трубе (напор) зависит от глубины погружения трубы.

К достоинствам эрлифта помимо простоты устройства и отсутствия каких-либо механизмов и движущихся частей, эрлифты обладают еще тем преимуществом, что могут работать в условиях повышенных температур, т.е. тогда, когда центробежные насосы не могут быть использованы.

К недостаткам газлифтов следует отнести низкий к.п.д. (не более 25-35 %), малую производительность, наличие компрессорной станции для сжатого газа.

Струйные насосы. Струйные насосы развивают низкий напор и применяются для нагнетания жидкостей (инжекторы) и всасывания их (эжекторы). Струйный насос изображен на рис. 1.6. Принцип действия струйных насосов основан на использовании для отсасывания и подачи жидкости кинетической энергии рабочей жидкости, которая с большой скоростью из сопла 1 поступает в конфузор 3 и создает разрежение в камере смешения 2.

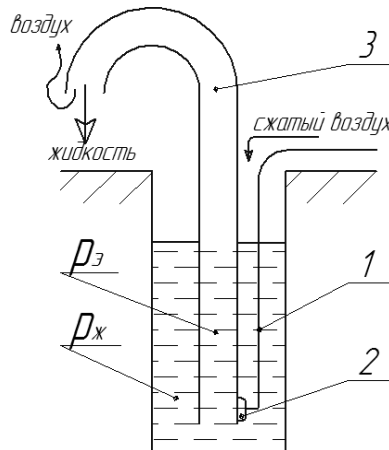


Рис. 1.6. Эрлифт: 1, 3 – трубы; 2 – форсунка

За счет разрежения в камеру смешения поступает засасываемая жидкость и в результате трения смешивается в конфузоре с рабочей жидкостью. Смесь жидкостей движется по конфузору 3 с увеличивающейся скоростью, при этом в соответствии с уравнением Бернулли уменьшается ее статическое давление. При движении жидкости в диффузоре 5 скорость жидкости уменьшается, но увеличивается ее давление, жидкость поступает в нагнетательный трубопровод. В качестве рабочей жидкости в струйных насосах может использоваться газ или пар.

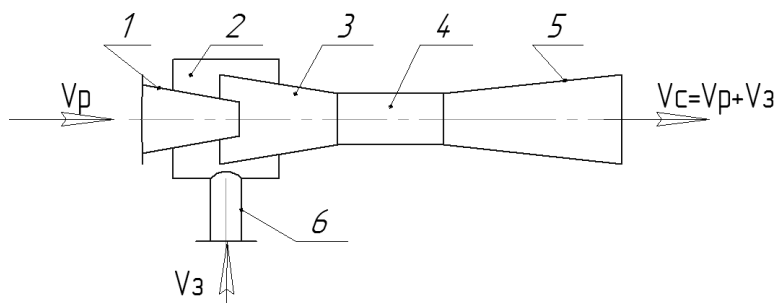


Рис. 1.7. Струйный насос: 1 – сопло; 2 – камера смешения; 3 – конфузор; 4 – горловина; 5 – диффузор; 6 – всасывающий патрубок; V_p – расход рабочей жидкости; V_z – расход засасываемой жидкости; V_c – суммарный расход жидкой смеси

Достоинством струйных насосов является простота их конструкции, а их недостатком – низкий коэффициент полезного действия (0,1 – 0,25) и струйные насосы можно использовать лишь в тех случаях, когда допустимо смешение перекачиваемой жидкости с рабочей.

Объемные насосы

Поршневые насосы. Поршневые насосы представляют собой простейшие гидравлические машины с возвратно–поступательным движением поршня в гидроцилиндре (рис. 1.8). В гидроцилиндре 1 поршень 2 со штоком 5 совершает возвратно-поступательное движение. При движении поршня вправо объем в рабочей камере увеличивается, давление в ней уменьшается, и жидкость из резервуара по всасывающей трубе через всасывающий гидроклапан 3 поступает в рабочую камеру. Процесс всасывания происходит при закрытом напорном клапане 4. При движении поршня влево объем в камере уменьшается, давление повышается. Под действием давления напорный клапан открывается, а всасывающий клапан 3 закрывается, и жидкость из рабочей камеры вытесняется через 4 в напорный трубопровод.

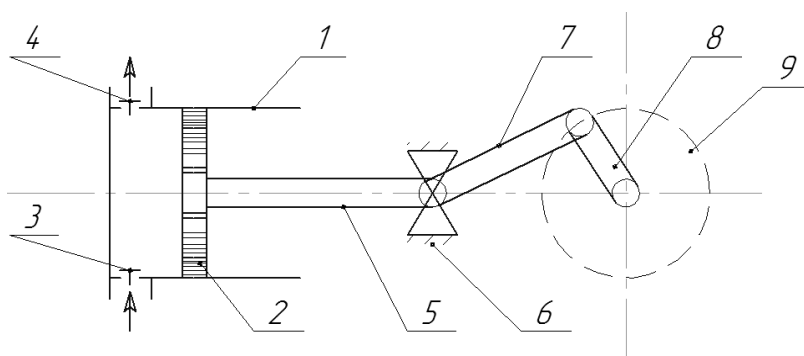


Рис. 1.8. Поршневой насос простого действия: 1 – цилиндр; 2 – поршень; 3 – всасывающий клапан; 4 – нагнетательный клапан; 5 – шток; 6 – ползун; 7 – шатун; 8 – кривошип; 9 – маховик

Дальнейшее вращение кривошипа 8 ведет к повторению цикла поршневого насоса.

Теоретическая производительность определяется следующим образом:

$$Q_T = FSn.$$

Действительная подача составит:

$$Q_D = \eta_{об} FSn,$$

где F – площадь сечения поршня, м^2 ; S – длина хода поршня, $S = 2r$, м; n – частота вращения кривошипа, об/с; $\eta_{об}$ – объемный к.п.д., учитывающий утечки жидкости через уплотнения поршня и штока.

Одним из основных преимуществ поршневых насосов является независимость их производительности от создаваемого напора. Преимуществом является также их способность к самовсасыванию. При запуске поршневой насос может выкачать из полости всасывания воздух и поэтому не нуждается в предварительной заливке. Используя в качестве привода паровой двигатель, поршневым насосом можно перекачивать огне- и взрывоопасные жидкости. Вместе с тем эти насосы обладают рядом существенных недостатков: 1) громоздкость, большая металлоемкость, необходимость в специальных фундаментах; 2) наличие клапанов, требующих постоянного ухода и ремонта, а также исключают перекачивание

загрязненных жидкостей (суспензий); 3) необходимость в промежуточной передаче между насосом и двигателем; 4) неравномерность подачи жидкости.

Плунжерные насосы. Отличаются от поршневых насосов рабочим органом. Плунжер или скалка не имеют уплотнительных колец и отличаются от поршня значительно большим отношением длины к диаметру. Плунжерные насосы не требуют такой тщательной обработки внутренней поверхности цилиндра как поршневые, поэтому находят применение для перекачивания загрязненных и вязких жидкостей. Они более распространены, чем поршневые насосы.

Монтежю (Монжус). Монтежю работает по принципу вытеснения жидкости из резервуара газом или паром. Жидкость через кран 2 поступает в резервуар 1 (рис. 2.7). Кран–воздушник 5 должен быть открыт (удаляется воздух в атмосферу). После заполнения резервуара краны 2 и 5 закрываются, открываются 4 и 3. Сжатый воздух поступает через кран 4 и вытесняет жидкость по трубе через кран 3.

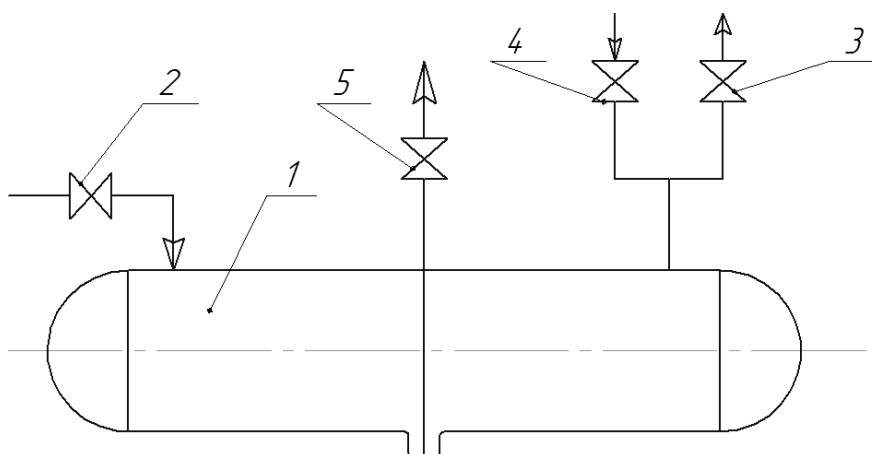


Рис. 1.9. Насос монтежю: 1 – резервуар; 2 – кран для впуска жидкости в резервуар; 3 – кран для выпуска воздуха из резервуара; 4 – кран для впуска сжатого воздуха; 5 – кран на нагнетательной трубе

Производительность насоса может быть рассчитана следующим образом:

$$Q = \frac{q}{t},$$

где q – объем резервуара, t – время продолжительности цикла, включающее в себя время наполнения, опорожнения резервуара и время на вспомогательные операции. Именно по той причине, что полный цикл работы насоса включает в себя непроизводительное время наполнения, к.п.д. насоса невелик. Напор, создаваемый монтежю, достигает 300 метров.

Основное преимущество монтежю – отсутствие в них движущихся частей, разрушающихся в результате истирания и коррозии. Поэтому их применяют для перекачивания загрязненных, химически агрессивных и радиоактивных жидкостей. Однако, монтежю громоздки, требуют постоянного наблюдения и работают с низким показанием к. п. д. (менее 15...20 %). Производительность периодически работающих монтежю до 45 м³/ч, а подача жидкости при непрерывной работе (автоматические монтежю) происходит неравномерно.

Шестеренные насосы. Для перекачки вязких жидкостей при небольшой подаче (не более $0,1 \text{ м}^3/\text{с}$) и напорах до $2,5 \text{ МПа}$ (25 атм) применяются шестеренные (зубчатые) насосы (рис. 1.10), которые состоят из двух плотно сцепляющихся широких зубчатых колес 1, расположенных с минимальными зазорами ($0,01 \dots 0,03 \text{ мм}$) в кожухе 2 и вращающихся в противоположные стороны. С той стороны, где зубья выходят из зацепления, создается разрежение и жидкость всасывается в кожух по всасывающему трубопроводу, заполняя пространство между зубьями. Далее жидкость переносится впадинами зубчатки на диаметрально противоположную сторону кожуха, где зубья вновь входят в зацепление и вытесняют жидкость в нагнетательный трубопровод. Насос является реверсивным.

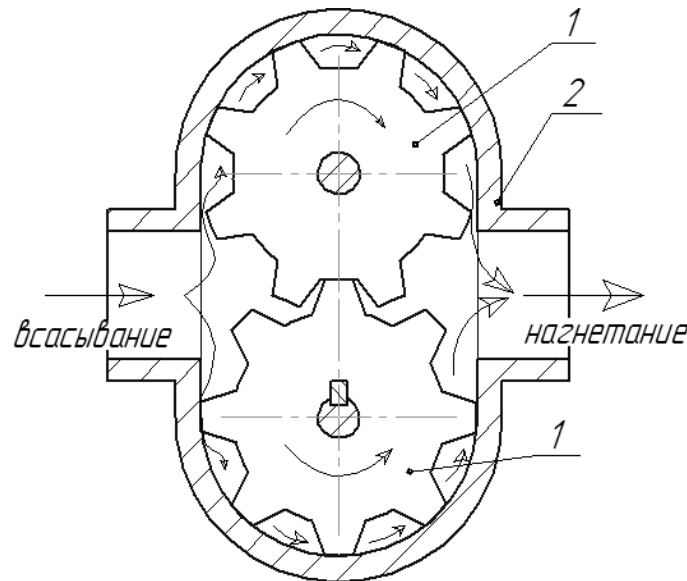


Рис. 1.10. Шестеренный насос: 1 – зубчатые колеса; 2 – кожух

Подача шестеренного насоса определяется по формуле:

$$Q = 2\pi \cdot d_n \cdot b \cdot m \cdot n \cdot \eta_{об},$$

где d_n – начальный диаметр шестерни, м; b – ширина шестерни, м; n – частота вращения шестерни, об/с; $\eta_{об}$ – объёмный к.п.д. насоса; $m = \frac{d_n}{z}$ – модуль шестерни, z – число зубьев шестерни.

Преимущества насоса: отсутствие клапанов, компактность, реверсивность, низкий (сравнительно) коэффициент неравномерности подачи. Недостатки: низкий к.п.д. ($0,6 \dots 0,7$), небольшая производительность, высокие требования к чистоте перекачиваемой жидкости.

Роторно-пластинчатые (шиберные) насосы. В пластинчатом насосе (рис. 2.9) ротор 1 с лопатками (пластинами) 2 вращаются вместе с валом, посаженным с эксцентриситетом относительно статора 3. Пластины 2 скользят в прорезях ротора. Благодаря эксцентричному расположению ротора, каждая пластина под действием центробежной силы за один оборот вала вдвигается и выдвигается из паза, прижимаясь к внутренней поверхности статора (кожуха). При вращении ротора, каждая пара лопастей (пластин) непрерывно отделяет изолированный объем жидкости и переносит его на сторону нагнетания, где жидкость вытесняет

ся вследствие уменьшения объема. Подача насоса весьма равномерна и обычно регулируется изменением эксцентриситета e .

На рис. 1.11 показан насос однократного действия. В пластинчатом насосе двукратного действия за один оборот ротора насос дважды подает жидкость в напорную гидролинию. Насосы однократного действия создают давление 5...6 МПа, насосы двукратного действия – более 20 МПа.

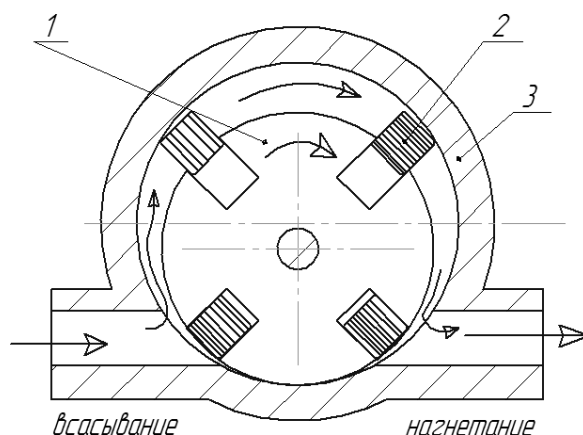


Рис. 1.11. Пластинчатый насос: 1 – ротор; 2 – лопатки (пластины); 3 – статор

В противовес к другим вакуумным насосам работают непосредственно контратмосферного давления и при помощи газобалластного устройства создают возможности к отсасыванию паров, эти насосы находят обширное применение в многочисленных отраслях промышленности. Двухступенчатый пластинчатороторный вакуумный насос 2 DS 150 может применяться в качестве предварительного насоса к диффузионным насосам Рутса. Кроме этого он, в связи с его двухступенчатым исполнением, может быть предназначен для всех процессов, связанных с низким вакуумом. В зависимости от требующихся насосных комбинаций для той или иной цели применения и соответствующих дополнительных устройств (отделители, конденсаторы или холодные ловушки) наши пластинчатороторные вакуумные насосы можно применять для следующих процессов:

- химическая промышленность: дистилляция, сублимация, дегазация, сушка, сушка замораживанием;
- металлургическая промышленность: плавка и отливка, легирование, агломерация, дегазация;
- электротехническая промышленность: сушка и дегазация, пропитывание, вакуумирование, вентиляция, селеновое паровакуумирование.

Сравнительный анализ работы насосов различных типов

Рассмотренные ранее типы насосов различны по сложности конструктивного оформления, по принципу действия, по производительности и развиваемому напору и их взаимному влиянию, по величине коэффициента полезного действия, по металлоемкости, по непрерывности подачи и т.д. Указанные факторы определяют достоинства и недостатки насосов и их область применения.

Центробежные насосы. Наибольшее распространение в химической промышленности получили центробежные насосы, характеризующиеся рядом положительных качеств. К ним относятся: высокая производительность и равномерность подачи, компактность и быстроходность (возможность непосредственного присоединения к электродвигателю); простота устройства, что позволяет изготавливать их из химически стойких, трудно поддающихся механической обработке материалов (например, ферросилида, керамики и т.д.); возможность перекачивания жидкостей, содержащих твердые взвешенные частицы, благодаря большим зазорам между лопатками; возможность установки на легких фундаментах.

К.п.д. наиболее крупных центробежных насосов достигает 0,95 (к.п.д. поршневых насосов 0,9). Однако центробежные насосы небольшой и средней производительности имеют к.п.д. на 10-15% ниже, чем поршневые.

К недостаткам центробежных насосов следует отнести относительно низкие напоры, а также уменьшение производительности при увеличении сопротивления сети и резкое снижение к.п.д. при уменьшении производительности.

Осевые насосы применяются для перемещения больших объемов жидкостей при относительно невысоких напорах, т.е. по сравнению с центробежными насосами осевые насосы имеют значительно большую подачу, но меньший напор. К.п.д. высокопроизводительных осевых насосов достигает 0,9 и выше.

Струйные насосы и эрлифты. Струйные насосы просты по устройству, надежны в работе, что является их достоинством. Применяются для откачки воды из скважин, для смешения холодной и горячей воды теплофикационных сетей, а также там, где недопустимо наличие трущихся деталей в насосе.

К недостаткам струйных насосов относятся низкая величина к.п.д. из-за потерь напора в самом насосе и большой расход рабочей жидкости под давлением. Следует учитывать и то, что их можно применять только в том случае, если допустимо смешение рабочей и перекачиваемой жидкостей.

Эрлифты просты по устройству и надежны в работе. Они применяются для подъема жидкости из глубоких скважин. В химической промышленности – для осуществления ряда процессов взаимодействия газов и жидкости при ее интенсивной циркуляции, а также для подачи агрессивных жидкостей. Основным недостатком газлифтов является их низкий к.п.д.

Поршневые насосы. Положительными качествами поршневых насосов являются: независимость их производительности от развиваемого напора, т.е. возможность подачи небольших количеств жидкости под высоким давлением; осуществление их пуска в ход без предварительной заливки всасывающего трубопровода; высокий к.п.д.

Поршневые насосы обладают рядом недостатков, ограничивающих область их применения. К основным недостаткам относятся: 1) громоздкость, большая металлоемкость и высокая стоимость, сложность их конструкции; 2) возвратно-поступательное движение поршня, вызывающее необходимость применения для их привода кривошипно-шатунного механизма и монтажа насосов на тяжелых фундаментах; 3) большая занимаемая площадь; 4) наличие клапанов, требующих постоянного ухода и ремонта, а также исключающих возможность перекачивание

жидкостей, содержащих взвешенные твердые частицы; 5) неравномерность всасывания и нагнетания жидкости.

Производительность поршневых насосов по причинам конструктивного характера обычно ограничена примерно $0,04 \text{ м}^3/\text{с}$.

Поршневые насосы применяют лишь при сравнительно небольших подачах и высоких давлениях, для перекачивания вязких жидкостей, для дозировки жидких сред.

Разновидностью поршневого насоса одинарного действия является мембранный насос, который применяется для перекачивания агрессивных жидкостей.

Основное преимущество **монтежю** – отсутствие в них движущихся частей, разрушающихся в результате истирания и коррозии. Поэтому их применяют для перекачивания загрязненных, химически агрессивных и радиоактивных жидкостей.

Шестеренные насосы могут работать с сильновязкими и густыми жидкостями. Недостатками насоса являются низкий к.п.д. насоса ($0,6 - 0,7$), небольшая производительность и высокие требования к чистоте перекачиваемой жидкости.

Роторные насосы. Основными отличиями роторных насосов от поршневых и их достоинствами являются: отсутствие клапанов, простота привода насоса от двигателя и равномерность подачи.

Пластинчатые насосы применяются также для перекачки чистых и вязких жидкостей, но в отличие от шестеренных они имеют большую производительность.

Так как центробежный насос имеет большое преимущество над остальными рассматриваемыми насосами, то в дальнейшем для большей эффективности проведенной работы я буду рассматривать центробежные насосы.

3. Описание центробежного насоса СНЦ. Электронасосы центробежные типа СНЦ предназначены для перекачивания слабоагрессивных жидкостей с водородным показателем $\text{pH}=5\ldots 10$ плотностью до 1250 кг/м^3 , а также нейтральных жидкостей, в том числе питьевой воды температурой до 105°C , в пищевой промышленности – для перекачивания спирта, вина, соков и пр.

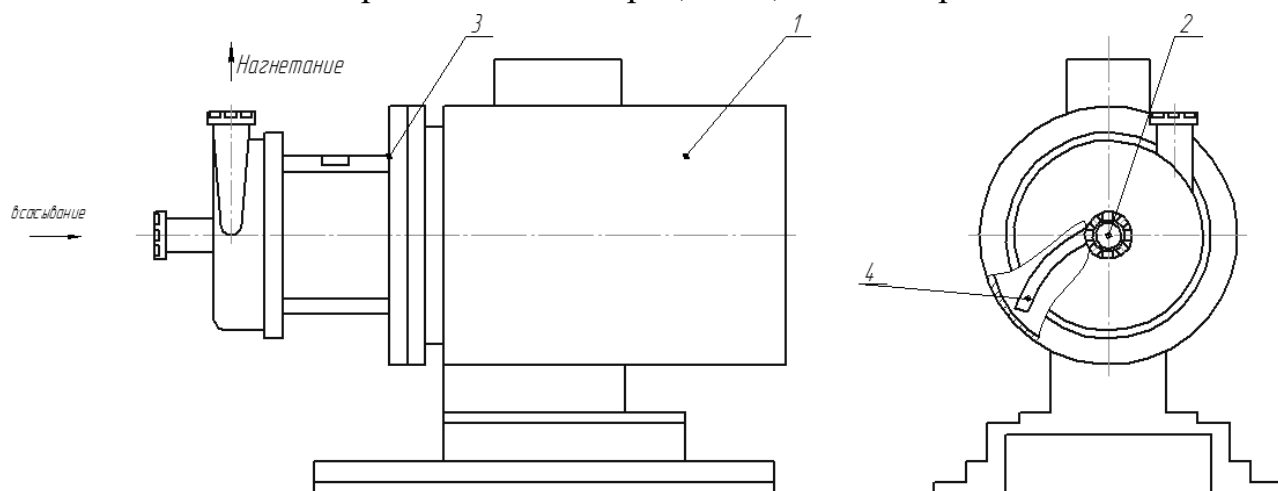


Рис. 1.12. Электронасос СНЦ: 1 – электронасос; 2 – вал, 3 – торцовое уплотнение; 4 – лопасти (6 шт.)

Электронасосы СНЦ (рис. 3.1) – центробежные, горизонтальные, консольные моноблочные с приводом от асинхронного трехфазного электродвигателя 1 взрывобезопасного или общепромышленного исполнения типа АИР, ДАТ, ВА с уменьшенным концом вала. Все детали, соприкасающиеся с перекачиваемой жидкостью, выполнены из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т. Валом насоса 2 является вал электродвигателя, защищенный надетым на него, посаженным на клей, удлинителем. На удлинитель, насаженный на конец вала электродвигателя, надето рабочее колесо насоса. Крепление рабочего колеса осуществляется винтом рабочего колеса. В крышке электронасоса установлено торцовое уплотнение 3. Электронасос с двойным торцовым уплотнением снабжен бачком для автономного охлаждения торцового уплотнения. Перед пуском насоса в зону уплотнения должна быть подана охлаждающая жидкость (вода). Необходимо также бачок периодически доливать водой для предотвращения выхода из строя торцового уплотнения. При работе насоса перекачиваемая жидкость подается по оси корпуса насоса через всасывающий патрубок на лопатки рабочего колеса. При вращении рабочего колеса жидкость отбрасывается лопатками и под действием центробежной силы поступает в нагнетательный патрубок. Направление вращения насоса – против часовой стрелки, если смотреть со стороны всасывающего патрубка. Направление вращения проверяется пробным пуском.

Условия эксплуатации. Номинальные значения климатических факторов по ГОСТ 15150-69. Температура окружающей среды от 0 до 40°C. Относительная влажность воздуха 100% при температуре 35°C. Электронасосы должны эксплуатироваться в рабочей зоне $Q-H$ насосных характеристик. Не допускается запуск и работа насоса. С одинарным торцовым уплотнением, не заполненного перекачиваемой жидкостью, – "всухую". С двойным торцовым уплотнением – с бачком, не заполненным водой (при автономной системе охлаждения) или без подачи затворной жидкости в полость уплотнения вала (в случае отсутствия бачка). Пуско-защитная аппаратура должна исключать возможность работы электродвигателя с перегрузкой.

Расчет центробежного насоса

Для обеспечения подачи продукта в теплообменник с требуемым напором необходимо выполнить подбор и расчет насоса.

а) Расчет оптимального диаметра трубопровода.

Для всасывающего и нагнетающего трубопровода примем одинаковую скорость течения продукта, равную 2 м/с. Тогда диаметр равен:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot \omega}},$$

где Q – расход продукта, кг/с, ω – фиктивная скорость течения продукта, м/с.

б) Определение потерь на трение и местные сопротивления.

1. Для определения режима течения потока находим критерий Рейнольдса:

$$Re_1 = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho}{\mu},$$

где ω – фиктивная скорость течения продукта, м/с; d – диаметр трубопровода, м; ρ – плотность продукта, кг/м³; μ – вязкость продукта, Па·с.

2. Определим относительную шероховатость трубопровода:

$$E_o = \frac{\Delta}{d},$$

где Δ – абсолютная шероховатость трубопровода, м; d – диаметр трубопровода, м.

3. Определяем коэффициент трения в трубопроводе:

$$\lambda = 0,11 \left(E_o + \frac{68}{Re_1} \right),$$

где E_o – относительная шероховатость трубопровода; Re_1 – критерий Рейнольдса.

4. Определим сумму коэффициентов местных сопротивлений отдельно для всасывающей и нагнетательной линий.

Для всасывающей линии:

Вход в трубу: $\xi_{1bc} = 0,5$; прямоточные вентили: $\xi_{2bc} = 0,51$; отводы: $\xi_{3bc} = 0,09$.

Для нагнетательной линии:

Отводы под углом 120° : $\xi_{1n} = 0,105$; отводы под углом 90° : $\xi_{2n} = 0,09$; нормальные вентили: $\xi_{3n} = 5$; выход из трубы: $\xi_{4n} = 1$.

Сумма коэффициентов местных сопротивлений во всасывающей линии равна:

$$\xi_{bc} = \xi_{1bc} + \xi_{2bc} + \xi_{3bc},$$

где ξ_{1bc} , ξ_{2bc} , ξ_{3bc} – коэффициенты местных сопротивления на всасывающей линии.

Потерянный напор во всасывающей линии:

$$h_{bc} = \left(\lambda \frac{L_{bc}}{d} + \xi_{bc} \right),$$

где λ – коэффициент трения; L_{bc} – длина трубопровода во всасывающей линии, м; d – диаметр трубопровода, м; ξ_{bc} – сумма коэффициентов местных сопротивлений во всасывающей линии.

Сумма коэффициентов местных сопротивлений в нагнетательной линии:

$$\xi_n = \xi_{1n} + \xi_{2n} + \xi_{3n} + \xi_{4n},$$

где ξ_{1bc} , ξ_{2bc} , ξ_{3bc} , ξ_{4bc} – коэффициенты местных сопротивления на нагнетательной линии.

Потерянный напор в нагнетательной линии:

$$h_n = \left(\lambda \frac{L_n}{d} + \xi_n \right),$$

где λ – коэффициент трения; L_n – длина трубопровода в нагнетательной линии, м; d – диаметр трубопровода, м; ξ_n – сумма коэффициентов местных сопротивлений в нагнетательной линии.

Определяем общие потери напора: $h_{\Pi} = h_{bc} + h_n$,

где h_{bc} и h_n – соответственно потерянный напор во всасывающей и нагнетательной линиях, м.

в) Выбор насоса.

1. Напор насоса рассчитываем по формуле: $H_n = \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g} + H_{\Gamma} + h_{\Pi}$,

где p_1 – давление в аппарате из которого перекачивают продукт, Па; p_2 – давление в теплообменнике, Па; ρ – плотность продукта, кг/м³; H_g – геометрическая высота подъема жидкости, м; h_n – общие потери напора, м.

По рассчитанному напору подбираем тип насоса.

1. Определяем полезную мощность насоса:

$$N_H = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_H,$$

где ρ – плотность продукта, кг/м³; Q – расход продукта, кг/с; H_H – напор насоса.

2. Определяем мощность на валу двигателя:

$$N_D = \frac{N_H}{\eta_H \cdot \eta_{\text{пер}}},$$

где N_H – полезная мощность насоса, Вт; η_H – КПД насоса, $\eta_{\text{пер}}$ – КПД электродвигателя.

3. Определяем запас напора для выбранного типа насоса:

$$h_z = 0,3(Q \cdot n^2)^{2/3},$$

где Q – расход продукта, кг/с; n – частота вращения вала, с⁻¹.

Условия проведения работы.

Для проведения работы студентам предоставляются методические указания, и преподаватель знакомит их с определениями и основными направлениями работы.

Проведение работы.

Выполнение работы заключается в изучении основных теоретических сведений и обсуждении материалов работы.

Порядок выполнения работы.

Подробно изучить основные теоретические сведения и выполнить расчет по вариантам.

1. Расход Q (см. задание по вариантам);
2. Фиктивная скорость $\omega = 2$ м/с;
3. Плотность ρ (см. задание по вариантам);
4. Вязкость μ (см. задание по вариантам);
5. Абсолютная шероховатость трубопровода Δ (см. задание по вариантам);
6. Длина трубопровода на линии всасывания $L_{\text{вс}} = 0,5$ м;
7. Длина трубопровода на линии нагнетания $L_H = 4$ м;
8. Давление в аппарате из которого перекачивают вещество $p_1 = 0$ Па;
9. Давление в теплообменнике $p_2 = 100000$ Па;
10. Геометрическая высота насоса $H_T = 3,4$ м.

ЗАДАНИЕ									
№ вар.	Q, кг/с	ρ , кг/м ³	μ , Па·с	Δ , мм	№ вар.	Q, кг/с	ρ , кг/м ³	μ , Па·с	Δ , мм
1	4	1025	0,00145	0,12	11	4,3	1051	0,00161	0,20
2	4,5	1030	0,00165	0,13	12	4,7	1055	0,00172	0,21
3	5	1035	0,00175	0,14	13	5,3	1059	0,00181	0,22
4	5,5	1040	0,00185	0,15	14	5,7	1060	0,00176	0,23
5	6	1045	0,00170	0,16	15	6,8	1025	0,00163	0,24
6	6,5	1043	0,00160	0,17	16	6,7	1030	0,00177	0,25
7	7	1046	0,00174	0,18	17	7,4	1035	0,00169	0,26
8	7,5	1068	0,00172	0,19	18	7,7	1042	0,00170	0,27
9	8	1054	0,00171	0,20	19	8,2	1054	0,00182	0,25
10	8,5	1049	0,00178	0,21	20	8,8	1058	0,00173	0,28

Содержание и оформление отчета.

Отчет должен содержать:

- название и цель работы;
- расчет по вариантам;
- выводы по работе.

Библиографический список

1. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии : Учебник: [В 2 кн.]. Кн.2 / В.Г. Айнштейн, М.К. Захаров, Г.А. Носов и др.; Под общ. ред.: В.Г. Айнштейна. М. : Логос: Высш. шк., 2003. 872с. : ил.
2. Калекин В. С. Процессы и аппараты химической технологии : Учебное пособие / Калекин В. С. Электрон. дан. Москва : Русайнс, 2021 458 с. Режим доступа: [book.ruInternet accesshttps://book.ru/book/942019](https://book.ru/book/942019) ISBN 978-5-4365-8668-7
3. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии : учебник для вузов : в 2 кн. Кн.1 / В. Г. Айнштейн [и др.] ; под ред. В. Г. Айнштейна. М. : Физматкнига : Логос, 2006. 912 с.: ил.
4. Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : учеб. пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков ; под ред. П. Г. Романкова10-е изд., перераб. и доп. Л. : Химия, 1987. 576 с.

Практическая работа № 2

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ ДЛЯ НАГРЕВАНИЯ, РАСЧЁТ КОЖУХОТРУБЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

Целью темы является интенсификация процессов нагрева в кожухотрубчатом теплообменнике.

Достижение поставленной цели осуществляется посредством решения следующих задач:

1. Проанализировать процесс нагрева, определить основные характеристики и параметры процесса.
2. Осуществить анализ и выбор лучшего оборудования из существующих, выявление недостатков известной конструкции.
3. Расчёт основных параметров конструкции теплообменника.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Виды процессов нагрева. Самое широкое распространение среди всех видов процессов нагрева получили нагревание жидкостью, паром или газами.

Нагревание жидкостью. Суть данного процесса заключается в циркуляции теплоносителя между нагревателем и теплообменником, в который он отдает теплоту. Циркуляция может быть естественной и принудительной. Естественная циркуляция совершается за счет разности плотностей холодного и горячего теплоносителя. Однако эффективней является принудительный способ, который осуществляется с помощью специального насоса.

Чаще всего в качестве теплоносителя используют воду. Это обусловлено тем, что вода является доступным и дешевым теплоносителем, обладает высокой теплоемкостью и теплоотдачей. При нагревании жидкостями наиболее удобно использовать циркуляционный способ. Одним из наиболее простых аппаратов, в которых используется нагревание водой, является ванна длительной пастеризации.

Данный аппарат используется для пастеризации продукт во избежание быстрой порчи. Продукт нагревают при сравнительно небольшой температуре, благодаря чему гибнут неблагоприятные микроорганизмы, остаются только их споры. Принцип работы ванны длительной пастеризации заключается в поступлении пара в воду через коллектор (барботер). Вода заполняет пространство между стенок пастеризатора. При поступлении пара, она может нагреваться до температуры 96С°. Конденсат пара смешивается с водой. Избыток жидкости сливают. Горячая вода нагревает продукт через стенку внутреннего резервуара цилиндрической формы. Когда процесс завершен, происходит подача холодной воды, которая вытесняет горячую из межстенного пространства и одновременно охлаждает молоко.

Нагревание паром распространено благодаря тому, что при конденсации водяного пара выделяется большое количество теплоты. Кроме этого процессу

свойственен высокий коэффициент теплоотдачи от конденсирующего пара стенке и равномерность обогрева.

Существует два вида нагревания паром – это нагревание «острым» паром и нагревание «глухим» паром. При нагревании «острым» паром происходит непосредственный контакт горячего пара с нагреваемым веществом. При этом пар конденсируется и отдает свою теплоту, а конденсат смешивается с веществом. При нагревании «глухим» паром, теплота передается нагреваемому веществу через стенку. В это время пар конденсируется и выводится из теплоносителя. Этот способ используется, если нагреваемая жидкость может взаимодействовать с водой или не должна быть разбавлена. Нагревание паром осуществляется в различных теплообменниках, общим в конструкции которых является передача тепла через нагревательную поверхность, отделяющую продукт от теплоносителя.

Процесс нагревания водяным паром может осуществляться в конденсатоотводчике. Пар вводится через барботер, представляющий собой во многих случаях трубу с отверстиями, согнутую по спирали Архимеда либо по окружности, конденсируется, отдает теплоту нагреваемой жидкости и выходит наружу через продувочный вентиль.

Таким образом, в рассмотренных конструкциях, в независимости от способа нагрева, происходит передача тепла через стенку от более нагретого теплоносителя к менее нагретому продукту.

Отдельно можно выделить нагревание топочными газами. Топочные газы образуются при сжигании твердого, жидкого или газообразного топлива. Самым дешевым и эффективным топливом для получения топочных газов являются природные газы. Топочные газы применяют, если необходима очень высокая температуры для нагревания жидкостей. Их температура может достигать 500-600С°. Для нагревания топочными газами жидких веществ могут использовать трубчатые печи. Данные печи состоят из огнеупорного материала, так как температуры, движущихся по ним газов очень велики. Образовавшиеся топочные газы поступают в ту часть рабочего пространства печи, где основное количество тепла передается нагреваемой жидкости, движущейся по змеевику. Утилизация газов происходит через дымовую трубу.

Нагревание топочными газами не получило широкого распространения в промышленных и пищевых технологиях из-за широкого диапазона температур, специфики их образования, необходимости в качественной теплоизоляции и трудности регулировки температуры продукта.

Поэтому, в основном, в процессах нагревания в качестве теплоносителя используют пар или жидкости. Далее рассмотрим, в каких аппаратах реализуется этот процесс.

2. Классификация аппаратов для нагревания. Аппараты для нагревания можно классифицировать по следующим признакам:

- по конструкции:

а) аппараты, изготовленные из труб (кожухотрубчатые (рис. 2.1, а), «труба в трубе» (рис. 1, б), погружные змеевиковые (рис. 2.1, в);

б) аппараты, поверхностность теплообмена которых изготовлена из листового материала (пластинчатые (рис. 1, г), спиральные (рис. 2.1, д);

в) аппараты с поверхностью теплообмена, изготовленной из неметаллических материалов (графита, пластмасс, стекла и др.);

- по направлению движения теплоносителей — прямоточные, противоточные, перекрестного тока и др.

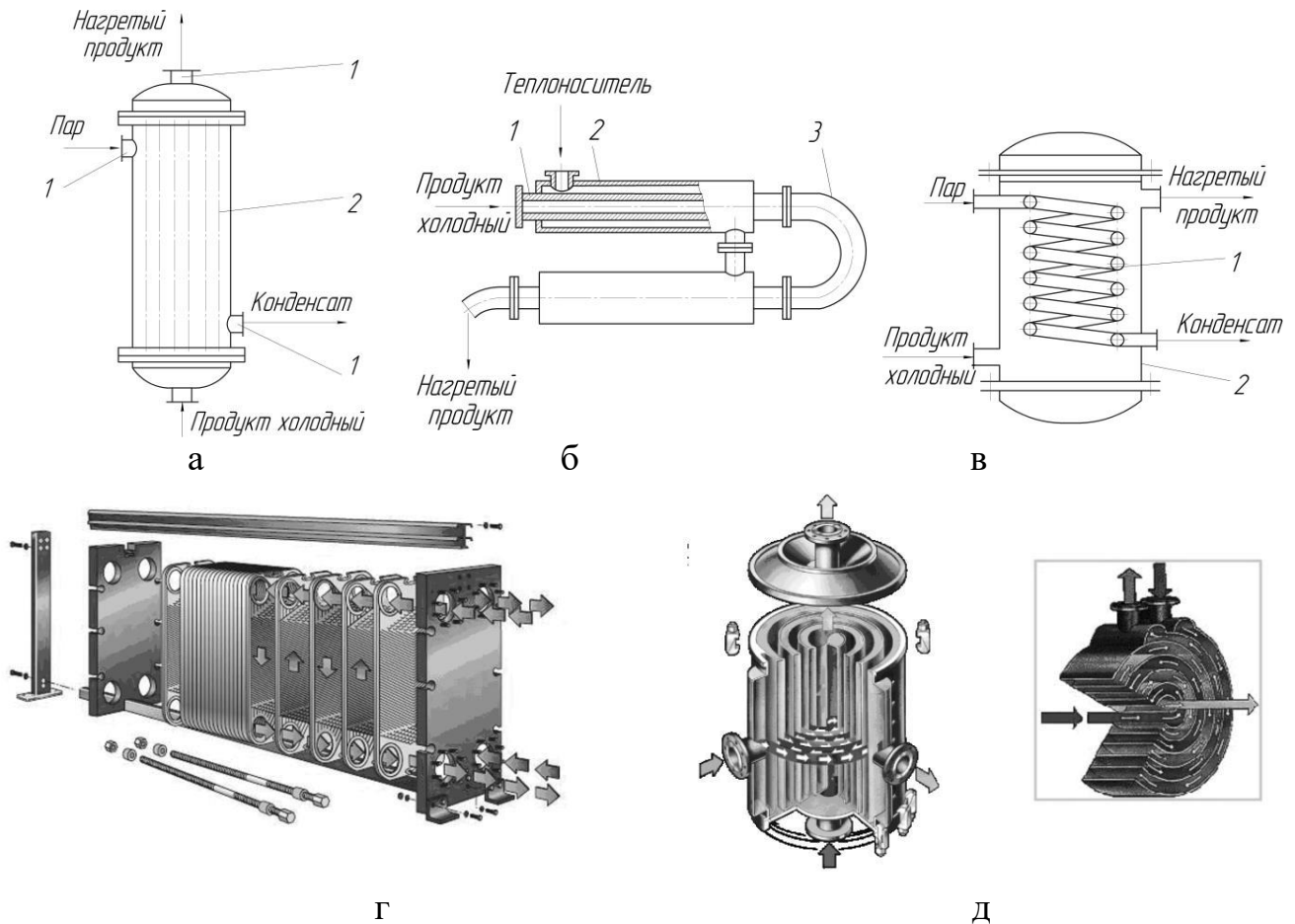


Рис. 2.1. Классификация теплообменных аппаратов:

аппараты, изготовленные из труб: а – кожухотрубчатые (1 – патрубок, 2 – греющие трубки); б – типа «труба в трубе» (1 – теплообменная труба, 2 – кожуховая труба, 3 – калач); в – погружные змеевиковые (1 – змеевик, 2 – корпус); аппараты, изготовленные из листового материала:

г – пластинчатые; д – спиральные

Преимущества теплообменников типа «труба в трубе»: высокий коэффициент теплопередачи вследствие большой скорости обоих теплоносителей, простота изготовления. Недостатки этих теплообменников заключаются в громоздкости, высокой металлоемкости, трудности очистки межтрубного пространства. Теплообменники типа «труба в трубе» применяют при небольших расходах теплоносителей для теплообмена между двумя жидкостями и между жидкостью и конденсирующимся паром. Такой аппарат гарантирует оптимальный режим транспортировки жидкости. Ведь скорость течения теплоносителя и транспортируемой среды может быть практически любой. Ну а возможные недостатки можно откалибровать путем подбора диаметров труб теплообменника прямо в процессе сборки.

Теплообменные аппараты подобного типа не требуют особого внимания в процессе эксплуатации – чистка труб теплообменника и транспортной системы выполняется за считанные минуты. Кроме того, в случае поломки эти устройства можно отремонтировать за пару часов, путем демонтажа поврежденного модуля (отрезка) и установки новой детали с аналогичными характеристиками.

Подобная конструкция не имеет ограничений по типу среды, используемой в системе транспортировки или теплообмена. То есть, сквозь подобный теплообменник можно прокачивать и воду, и пар, и вязкие жидкости, и газообразные среды.

Погружные змеевиковые теплообменники представляют собой трубу, согнутую в виде змеевика и погруженную в аппарат с жидкой средой. Теплоноситель движется внутри змеевика. Змеевиковые теплообменники изготавливают с плоским змеевиком или со змеевиком, согнутым по винтовой линии. Преимущество змеевиковых теплообменников - простота изготовления. В то же время такие теплообменники громоздки и трудно поддаются очистке. Погружные теплообменники применяют для нагрева конденсата, а также для конденсации паров.

Теплообменники типа «труба в трубе» и змеевиковые стальные в общем объеме теплообменной аппаратуры для всех видов промышленности, в том числе пищевой, в России составляют около 8 %. Доля спиральных и пластинчатых теплообменников пока невелика, но на вновь строящихся технологических линиях аппараты этого типа занимают все большее место.

В общем выпуске теплообменных аппаратов наибольшую долю - около 80 % занимают кожухотрубчатые теплообменники. Эти теплообменники достаточно просты в изготовлении и надежны в эксплуатации и в то же время достаточно универсальны, т.е. могут быть использованы для осуществления теплообмена между газами, парами, жидкостями в любом сочетании теплоносителей и в широком диапазоне их давлений и температур.

Основным, и наиболее весомым достоинством кожухотрубчатых теплообменных аппаратов является высокая стойкость данного типа агрегатов к гидроударам. Большинство производимых сегодня видов теплообменников таким качеством не обладают.

Вторым преимуществом является то, что кожухотрубчатые аппараты не нуждаются в чистой среде. Большинство приборов в агрессивных средах работают нестабильно. Например, пластинчатые теплообменники таким свойством не обладают, и способны работать исключительно в чистых средах.

Третьим весомым преимуществом кожухотрубчатых теплообменников является их высокая эффективность. По уровню эффективности его можно сравнить с пластинчатым теплообменником, который по большинству параметров является наиболее эффективным.

Кожухотрубчатые теплообменники получили такое название потому, что тонкие трубки, по которым движется теплоноситель, находятся в середине основного кожуха. От того, какое количество трубок находится в середине кожуха, зависит то, с какой скоростью будет двигаться вещество. От скорости движения вещества будет зависеть, в свою очередь, коэффициент теплопередачи.

Кожухотрубчатые одноходовые теплообменники применяются при боль-

шом объеме пропускаемого по трубам теплоносителя (например, в качестве газовых теплообменников и при теплообмене между газом и жидкостью), а также в качестве конденсаторов паров органических жидкостей.

На основе вышеизложенного можно утверждать, что кожухотрубчатые теплообменники являются наиболее надежными, стойкими и долговечными в настоящее время.

Кожухотрубчатые теплообменники классифицируют по количеству ходов (одноходовые, двухходовые, многоходовые); по типу труб (с прямыми трубами, с U-образными и с П-образными трубами); по расположению (горизонтальные и вертикальные) и др.

Рассмотрим конструкцию кожухотрубчатого теплообменника подробнее. Основными элементами этого теплообменника являются: цилиндрический корпус, трубные решетки, крышки и патрубки. Пучок труб делит весь объем корпуса теплообменника на трубное и межтрубное пространство. Для ввода и вывода теплоносителя используются патрубки. По теплообменнику проходит два потока теплоносителей, первый поток идет по трубкам из нижнего патрубка в верхний, т.е. осуществляет движение в трубном пространстве. Второй поток теплоносителя вводится через верхний патрубок, омывает межтрубное пространство и выходит наружу через нижний патрубок, осуществляя теплообмен через стенки труб (рис. 2.2).

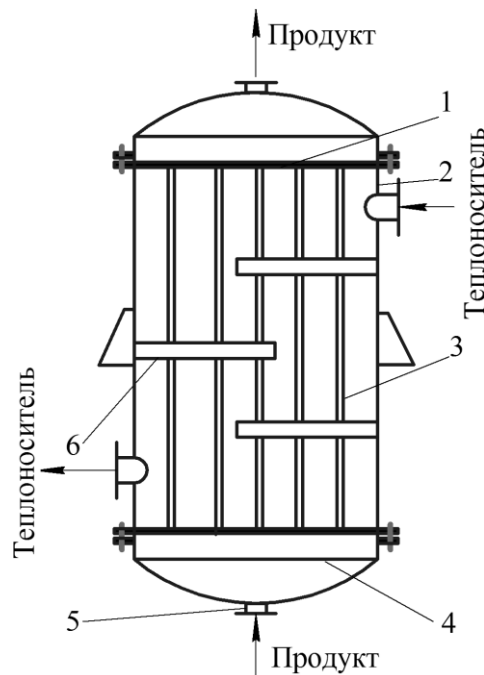


Рис. 2.2. Схема кожухотрубчатого теплообменника:

- 1 – трубная решетка; 2 – корпус; 3 – греющая труба; 4 – днище;
5 – патрубок; 6 – перегородка

Греющие трубы соединены с трубной решеткой сваркой, либо развальцованы в ней. Греющие трубы изготавливают из стали, меди и латуни. Размещают греющие трубы в трубных решетках несколькими способами: по сторонам и вершинам правильных шестиугольников (в шахматном порядке), по сторонам и

вершинам квадратов (коридорное) и по концентрическим окружностям. Шаг размещения труб зависит от внешнего диаметра трубы.

Для интенсификации теплообмена пучок трубок секционируют, т.е. разделяют на несколько секций (ходов), по которым теплоноситель проходит последовательно. Разбивка трубок на ряд ходов достигается при помощи перегородок в верхнем и нижнем днищах. Секционировать можно и межтрубное пространство путем установки направляющих перегородок.

В многоходовом теплообменнике теплоноситель проходит трубное пространство за несколько ходов. Этим достигается повышение скорости теплоносителя, что приводит к увеличению коэффициента теплоотдачи в трубном пространстве.

Теплообменники с U-образными греющими трубами снабжены одной трубной решеткой, и которой закреплены оба конца U-образных труб. Каждая труба при нагревании может удлиняться независимо от других, тем самым компенсируя температурные напряжения.

При явных плюсах рассматриваемые теплообменники так же имеют ряд отрицательных характеристик. Самым значительным недостатком аппаратов является высокая металлоемкость, а значит высокая цена, что не выгодно экономически. Данную проблему можно решить путем использования в конструкции более легких металлов и сплавов. Так же существенным недостатком являются большие габариты агрегата, однако на данный момент этот недостаток устраняется путем различных модернизаций. В качестве недостатка можно выделить быстрый износ трубок, поэтому необходимо тщательно следить за их состоянием, и помнить, что при любых вмешательствах в работу аппарата может измениться площадь теплообмена, а в следствие и эффективность процесса. Для качественной работы теплообменник необходимо тщательно продумывать его конструкцию, т.к. если теплообменник выполнен неудачно, он нуждается в постоянной очистке и обработке. Но надо учитывать, что выполнение технического обслуживания теплообменника может являться проблемой из-за трудного доступа к поверхностям теплообмена. Если не учитывать все тонкости оборудования и процессов, протекающих в нем, то обслуживание теплообменника может обойтись дороже, чем его стоимость.

Эффективность работы теплообменника оценивается интенсивностью протекающих в нем процессов, количеством теплотерь и затрат энергии в ходе работы. В первую очередь необходимо учитывать, что коэффициент теплопередачи зависит от созданных при разработке агрегата условий передачи тепла между теплоносителем и продуктом.

Интенсификацию процессов можно повысить за счет влияния на режим перемещения сред внутри конструкции. Для этого используют сегментирование межтрубного пространства путем дополнительных перегородок. Перегородки предназначены для улучшения обтекаемости труб, тем самым для увеличения теплопередачи в трубное пространство. Однако необходимо учитывать, что поток теплоносителя, идущий от периферии к центру, омывает трубки, расположенные посередине трубного пучка с большей скоростью, что может уменьшать интенсивность теплообмена в этих трубках.

Помимо этого, перегородки выполняют функцию поддержки и передают прочность конструкции. При использовании перегородок, необходимо продумать их вырез. Оптимальный вырез перегородок варьируется от 20 до 35% от внутреннего диаметра кожуха. Если вырез будет больше или меньше, это приведет к перепадам давления и образованию турбулентных вихрей теплоносителя.

С целью повышения эффективности теплообменных процессов необходимо усовершенствование оборудования. Для модернизации был выбран одноходовой теплообменник с перегородками по межтрубному пространству.

Пути совершенствования и модернизация теплообменника. В конструкции исследуемого теплообменника с целью повышения интенсификации теплообмена предлагается внести следующие изменения (рис. 2.3).

Во-первых, в конструкции теплообменника предлагается изменить угол наклона перегородок и увеличить их длину. Это позволит увеличить поверхность теплообмена.

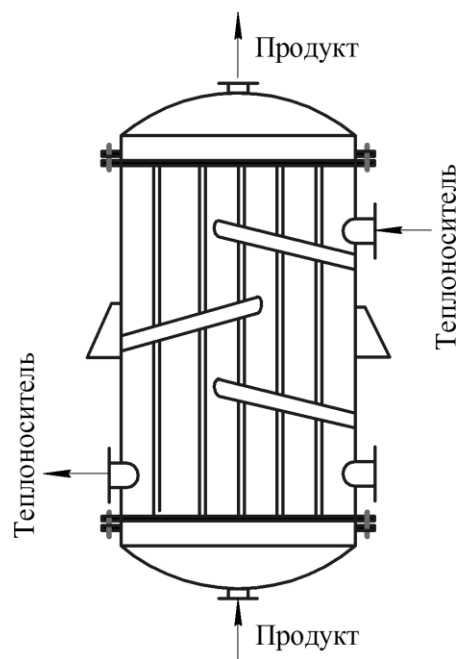


Рис. 2.3. Схема усовершенствованного кожухотрубчатого теплообменника

Во-вторых, в модернизированном теплообменнике закруглены края перегородок, что позволит избежать гидродинамических потерь при смене направления жидкости.

В-третьих, в конструкции теплообменника с целью сохранения скорости потока и, тем самым, интенсивности теплообменного процесса, опущен патрубок ввода теплоносителя к началу перегородки.

Усовершенствованный теплообменник, по сравнению с ранее известной конструкцией, обладает большей площадью поверхности теплообмена, за счет увеличения длины перегородок. При этом вырез, через который идет теплоноситель, остается неизменным.

За счет угла наклона, при расчете площади сечения помимо диаметральной составляющей, постоянно изменяется высота, т.е. расстояние между перегород-

ками. Стоит отметить, что до модернизации, расстояние между перегородками, было величиной постоянной (приложение 4).

Для подтверждения достоверности предложенных решений используем две зависимости

$$G = S \cdot (\omega \cdot p),$$

где S – площадь сечения; $(\omega \cdot p)$ – массовая скорость потока теплоносителя.

Площадь сечения рассчитывается по формуле

$$S = L \cdot H,$$

где L – длина линии среза сечения, H – расстояние между перегородками (высота).

Таким образом, в модернизированном теплообменнике уменьшена разница скоростей от периферии к центру. Повышено качество теплообмена в центральных трубах.

К сожалению, ни одна из известных методик не учитывает форму угла перегородок, поэтому произведем расчет основных параметров стандартного теплообменника по известной методике.

Расчет основных параметров. Расчет теплообменников осуществляется для подбора оптимальных режимов нагрева пищевых продуктов. Данный расчет включает в себя определение необходимой поверхности теплопередачи и выбор типа аппарата, удовлетворяющего технологическим условиям.

Расчет теплообменного аппарата включает определение необходимой поверхности теплопередачи, выбор типа аппарата и нормализованного варианта конструкции, удовлетворяющих заданным технологическим условиям оптимальным образом.

1. Определение тепловой нагрузки:

$$Q = G_1 \cdot c_1 (t_{1k} - t_{1n}),$$

где G_1 – расход, кг/с; c_1 – теплоемкость, Дж/(кг·К), t_{1n} – начальная температура, °С; t_{1k} – конечная температура, °С.

2. Расход воды определяем из уравнения теплового баланса:

$$G_2 = \frac{Q}{c_2 (t_{2n} - t_{2k})},$$

где Q – тепловая нагрузка, Вт; c_2 – теплоемкость нагревающей жидкости Дж/(кг·К); t_{2n} – начальная температура нагревающей жидкости, °С; t_{2k} – конечная температура нагревающей жидкости, °С.

3. Среднелогарифмическая разность температур:

4.

$$t_{\text{ср.лог}} = \frac{(t_{2n} - t_{2k}) - (t_{1k} - t_{1n})}{\ln \frac{(t_{2n} - t_{2k})}{(t_{1k} - t_{1n})}},$$

где t_{1n} – начальная температура, °С; t_{1k} – конечная температура, °С;

t_{2n} – начальная температура нагревающей жидкости, °С; t_{2k} – конечная температура нагревающей жидкости, °С.

5. Ориентировочный выбор теплообменника.

Принимаем ориентировочное значение числа Рейнольдса $Re_{1op} = 15\,000$, соответствующее турбулентному режиму течения в трубах.

$$n_1 = \frac{4G_1}{\pi \cdot d_1 \cdot Re_{1op} \cdot \mu_1},$$

где G_1 – расход, кг/с; d_1 – внутренний диаметр греющей трубки, м; Re_{1op} – ориентировочное значение критерия Рейнольдса; μ_1 – коэффициент вязкости, Па·с.

6. Ориентировочное значение коэффициента теплопередачи

Минимальное ориентировочное значение коэффициента теплопередачи, соответствующее турбулентному течению теплоносителей равно $K_{op} = 800 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [15]. При этом ориентировочное значение поверхности теплообмена составит:

$$F_{op} = \frac{Q}{t_{cp.лог} \cdot K_{op}},$$

где Q – тепловая нагрузка, Вт; $t_{cp.лог}$ – среднелогарифмическая разность температур, °С; K_{op} – минимальное ориентировочное значение коэффициента теплопередачи, Вт/(м²·К).

Теплообменник с близкой поверхностью имеет диаметр кожуха 400 мм.

Проведем уточненный расчет поверхности теплопередачи.

1. Рассчитаем критерий Рейнольдса:

$$Re_1 = \frac{4G_1}{\pi \cdot d_{H1} \left(\frac{n}{z}\right) \cdot \mu_1}$$

где G_1 – расход, кг/с; d_{H1} – наружный диаметр греющей трубки, м; n – общее число трубок, шт.; z – число ходов; μ_1 – коэффициент вязкости, Па·с.

2. Определим критерий Прандтля нагреваемой :

$$Pr_1 = \frac{c_1 \cdot \mu_1}{\lambda_1},$$

где c_1 – коэффициент теплоемкости, Дж/(кг·К); μ_1 – коэффициент вязкости, Па·с; λ_1 – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К).

3. Коэффициент теплоотдачи к веществу, движущемуся по трубам турбулентно равен:

$$\alpha_1 = \frac{\lambda_1}{d_{H1}} \cdot 0,023 \cdot Re_1^{0,8} \cdot Pr_1^{0,4},$$

где λ_1 – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); d_{H1} – наружный диаметр греющей трубки; Re_1 – критерий Рейнольдса для ; Pr_1 – критерий Прандтля для .

4. Определим критерий Рейнольдса для нагревающей жидкости:

$$Re_2 = \frac{G_2 \cdot d_{H1}}{S_{мтр} \cdot \mu_2}$$

где G_2 – расход нагревающей жидкости, кг/с; d_{H1} – наружный диаметр греющей трубки, м; $S_{мтр}$ – минимальное сечение потока в межтрубном пространстве, м²; μ_2 – коэффициент вязкости нагревающей жидкости, Па·с.

5. Определим критерий Прандтля нагревающей жидкости:

$$Pr_2 = \frac{c_2 \cdot \mu_2}{\lambda_2},$$

где c_2 – коэффициент теплоемкости нагревающей жидкости, Дж/(кг·К); μ_2 – коэффициент вязкости нагревающей жидкости, Па·с; λ_2 – коэффициент теплопроводности нагревающей жидкости, Вт/(м·К).

6. Определим коэффициент теплоотдачи к нагревающей жидкости:

$$\alpha_2 = \frac{\lambda_2}{d_{н1}} \cdot 0,24 \cdot Re_2^{0,6} \cdot Pr_2^{0,36},$$

где λ_2 – коэффициент теплопроводности нагревающей жидкости, Вт/(м·К); $d_{н1}$ – наружный диаметр греющей трубки; Re_1 – критерий Рейнольдса для нагревающей жидкости; Pr_1 – критерий Прандтля для нагревающей жидкости.

7. Термические сопротивления загрязнений принимаем равными $r_{31} = r_{32} = 5800$ (м²·К)/Вт. В качестве материала труб принимаем сталь конструкционную марки 12Х18Н10Т. Коэффициент теплопроводности стали $\lambda_{ст} = 16$ Вт/(м·К). Сумма термических сопротивлений стенки и загрязнений равна:

$$T_c = \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{r_{31}} + \frac{1}{r_{32}},$$

где $\lambda_{ст}$ – коэффициент теплопроводности стали, Вт/(м·К); $\delta_{ст}$ – толщина стенки трубки, м; r_{31} и r_{32} – термические сопротивления загрязнений, (м²·К)/Вт.

8. Коэффициент теплопередачи равен:

$$K_d = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + T_c},$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи к веществу, Вт/(м²·К); α_2 – коэффициент теплоотдачи к нагревающей жидкости, Вт/(м²·К); T_c – сумма термических сопротивлений стенки и загрязнений, Вт/(м²·К).

9. Требуемая поверхность теплообмена составляет:

$$F_{тр} = \frac{Q}{t_{ср.лог} \cdot K_d},$$

где Q – тепловая нагрузка, Вт; $t_{ср.лог}$ – среднелогарифмическая разность температур, °С; K_d – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К).

Для теплообменников с другими значениями внутренних диаметров данные по параметрам кожухотрубчатого теплообменника берут по справочникам и ГОСТ.

Условия проведения работы.

Для проведения работы студентам предоставляются методические указания, и преподаватель знакомит их с определениями и основными направлениями работы.

Проведение работы.

Выполнение работы заключается в изучении основных теоретических сведений и обсуждении материалов работы.

Порядок выполнения работы.

Подробно изучить основные теоретические сведения и выполнить расчет по вариантам.

1. Расход G_1 (см. задание по вариантам);
2. Начальная температура вещества t_{1n} (см. задание по вариантам);
3. Конечная температура $t_{1k} = 70^\circ\text{C}$;
4. Начальная температура нагревающей жидкости $t_{2n} = 119^\circ\text{C}$;
5. Конечная температура нагревающей жидкости $t_{2k} = 50^\circ\text{C}$;
6. Теплоемкость вещества c_1 (см. задание по вариантам);
7. Теплоемкость нагревающей жидкости c_2 (см. задание по вариантам);
8. Коэффициент вязкости вещества $\mu_1 = 0,00013 \text{ Па}\cdot\text{с}$;
9. Коэффициент вязкости нагревающей жидкости $\mu_2 = 0,00023 \text{ Па}\cdot\text{с}$;
10. Коэффициент теплопроводности вещества $\lambda_1 = 0,556 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$;
11. Коэффициент теплопроводности нагревающей жидкости $\lambda_2 = 0,686 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$.

ЗАДАНИЕ									
№ вар.	G_1 , кг/с	t_{1n} , $^\circ\text{C}$	c_1 , Дж/(кг·K)	c_1 , Дж/(кг·K)	№ вар.	G_1 , кг/с	t_{1n} , $^\circ\text{C}$	c_1 , Дж/(кг·K)	Δc_1 , Дж/(кг·K)
1	4	15	3560	3760	11	4,3	15	3568	3760
2	4,5	18	3650	3750	12	4,7	18	3474	3750
3	5	20	3651	3751	13	5,3	23	3651	3751
4	5,5	25	3687	3887	14	5,7	24	3684	3687
5	6	15	3560	3860	15	6,8	16	3567	3860
6	6,5	18	3478	3878	16	6,7	18	3770	3878
7	7	20	3651	3951	17	7,4	21	3651	3951
8	7,5	25	3688	3988	18	7,7	22	3680	3788
9	8	15	3564	3964	19	8,2	15	3560	3864
10	8,5	18	3470	3770	20	8,8	17	3477	3770

Содержание и оформление отчета.

Отчет должен содержать:

- название и цель работы;
- расчет по вариантам;
- выводы по работе.

Библиографический список

1. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии : учебник для вузов : в 2 кн. Кн.1 / В. Г. Айнштейн [и др.] ; под ред. В. Г. Айнштейна. М. : Физматкнига : Логос, 2006. 912 с..

2. Калекин В. С. Процессы и аппараты химической технологии: Учебное пособие / Калекин В. С. Электрон. дан. Москва: Русайнс, 2021 458 с. Режим доступа: [book.ruInternet access https://book.ru/book/942019](https://book.ru/book/942019) ISBN 978-5-4365-8668-7.

Практическая работа № 3

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ ДЛЯ ВЫПАРИВАНИЯ, РАСЧЁТ ВЫПАРНОГО АППАРАТА С ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ

Целью темы является интенсификация процессов выпаривания в выпарном аппарате с принудительной циркуляцией.

Достижение поставленной цели осуществляется посредством решения следующих задач:

1. Проанализировать процесс выпаривания, определить основные характеристики и параметры процесса.
2. Осуществить анализ и выбор лучшего оборудования из существующих, выявление недостатков известной конструкции.
3. Расчёт основных параметров аппарата.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Общие сведения о процессе. Выпаривание – процесс концентрирования растворов твердых нелетучих или мало летучих веществ путем испарения летучего растворителя и отвода образовавшихся паров.

В промышленности выпаривание обычно проводят при кипении раствора.

При выпаривании растворов твердых веществ в некоторых пищевых производствах достигают насыщения раствора; при дальнейшем удалении растворителя из такого раствора происходит кристаллизация, в результате которой выделяется растворенное вещество.

Выпаривание применяют для повышения концентрации разбавленных растворов или выделения из них растворенного вещества путем кристаллизации.

Схема процесса выпаривания показана на рис. 1.

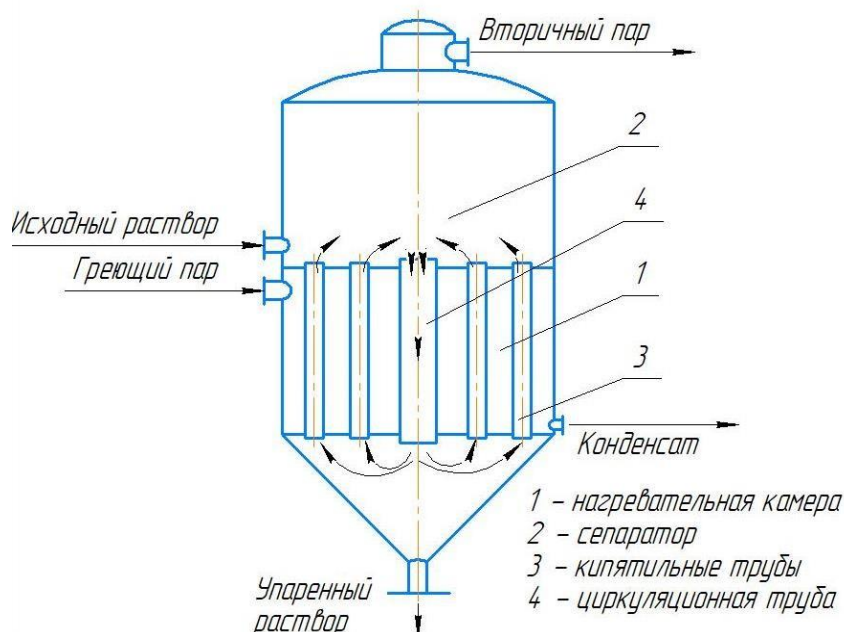


Рис. 1. Схема выпаривания

Выпаривание проводят в выпарных аппаратах непрерывного и периодического действия. Аппараты периодического действия используют в основном в малотоннажных производствах.

В крупнотоннажных производствах применяют непрерывно- действующие выпарные установки, площадь поверхности нагрева которых достигает 6000... 10000 м². При таких поверхностях нагрева решающим фактором, который определяет экономичность установки, является расход греющего пара и воды.

Выпаривание осуществляют как под вакуумом, так и при атмосферном и избыточном давлении.

При выпаривании под вакуумом в аппарате создается вакуум путем конденсации вторичного пара в специальном конденсаторе и отсасывания из него неконденсирующихся газов при помощи вакуум-насоса.

Выпаривание под вакуумом позволяет снизить температуру кипения раствора, что очень важно при выпаривании пищевых растворов, которые особенно чувствительны к высоким температурам. Применение вакуума позволяет увеличить движущую силу теплопередачи и, как следствие, уменьшить площадь поверхности выпарных аппаратов, а, следовательно, их материалоемкость.

При выпаривании под атмосферным давлением образующийся вторичный пар сбрасывается в атмосферу. При выпаривании под повышенным давлением вторичный пар может быть использован как нагревающий агент в водонагревателях, для отопления теплиц и т. п. Выпаривание под давлением связано с повышением температуры кипения раствора, поэтому применение данного способа в пищевой технологии ограничено свойствами растворов и температурой теплоносителя.

Анализ конструкций выпарных аппаратов. Необходимость в паровом пространстве (сепараторе) составляет основное конструктивное отличие выпарных аппаратов от теплообменников. В зависимости от характера движения кипящей жидкости в выпарном аппарате различают:

- 1) выпарные аппараты с естественной циркуляцией;
- 2) выпарные аппараты с принудительной циркуляцией;
- 3) пленочные выпарные аппараты.

Выпарные аппараты с естественной циркуляцией (рис. 2).

Естественная циркуляция возникает в замкнутой системе, состоящей из не обогреваемой опускной (циркуляционной) трубы и обогреваемых подъемных (кипятильных) труб.

Если жидкость в подъемных трубах нагрета до кипения, то в результате испарения части жидкости в этой трубе образуется парожидкостная смесь, плотность которой меньше плотности самой жидкости. Таким образом, вес столба жидкости в опускной трубе больше, чем в подъемных трубах, вследствие чего происходит упорядоченное движение (циркуляция) кипящей жидкости по пути: подъемные трубы → паровое пространство → опускная труба → подъемные трубы и т. д. При циркуляции повышается коэффициент теплоотдачи со стороны кипящей жидкости и предохраняется поверхность труб от образования накипи.

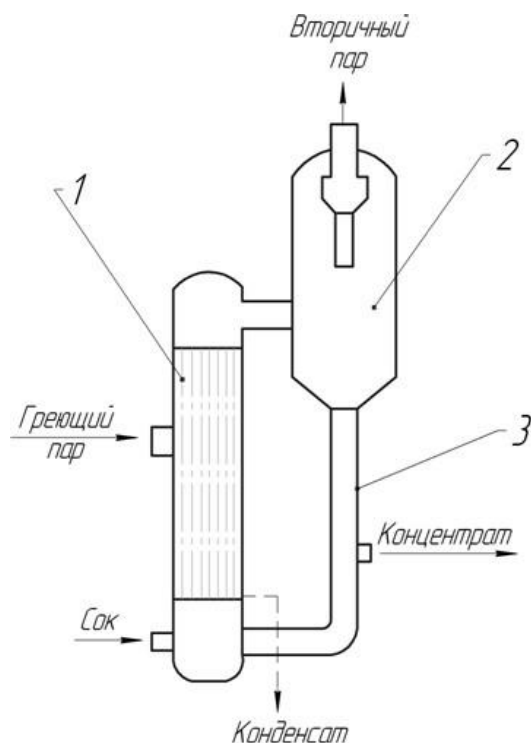


Рис. 2. Выпарные аппараты с естественной циркуляцией:
1 – греющая камера, 2 – сепаратор, 3 – циркуляционная труба

Выпарной аппарат с принудительной циркуляцией представлен на рис. 3.

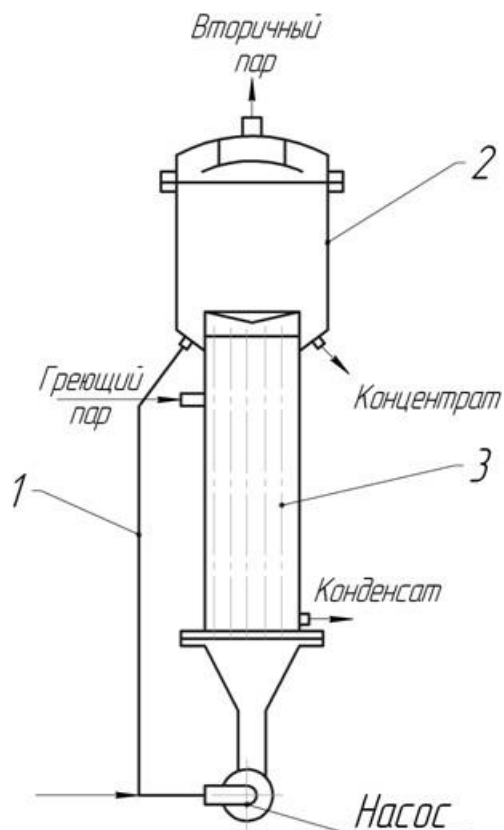


Рис. 3. Выпарной аппарат с принудительной циркуляцией:
1 – циркуляционная труба, 2 – сепаратор, 3 – кипятильник

Жидкость циркулирует через кипятильник 3 под действием насоса. В кипятильнике 3 вещество нагревается относительно температуры кипения в сепараторе 2 на величину гидростатического давления. В сепараторе давление жидкости резко снижается, в результате часть жидкости мгновенно испаряется. Поскольку в аппарате поддерживается циркуляция жидкости, скорость потока в трубах и температуру жидкости можно регулировать в соответствии с особенностями продукта независимо от заранее выбранной разности температур.

В пленочных аппаратах раствор движется вдоль поверхности теплообмена в виде тонкой пленки (рис. 4).

Пленочный аппарат состоит из пучка кипятильных труб 2, обогреваемых снаружи паром и присоединенных сверху к сепаратору 1. Жидкость подается снизу, причем уровень ее поддерживается на $1/4 \dots 1/5$ высоты труб. Остальная часть высоты труб заполнена парожидкостной смесью, расслаивающейся на пленку жидкости (около стенок) и пар (в центре). Трением о струю пара жидкая пленка увлекается вверх; поэтому такие аппараты часто называют аппаратами с поднимающейся пленкой.

Наилучшим вариантом выпарного аппарата является выпарной аппарат с принудительной циркуляцией. Так как в нем кипение и испарение идет не на греющих поверхностях, а в сепараторе, поэтому загрязнение нагревательной камеры из-за инкрустаций и осаждения сводится к минимуму, отличается простотой управления процессом и автоматизацией, а также гибким управлением.

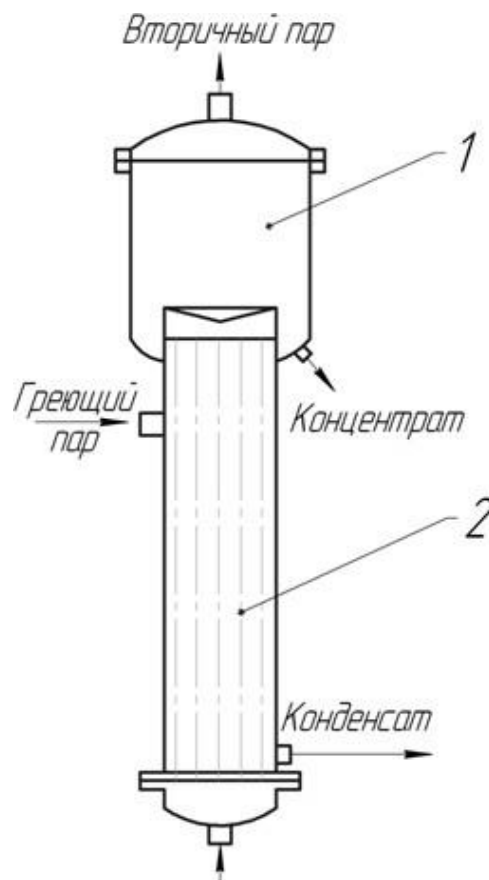


Рис. 4. Плёночный выпарной аппарат: 1 – сепаратор, 2 – кипятильник

Расчет выпарной установки. Для производства концентрата с содержанием 60% сухих веществ используем трехкорпусную выпарную установку. Произведем расчет её основных параметров.

а) Определение температур кипения растворов.

1. Производительность установки по выпариваемой воде определяют из уравнения материального баланса:

$$W_1 = G_H \left(1 - \frac{X_H}{X_K} \right),$$

где G_H – расход вещества, кг/с; X_H – начальная концентрация, %; X_K – конечная концентрация вещества, %.

2. Рассчитываем концентрации раствора. Принимаем, что производительность по выпариваемой воде распределяется между корпусами в соответствии с соотношениям:

$$W_1:W_2:W_3=1:1,1:1,2,$$

тогда

$$\omega_1 = \frac{1 \cdot W_1}{1+1,1+1,2}, \quad \omega_2 = \frac{1,1 \cdot W_1}{1+1,1+1,2}, \quad \omega_3 = \frac{1,2 \cdot W_1}{1+1,1+1,2}.$$

Концентрации вещества в корпусах:

$$x_1 = \frac{G_H \cdot X_H}{G_H - \omega_1}, \quad x_2 = \frac{G_H \cdot X_H}{G_H - \omega_1 - \omega_2}, \quad x_3 = \frac{G_H \cdot X_H}{G_H - \omega_1 - \omega_2 - \omega_3},$$

где G_H – расход вещества, кг/с; X_H – начальная концентрация вещества, %; $w_1:w_2:w_3$ – производительность по выпариваемой воде, соответственно в 1, 2 и 3 корпусе, кг/с.

б) Определение температур кипения растворов.

1. Общий перепад давлений в установке:

$$\Delta P_{об} = P_{Г1} - P_{БК},$$

где $P_{Г1}$ – давление греющего пара, МПа; $P_{БК}$ – давление в барометрическом конденсаторе, МПа.

2. Определяем давление греющих паров в корпусах:

$$P_{Г2} = P_{Г1} - \frac{\Delta P_{об}}{3}, \quad P_{Г3} = P_{Г2} - \frac{\Delta P_{об}}{3},$$

где $P_{Г1}$, $P_{Г2}$ – соответственно давление греющего пара в 1-м и 2-м корпусах, МПа; $\Delta P_{об}$ – общий перепад давлений в установке, МПа.

По давлениям паров находим их температуры и энтальпии.

Изменение температуры кипения по высоте кипяtilьных труб происходит вследствие изменения гидростатического давления столба жидкости. Температуру кипения раствора в корпусе принимают соответствующей температуре кипения в среднем слое жидкости. Таким образом, температура кипения раствора в корпусе отличается от температуры греющего пара в последующем корпусе на сумму температурных потерь от температурной $\Delta 1$, гидростатической $\Delta 2$ и гидродинамической $\Delta 3$ депрессий.

3. Гидродинамическая депрессия обусловлена потерей давления пара на преодоление гидравлических сопротивлений трубопроводов при переходе из корпуса в корпус. Обычно в расчетах принимают $\Delta Z = 1,0 - 1,5$ град на корпус.

Принимаем $\Delta Z = 1$, тогда температуры вторичных паров равны:

$$t_{вп1} = t_{гп2} + \Delta Z, \quad t_{вп2} = t_{гп3} + \Delta Z, \quad t_{вп3} = t_{бк} + \Delta Z,$$

где $t_{гп2}$, $t_{гп3}$, $t_{бк}$ – соответственно температура во 2-м, 3-м корпусах и барометрическом конденсаторе.

По температурам вторичных паров определяют их давления.

Гидростатическая депрессия обусловлена разностью давлений в среднем слое кипящего раствора и на его поверхности. Давление в среднем слое кипящего раствора определяется по формуле:

$$P_{срi} = P_{вп.i} + \frac{\rho \cdot g \cdot H}{2} (1 - \varepsilon),$$

где $P_{вп.i}$ – давление вторичных паров в корпусах, Па; H – высота кипяtilьных труб в аппарате, м; ρ – плотность вещества, кг/м³; ε – паронаполнение (объемная доля пара в кипящем растворе).

Для выбора значения H необходимо ориентировочно оценить поверхность теплопередачи выпарного аппарата $F_{ор}$. При кипении водных растворов можно принять удельную тепловую нагрузку аппаратов с принудительной циркуляцией $q = 40\,000 - 80\,000$ Вт/м².

Тогда поверхность теплопередачи ориентировочно равна:

$$F_{ор} = \frac{\omega_1 \cdot r_1}{q},$$

где r_1 – теплота парообразования вторичного пара, Дж/кг.

При определении плотности раствора в корпусе пренебрегаем изменением её с повышением температуры от 20°C до температуры кипения ввиду малого значения коэффициента объемного расширения и ориентировочно принятого значения ε .

По давлению в среднем слое кипящего раствора определяют следующие температуры кипения и теплоты испарения растворителя.

Температурная депрессия определяется по уравнению:

$$\Delta t_i = 0,0162 \left(\frac{t_{ср.i} + 273}{t_{вп.i}} \right) \cdot \Delta_{атм.i},$$

где $t_{ср.i}$ – температура паров в среднем слое кипяtilьных труб, К; $\Delta_{атм.i}$ – температурная депрессия при атмосферном давлении

4. Температура кипения раствора в корпусе равна:

$$t_{к1} = t_{г2} + \Delta Z + \Delta t_1, \quad t_{к2} = t_{г3} + \Delta Z + \Delta t_2, \quad t_{к3} = t_{бк} + \Delta Z + \Delta t_3,$$

В аппаратах с вынесенной зоной кипения, как с принудительной, так и с естественной циркуляцией кипение раствора происходит в трубе вскипания, устанавливаемой над греющей камерой. Кипение в греющих трубах предотвращается за счёт гидростатического давления столба жидкости в трубе вскипания. В греющих трубках происходит перегрев жидкости по сравнению с температурой кипения.

ния на верхнем уровне раздела фаз, поэтому температуру кипения раствора в этих аппаратах определяют без учёта гидростатических температурных потерь $\Delta 2$.

5. Площадь поверхности теплопередачи можно определить по формуле:

$$F_{\text{тр}} = \frac{Q}{K \cdot \Sigma \Delta t_{\text{п}}},$$

где Q – тепловая нагрузка, кВт; $\Sigma \Delta t_{\text{п}}$ – полезная разность температур, °C; K – коэффициент теплопередачи.

6. Рассчитаем тепловую нагрузку по формуле:

$$Q_1 = 1,03 [G_{\text{н}} \cdot c_{\text{н}} (t_{\text{к1}} - t_{\text{н}}) + \omega_1 (i_2 - c_{\text{в}} \cdot t_{\text{к1}})],$$

$$Q_2 = 1,03 [(G_{\text{н}} - \omega_1) \cdot c_1 \cdot (t_{\text{к2}} - t_{\text{к1}}) + \omega_2 (i_3 - c_{\text{в}} \cdot t_{\text{к2}})],$$

$$Q_2 = 1,03 [(G_{\text{н}} - \omega_1 - \omega_2) \cdot c_2 \cdot (t_{\text{к3}} - t_{\text{к2}}) + \omega_3 (i_{\text{бк}} - c_{\text{в}} \cdot t_{\text{к3}})],$$

где 1,03 – коэффициент, учитывающий 3% тепла в окружающую среду; $c_{\text{н}}$, c_1 , c_2 – теплоёмкости растворов соответственно исходного, в 1-м и во 2-м корпусе Дж/(кг·K); $t_{\text{к1}}$, $t_{\text{к2}}$, $t_{\text{к3}}$ – температуры кипения раствора по корпусам, °C; $t_{\text{н}}$ – температура вторичного пара; i_2 , i_3 , $i_{\text{бк}}$ – соответственно энтальпии греющего пара во 2-м, 3-м корпусах и в барометрическом конденсаторе, Дж/кг; $c_{\text{в}}$ – удельная теплоёмкость воды, Дж/(кг·K).

7. Коэффициент теплопередачи определяют по уравнению термических сопротивлений.

В качестве материала принимаем сталь конструкционную марки 12X18H10T. Коэффициент теплопроводности стали $\lambda_{\text{ст}} = 16$ Вт/(м·K).

Сумма термических сопротивлений стенки и загрязнений равна

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \Sigma T + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где α_1 и α_2 – коэффициенты теплоотдачи горячего и холодного теплоносителей, Вт/(м²·K); ΣT – суммарное термическое сопротивление, (м²·K)/Вт:

$$\Sigma T = \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta_{\text{н}}}{\lambda_{\text{н}}},$$

где $\delta_{\text{ст}}$ – толщина стенки, м; $\lambda_{\text{ст}}$ – коэффициент теплопроводности металла, Вт/(м·K); $\delta_{\text{н}}$ – толщина накипи, принимаем, м; $\lambda_{\text{н}}$ – коэффициент теплопроводности накипи Вт/(м·K).

8. Коэффициент теплопередачи от конденсирующегося пара к стенке равен:

$$\alpha_1 = 2,044 \sqrt{\frac{r_1 \cdot \rho_{\text{ж1}}^2 \cdot \lambda_{\text{ж1}}^3}{4 \cdot \mu_{\text{ж1}} \cdot \Delta t_1}},$$

где r_1 – теплота конденсации греющего пара, Дж/кг; $\rho_{\text{ж1}}$, $\lambda_{\text{ж1}}$, $\mu_{\text{ж1}}$ – соответственно плотность, кг/м³; теплопроводность, Вт/(м·K); вязкость, Па·с, конденсата при средней температуре пленки; Δt_1 – разность температур конденсации пара и стенки, °C.

9. Коэффициент теплоотдачи от стенки к кипящему раствору равен:

$$\alpha_2 = 18,76 (\alpha_1 \cdot \Delta t_1)^{0,6},$$

где α_1 – коэффициент теплопередачи от конденсирующегося пара к стенке, Вт/(м²·К); Δt_1 – разность температур конденсации пара и стенки, °С.

Условия проведения работы.

Для проведения работы студентам предоставляются методические указания, и преподаватель знакомит их с определениями и основными направлениями работы.

Проведение работы.

Выполнение работы заключается в изучении основных теоретических сведений и обсуждении материалов работы.

Порядок выполнения работы.

Подробно изучить основные теоретические сведения и выполнить расчет по вариантам.

1. Расход вещества G_H (см. задание по вариантам);
2. Начальная концентрация вещества X_H (см. задание по вариантам);
3. Конечная концентрация вещества X_K (см. задание по вариантам);
4. Давление греющего пара $P_{г1} = 1,079$ мПа;
5. Давление в барометрическом конденсаторе $P_{БК} = 0,0147$ МПа.

№ вар.	G_H , кг/с	X_H , %	X_K , %	№ вар.	G_H , кг/с	X_H , %	X_K , %
1	4	15	65	11	4,3	17	75
2	4,5	18	68	12	4,7	18	78
3	5	20	63	13	5,3	21	73
4	5,5	25	64	14	5,7	22	74
5	6	15	66	15	6,8	17	76
6	6,5	18	68	16	6,7	19	78
7	7	20	61	17	7,4	20	71
8	7,5	25	62	18	7,7	23	72
9	8	15	65	19	8,2	15	75
10	8,5	18	67	20	8,8	19	77

Содержание и оформление отчета.

Отчет должен содержать:

- название и цель работы;
- расчет по вариантам;
- выводы по работе.

Библиографический список

1. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии : учебник для вузов : в 2 кн. Кн.1 / В. Г. Айнштейн [и др.] ; под ред. В. Г. Айнштейна М. : Физматкнига : Логос, 2006. 912 с..

2. Калекин В. С. Процессы и аппараты химической технологии : Учебное пособие / Калекин В. С. Электрон. дан. Москва : Русайнс, 2021 458 с. Режим доступа: [book.ruInternet accesshttps://book.ru/book/942019](https://book.ru/book/942019) ISBN 978-5-4365-8668-7.

Практическая работа № 4

РАСЧЕТ АППАРАТА С РУБАШКОЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ

Целью темы является расчет вертикального аппарата с рубашкой на устойчивость.

Достижение поставленной цели осуществляется решением задач:

1. Изучить эскиз вертикального аппарата с рубашкой.
2. Выполнить расчет на устойчивость вертикального аппарата с рубашкой на устойчивость.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Аппараты с рубашками используются в химической технологии как обогреваемые или охлаждаемые сосуды для проведения химических реакций (рис. 1). Как правило, они работают под избыточным давлением и в зависимости от характера технологического процесса носят название автоклавов, нитраторов, полимеризаторов, варочных аппаратов и др.

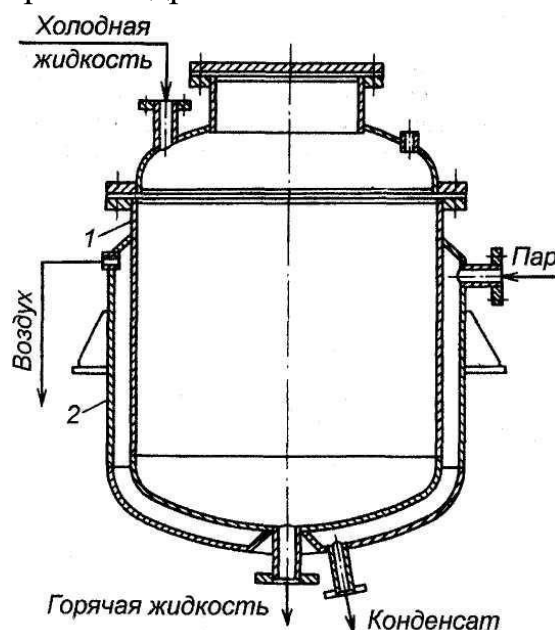


Рис. 1. Схема аппарата с рубашкой.

В химической промышленности наиболее часто применяют вертикальные аппараты с рубашкой (рис. 2). Для упаривания растворов обычно применяют аппараты с коническим днищем с углом наклона больше угла естественного откоса упаренной массы. Упаренный раствор удаляется через нижний штуцер конического днища аппарата в качестве промежуточного или конечного продукта.

Порядок расчета аппарата.

Для расчета аппарата с рубашкой должны быть известны: конфигурация днища; конструктивные размеры аппарата и штуцера; рабочее давление в аппарате и рубашке; коэффициенты прочности и компенсации коррозии; температура в

аппарате, его материал; вид теплоносителя (обычно водяной пар); обрабатываемая среда.

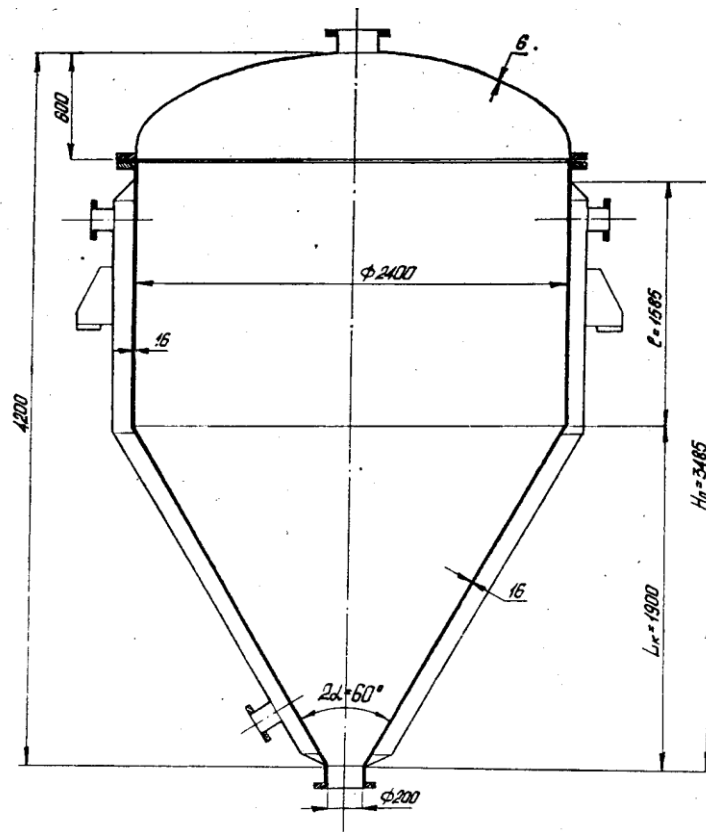


Рис. 2. Эскиз вертикального аппарата с рубашкой

Расчетное давление внутри аппарата (рис. 3, 4):

$$p_{a_p} = p_a + p_{a_r},$$

где p_a – рабочее давление в аппарате, МПа; p_{a_r} – гидростатическое давление в корпусе аппарата.

Гидростатическое давление в корпусе

$$p_{a_r} = g \rho_c H_{\Pi},$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; ρ_c – плотность обрабатываемой среды, кг/м³; H_{Π} – высота аппарата, находящаяся под рубашкой, м.

Гидростатическое давление в корпусе аппарата необходимо учитывать, если оно составит более 5% от p_a .

Расчетное давление в рубашке

$$p_r = p + p_r$$

где p – рабочее давление в рубашке; p_r – гидростатическое давление в рубашке.

$$p_r = g \rho_B H_{\Pi}$$

где ρ_B – плотность конденсата (воды), $\rho_B = 0,0345$ МПа.

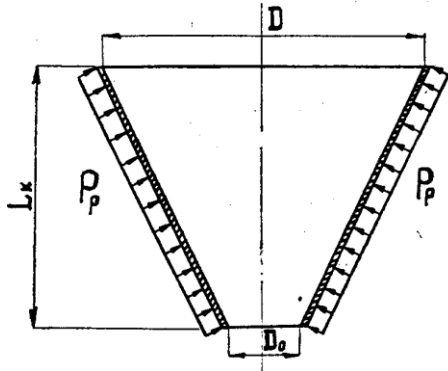


Рис. 3. Эскиз обечайки корпуса

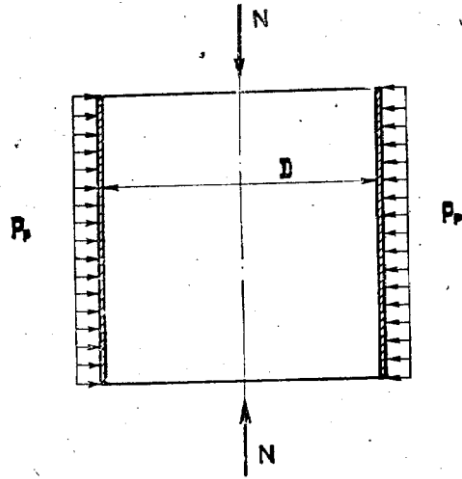


Рис. 4. Эскиз конического днища

Гидростатическое давление в рубашке необходимо учитывать, если оно составит более 5% от p .

Расчетную температуру стенки принимаем равной температуре обрабатываемой среды, соприкасающейся со стенкой аппарата: $t_p = t = 200^\circ\text{C}$.

Допускаемое напряжение $\sigma_{\text{ДОП}} = \eta \sigma^*$, где η – поправочный коэффициент, учитывающий условия эксплуатации аппарата; σ^* – нормативное допускаемое напряжение при расчетной температуре, МПа.

Так как техническая документация на эксплуатацию аппарата отсутствует, то η принимаем равным 0,9, т.е. среднее значение.

Для того, чтобы определить нормативное допускаемое напряжение при расчетной температуре, необходимо знать материал, из которого изготовлен аппарат. Принимаем материал для аппарата – сталь 10, ГОСТ 1050-88; из справочных данных для этой марки стали при $t_p = 200^\circ\text{C}$ $\sigma^* = 118$ МПа.

Расчетные значения модуля продольной упругости E и предела текучести σ_T при температуре $t_p = 200^\circ\text{C}$ для стали 10 будут соответственно

$$E = 1,81 \cdot 10^5 \text{ МПа и } \sigma_T = 187 \text{ МПа.}$$

Толщина стенки эллиптической крышки, работающей под внутренним давлением

$$S_{\text{КР}} = \frac{\rho_a R}{2\phi\sigma_{\text{ДОП}} - 0,5\rho_a} + c + c_1,$$

где R – радиус кривизны в вершине днища, м; ϕ – коэффициент прочности сварных соединений, c_1 – конструктивная прибавка к расчетной толщине стенки, м; c – прибавка к толщине стенки для компенсации коррозии, м.

Для стандартных эллиптических днищ $R = D$, сварка ручная двусторонняя. При заданных условиях принимаем $c_1 = 0$. Здесь D – внутренний диаметр корпуса, м. Полученное значение толщины стенки эллиптической крышки корректируется в соответствии с ГОСТ – округляется до ближайшего большего целого значения, размерность – мм.

Толщина стенки обечайки корпуса:

а) при действии внутреннего давления

$$S_1 = \frac{\rho_{ap} D}{2\varphi\sigma_{доп} - \rho_{ap}} + c + c_1;$$

Необходимо проверить, возможно ли применить предыдущую формулу, исходя из условия

$$\frac{S_1 - c}{D} < 0,1 \text{ [м]}.$$

б) при действии наружного давления

$$S_2 = 0,47 \frac{D}{100} \left(\frac{\rho_p l}{10^{-6} E D} \right)^{0,4} + c + c_1,$$

где l – длина неукрепленной обечайки, м.

$$l = H_{\Pi} - \frac{D - D_0}{2} \operatorname{ctg} \alpha,$$

где D_0 – диаметр сливного штуцера, м; α – угол, определяющий конфигурацию днища.

Необходимо проверить, возможно ли применить предыдущую формулу, исходя из условия

$$1,5 \sqrt{\frac{2(S_2 - c)}{D}} \leq \frac{1}{D} \leq \sqrt{\frac{D}{2(S_2 - c)}}.$$

Исполнительная толщина обечайки корпуса $S_{об}$ принимается наибольшей из двух значений S_1 и S_2 . Окончательно, в соответствии с ГОСТ – округляется до ближайшего большего целого значения, размерность – мм.

Так как обечайка корпуса работает под совместным действием (рис.2) наружного давления ρ_p и осевой сжимающей силы N , то условие устойчивости примет вид

$$\frac{N}{N_{доп}} + \frac{\rho_p}{\rho_{доп}} \leq 1,$$

где $N_{доп}$ – допускаемая осевая сжимающая сила; $\rho_{доп}$ – допускаемое наружное давление.

Осевая сжимающая сила (сила прижатия днища к обечайке):

$$N = \frac{\pi(D + 2S)^2}{4} \rho_p; \quad N_{доп} = \pi D(S - c) \varphi_c \sigma^*,$$

где $S = S_{об}$; φ_c – коэффициент уменьшения допускаемых напряжений.

$$\varphi_c = \frac{1}{1 + 23 \left[\frac{\sigma_T}{E} \frac{D}{2(S - c)} \right]^2}.$$

Для расчета $\rho_{доп}$ необходимо проверить условие

$$\frac{S - c}{D} < 1,1 \cdot 10^{-2} \sqrt[3]{\left(\frac{1}{D}\right)^2 \left(\frac{\sigma_T}{10^{-3}E}\right)^2};$$

Полученные данные достаточны для проверки условия устойчивости обечайки корпуса.

Допускаемое внутреннее давление принимаем равным меньшему из значений, полученным по формулам:

$$\rho_{\text{ДОП}}^{\text{ВН}} = \frac{2\phi\sigma_{\text{ДОП}}(S_D - c)\cos\alpha}{D + (S_D - c)\cos\alpha};$$

$$\rho_{\text{ДОП}}^{\text{ВН}} = \frac{4\phi\sigma_{\text{ДОП}}(S - c)}{D \cdot y},$$

где y – коэффициент формы днища; S_D – толщина стенки конического днища; принимаем равной толщине обечайки корпуса $S_D = S$, мм; y – коэффициент, так как используется днище без тороидального перехода, то принимая расчетный внутренний радиус отбортовки $r = 0,01D$, принимаем $y = 2,7$.

Необходимо проверить условие $\rho_{\text{ДОП}}^{\text{ВН}} > \rho_{\text{ар}}$

Допускаемое наружное давление для днища определяется по формулам:

$$\rho_{\text{ДОП}1} = \frac{2E(S_D - c)}{D_P \xi_1};$$

$$\xi_1 = \frac{1,5E}{\sigma_T} + 1,53 \frac{\sigma_T}{E} \frac{D_P}{S_D - c} \left(\frac{L_K}{S_D - c} \right)^2,$$

где D_P – расчетный диаметр днища, м; L_K – расчетная длина днища, м.

$$D_P = \frac{0,9D + 0,1D_0}{\cos\alpha}, \text{ м.}$$

Из рис.4 следует $L_K = \frac{D - D_0}{2} \text{ctg}\alpha$, м.

Необходимо проверить условие устойчивости днища $\rho_P < \rho_{\text{ДОП}1}$.

Условия проведения работы.

Для проведения работы студентам предоставляются методические указания, и преподаватель знакомит их с определениями и основными направлениями работы.

Проведение работы.

Выполнение работы заключается в изучении основных теоретических сведений и обсуждении материалов работы.

Порядок выполнения работы.

Подробно изучить основные теоретические сведения и выполнить расчет по вариантам.

№ вар.	$2\alpha, ^\circ$	D, м	D ₀ , м	H _п , м	ρ МПа	ρ_a МПа	t °C	c, м	φ	ρ_c кг/м ³
1	60	2,4	0,2	3,48	0,3	0,4	200	10 ⁻³	0,9	1010
2	80	3,4	1,2	3,52	0,4	0,5	200	10 ⁻³	0,75	1020
3	60	5,4	2,0	3,82	0,5	0,6	200	10 ⁻³	0,8	1090
4	70	1,8	0,1	3,48	0,3	0,4	200	10 ⁻³	0,93	1200
5	60	2,6	0,2	3,90	0,5	0,6	200	10 ⁻³	0,9	1900
6	60	2,8	0,2	3,55	0,3	0,4	200	10 ⁻³	0,75	1100
7	80	3,2	0,3	3,75	0,2	0,3	200	10 ⁻³	0,8	1010
8	60	2,4	0,2	3,48	0,4	0,5	200	10 ⁻³	0,93	1050
9	50	2,8	0,2	3,48	0,3	0,4	200	10 ⁻³	0,9	1250
10	60	2,2	0,1	4,01	0,3	0,4	200	10 ⁻³	0,9	1020
11	70	2,9	0,3	4,25	0,4	0,5	200	10 ⁻³	0,9	1300
12	70	3,0	0,2	3,48	0,5	0,6	200	10 ⁻³	0,9	1200
13	60	5,0	1,5	3,48	0,3	0,4	200	10 ⁻³	0,9	1080
14	55	2,6	0,2	4,05	0,6	0,7	200	10 ⁻³	0,75	1000
15	60	4,2	0,4	3,48	0,3	0,4	200	10 ⁻³	0,8	1100
16	60	3,0	0,2	4,01	0,4	0,5	200	10 ⁻³	0,93	1000
17	60	3,4	1,2	4,25	0,3	0,4	200	10 ⁻³	0,9	1200
18	60	2,9	0,2	3,48	0,4	0,5	200	10 ⁻³	0,9	1000
19	60	2,4	0,2	3,48	0,3	0,4	200	10 ⁻³	0,9	1010
20	60	2,4	0,2	4,05	0,4	0,5	200	10 ⁻³	0,9	1200

Содержание и оформление отчета.

Отчет должен содержать:

- название и цель работы;
- расчет по вариантам;
- выводы по работе.

Библиографический список

1. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии : учебник для вузов : в 2 кн. Кн.1 / В. Г. Айнштейн [и др.] ; под ред. В. Г. Айнштейна М. : Физматкнига : Логос, 2006. 912 с..

2. Калекин В. С. Процессы и аппараты химической технологии : Учебное пособие / Калекин В. С. Электрон. дан. Москва : Русайнс, 2021 458 с. Режим доступа: [book.ruInternet accesshttps://book.ru/book/942019](https://book.ru/book/942019) ISBN 978-5-4365-8668-7.

Практическая работа № 5

РАСЧЕТ ВАЛА АППАРАТА С ПЕРЕМЕШИВАЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ

Целью темы является расчет вала аппарата с перемешивающим устройством.

Достижение поставленной цели осуществляется решением задач:

1. Изучить эскиз вертикального аппарата с рубашкой.
2. Выполнить расчет на устойчивость вертикального аппарата с рубашкой на устойчивость.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Для расчета вала вертикального аппарата с перемешивающим устройством (рис. 1) должны быть известны: тип вала (жесткий, нежесткий); длина вала; координаты центра тяжести мешалок и координаты опасных сечений (по жесткости, прочности); частота вращения вала; материал вала; диаметр аппарата; тип перемешивающих устройств, их диаметр и массы; мощность, потребляемая одним перемешивающим устройством; рабочая температура в аппарате.

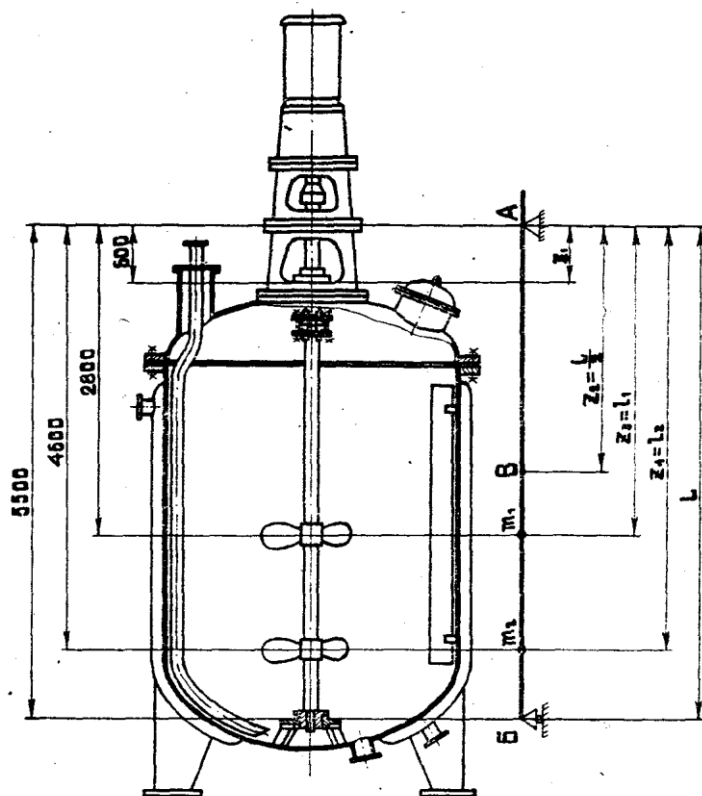


Рис. 1. Схема аппарата вертикального с перемешивающим устройством

Для расчета рассмотрим следующий вал: постоянного поперечного сечения, тип вала – жесткий, тип перемешивающих устройств – пропеллерные. Расчет вала проводится на жесткость, прочность и виброустойчивость.

2.1. Расчет вала на виброустойчивость.

Определение коэффициентов, учитывающих условия закрепления вала и приведения массы вала.

Данные коэффициенты являются справочным материалом и выбираются в зависимости от типа вала. Для однопролетного вала: $\eta = 4,8$ – коэффициент условий закрепления вала; $q = 0,5$ – коэффициент приведения массы вала.

Относительные координаты центра тяжести перемешивающих устройств:

$$t_1 = \frac{l_1}{L}; \quad t_2 = \frac{l_2}{L}$$

где L – длина вала, м; l_1, l_2 – координаты центра тяжести мешалок, м.

Безразмерный динамический прогиб вала в центре тяжести перемешивающих устройств – определяется справочно в зависимости от относительных координат центра тяжести перемешивающих устройств:

$$\bar{y}_{l_1} = f(\bar{l}_1) = 0,99;$$

$$\bar{y}_{l_2} = f(\bar{l}_2) = 0,47.$$

Угловая скорость вращения вала, рад/с

$$\omega = \frac{\pi n}{30},$$

где n – частота вращения вала, об./мин;

Безразмерный коэффициент, учитывающий приведенную массу вала

$$f = \frac{16\rho \cdot \omega^2 \cdot L^2}{\eta \cdot E},$$

где ρ – плотность материала вала; E – модуль упругости материала вала.

Данные значения выбираются справочно. Для легированной стали 15ХМ при температуре $t = 80^\circ\text{C}$ $\rho = 7,85 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ и $E = 2,0 \cdot 10^{11} \text{ Па}$.

Приведенные в точку B (середина пролета вала) массы перемешивающих устройств:

$$m_{1\text{пр}} = m_1 y_{l_1}^2; \quad m_{2\text{пр}} = m_2 y_{l_2}^2.$$

где m_1, m_2 – массы перемешивающих устройств, кг.

Суммарная приведенная масса перемешивающих устройств

$$m_{\text{пр}} = m_{1\text{пр}} + m_{2\text{пр}}.$$

Расчетный диаметр вала

$$d_p = \sqrt{A_1 + \sqrt{A_1^2 + A_2}};$$

где

$$A_1 = qfL^2; \quad A_2 = \frac{8m_{\text{пр}}fL}{\pi\rho}.$$

Рассчитанный диаметр вала необходимо сравнить со стандартным рядом величин и выбрать ближайшее большее значение.

Линейная масса вала

$$m_B = \frac{\pi}{4} d^2 \rho.$$

где $d = d_p$

Относительная масса перемешивающих устройств

$$k = \frac{m_{\text{пр}}}{m_B L}.$$

Корень частотного уравнения выбирается из справочных материалов в зависимости от относительной массы

$$\alpha_1 = f(k) = 2,6.$$

Момент инерции сечения вала

$$I = \frac{\pi}{64} d^4.$$

Первая критическая угловая скорость вала, рад/с

$$\omega_1 = \left(\frac{\alpha_1}{L} \right) \sqrt{\frac{E \cdot I}{m_B}}.$$

Проверка условия виброустойчивости.

Если $\frac{\omega}{\omega_1} \leq 0,7$, значит, условие выполняется.

2.2. Расчет вала на жесткость и прочность.

Эксцентриситет массы перемешивающих устройств, м

$$e_1 = e_2 = \frac{10^{-3}}{\sqrt{\omega}}$$

Относительная координата опасного по жесткости сечения в месте установки уплотненного вала

$$\bar{z}_1 = \frac{z_1}{L}.$$

где z_1 – координата опасного сечения по жесткости (торцевое уплотнение вала).

Безразмерный динамический прогиб вала в опасном по жесткости сечении

$$\bar{y}_{z_1} = f(\bar{z}_1) = 0,34.$$

Приведенный эксцентриситет массы перемешивающих устройств:

$$e_{1\text{пр}} = \frac{e_1}{\bar{y}_{l_1}}; \quad e_{1\text{пр}} = \frac{e_2}{\bar{y}_{l_2}}$$

Приведенная масса вала

$$m_{B\text{пр}} = 0,5 m_B \cdot L$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет зазоров на опорах:

а) в месте установки верхнего перемешивающего устройства

$$\Delta l_1 = (\Delta_B - \Delta_A) l_1 + \Delta_A,$$

где Δ_A – радиальный зазор в верхней подшипниковой опоре, для радиального однорядного шарикового подшипника $\Delta_A = 0,03 \cdot 10^{-3}$ м; Δ_B – радиальный зазор в подшипнике скольжения нижней опоры $\Delta_B = 0,03 \cdot 10^{-3}$ м.

б) в месте установки нижнего перемешивающего устройства

$$\Delta l_2 = (\Delta_B - \Delta_A) l_2 + \Delta_A ;$$

в) в месте установки уплотнения вала:

$$\Delta z_1 = (\Delta_B - \Delta_A) z_1 + \Delta_A ;$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет начальной изогнутости вала (радиальное биение вала):

а) в месте установки верхнего перемешивающего устройства

$$\varepsilon_{l_1} = \varepsilon_B \bar{y}_{l_1} ,$$

где

$$\varepsilon_B = f\left(\frac{L}{d}\right)$$

начальная изогнутость вала в точке приведения B .

Принимаем $\varepsilon_B = 0,09 \cdot 10^{-3}$ м.

б) в месте установки нижнего перемешивающего устройства

$$\varepsilon_{l_2} = \varepsilon_B \bar{y}_{l_2} ;$$

в) в месте установки уплотнения вала

$$\varepsilon_{z_1} = \varepsilon_B \bar{y}_{z_1} ;$$

Смещение оси вала от оси вращения в точке приведения B за счет зазоров в опорах.

Приведенный эксцентриситет массы вала с перемешивающими устройствами:

$$e_{\text{пр}} = B_1 + \Delta_B + \varepsilon_B ;$$

где

$$B_1 = \frac{m_{1\text{пп}} e_{1\text{пп}} + m_{2\text{пп}} e_{2\text{пп}}}{m_{\text{пр}} + m_{\text{в пр}}} ;$$

Динамический прогиб оси вала в точке приведения B :

$$y_B = \frac{e_{\text{пр}}}{\left(\frac{\omega_1}{\omega}\right)^2 - 1} ;$$

Динамическое смещение центров тяжести перемешивающих устройств:

а) верхнего перемешивающего устройства

$$A_{l_1} = y_B \bar{y}_{l_1} + \Delta_{l_1} + \varepsilon_{l_1} + e_1 ;$$

б) нижнего перемешивающего устройства

$$A_{l_2} = y_B \bar{y}_{l_2} + \Delta_{l_2} + \varepsilon_{l_2} + e_2 ;$$

Динамическое смещение оси вала в опасном по жесткости сечении вала

$$A_{z_1} = y_B \bar{y}_{z_1} + \Delta_{z_1} + \varepsilon_{z_1};$$

Динамическое смещение вала в точке приведения B

$$A_B = y_B + \Delta_B + \varepsilon_B;$$

Условие жесткости:

$$A_{z_1} \leq A_{\text{доп}_{z_1}}$$

Здесь: $A_{\text{доп}_{z_1}}$ – допускаемое смещение вала в зоне уплотнительного устройства.

Для сальникового уплотнения $A_{\text{доп}_{z_1}} = 0,1 \cdot 10^{-3}$ м, для торцового уплотнения $A_{\text{доп}_{z_1}} = 0,25 \cdot 10^{-3}$ м.

Необходимо проверить условие жесткости при использовании торцового уплотнения.

Сосредоточенная центробежная сила, действующая на перемешивающее устройство, Н:

а) на верхнее

$$p_1 = m_1 \omega^2 A_{l_1};$$

б) на нижнее

$$p_2 = m_2 \omega^2 A_{l_2}.$$

Приведенная центробежная сила, действующая в точке приведения B

$$p_{в пр} = m_{в пр} \omega^2 A_B.$$

Реакции опор:

а) реакция опоры A (верхней)

$$R_A = \frac{1}{L} B_1 + \frac{p_{в пр}}{2},$$

$$B_1 = p_1(L - l_1) + p_2(L - l_2);$$

б) реакция опоры B (нижней)

$$R_B = \frac{1}{L} B_3 + \frac{p_{в пр}}{2},$$

где

$$B_3 = p_1 l_1 + p_2 l_2;$$

1.2.18. Изгибающий момент в опасных по прочности сечениях:

а) между A и B

$$M_{и_{z_2}} = R_A z_2;$$

б) между B и B

$$M_{и_{z_3}} = R_A z_3 - p_{в пр} \left(z_3 - \frac{L}{2} \right)$$

где координаты опасных сечений по прочности: z_2 (середина пролета вала), z_3 (шпоночная канавка).

Крутящий момент в опасных по прочности сечениях:

а) в середине пролета вала

$$M_{k_{z_2}} = \frac{N_1 + N_2}{\omega};$$

б) в месте установки верхнего перемешивающего устройства

$$M_{k_{z_3}} = \frac{N_2}{\omega}.$$

где $N = N_1 = N_2$ мощность, потребляемая одним перемешивающим устройством

Момент сопротивления вала в опасных по прочности сечениях z_2 и z_3

$$W_{z_2} = W_{z_3} = \frac{\pi}{32} d^3.$$

Эквивалентные напряжения в этих сечениях, Па:

$$\sigma_{\text{Экв}_{z_2}} = \frac{\sqrt{M_{\text{и}_{z_2}}^2 + M_{\text{к}_{z_2}}^2}}{W_{z_2}};$$

$$\sigma_{\text{Экв}_{z_3}} = \frac{\sqrt{M_{\text{и}_{z_3}}^2 + M_{\text{к}_{z_3}}^2}}{W_{z_3}}.$$

Допускаемые напряжения по прочности в этих сечениях

$$\sigma_{\text{доп}_{z_i}} = \frac{\varepsilon_M \sigma_{-1}}{k_{\sigma_{z_i}} n_{\min}},$$

где $\varepsilon_M = f(d)$ – масштабный фактор (коэффициент влияния абсолютных размеров); σ_{-1} – предел выносливости материала вала, Па; $k_{\sigma_{z_i}}$ – коэффициент концентрации напряжений; n_{\min} – минимальный запас по прочности.

Для вала диаметром $d = 50...75$ мм, изготовленного из легированной стали, коэффициент $\varepsilon_M = 0,67$, предел выносливости при $t = 80^\circ\text{C}$ имеет значение $\sigma_{-1} = 200$ МПа.

Так как на валу в местах установки перемешивающих устройств имеются шпоночные канавки, выполненные торцевой фрезой, то $k_{\sigma_{z_3}} = 1,34$. В неослабленном сечении $k_{\sigma_{z_2}} = 1$. Принимаем ориентировочно $n_{\min} = 2$.

Необходимо рассчитать допускаемые напряжения в каждом сечении.

Проверка условия прочности: Если $\sigma_{\text{Экв}_{z_i}} \leq \sigma_{\text{доп}_{z_i}}$; значит, условие прочности выполняется.

Условия проведения работы.

Для проведения работы студентам предоставляются методические указания, и преподаватель знакомит их с определениями и основными направлениями работы.

Проведение работы.

Выполнение работы заключается в изучении основных теоретических сведений и обсуждении материалов работы.

Порядок выполнения работы.

Подробно изучить основные теоретические сведения и выполнить расчет по вариантам.

№ вар.	L, м	l_1 , м	l_2 , м	z_1 , м	z_2 , м	z_3 , м	n, об/мин	D, м	m_1 кг	m_2 кг	N Вт
1	5,5	2,8	4,6	0,6	2,75	2,8	120	2,8	66	66	5000
2	5,8	3,0	4,5	0,7	2,8	3,0	130	2,8	55	55	6000
3	6,0	3,5	4,5	0,8	2,8	3,2	140	2,9	55	55	6500
4	6,3	3,7	5,2	1,0	2,9	3,3	120	2,8	66	66	5500
5	7,0	4,5	3,2	1,5	3,5	4,1	150	3,0	77	77	5000
6	5,8	3,0	4,5	0,7	3,1	3,9	145	3,3	50	50	6000
7	6,2	3,5	4,9	0,5	3,2	3,9	150	3,2	65	65	5500
8	7,3	4,6	5,8	0,9	2,8	3,2	155	2,9	70	70	6500
9	6,2	3,5	5,0	0,6	3,0	3,2	125	2,8	60	60	4500
10	5,5	2,5	4,2	0,8	2,75	2,9	135	3,2	55	55	4800
11	7,0	4,3	5,6	0,6	3,5	3,8	125	3,1	65	65	4900
12	7,5	4,8	5,8	0,5	3,0	3,3	120	3,4	70	70	5000
13	6,5	3,5	6,0	0,9	3,2	3,4	120	2,8	65	65	6300
14	5,0	2,5	4,0	0,5	2,5	2,8	150	2,9	50	50	6200
15	5,9	3,0	5,0	0,6	2,9	3,1	165	3,4	55	55	6100
16	6,0	3,2	5,6	0,8	2,55	2,8	135	3,5	65	65	5800
17	6,5	3,7	4,9	0,8	2,9	3,1	140	2,8	70	70	5700
18	6,3	3,5	4,0	0,8	2,85	3,0	145	2,9	75	75	5100
19	6,8	3,0	5,1	0,9	3,25	3,5	135	3,0	65	65	6100
20	5,0	2,5	3,6	0,5	2,5	2,6	125	3,1	70	70	5800

Содержание и оформление отчета.

Отчет должен содержать:

- название и цель работы;
- расчет по вариантам;
- выводы по работе.

Библиографический список

1. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии : учебник для вузов : в 2 кн. Кн.1 / В. Г. Айнштейн [и др.] ; под ред. В. Г. Айнштейна М. : Физматкнига : Логос, 2006. 912 с..

2. Калекин В. С. Процессы и аппараты химической технологии : Учебное пособие / Калекин В. С. Электрон. дан. Москва : Русайнс, 2021 458 с. Режим доступа: [book.ruInternet accesshttps://book.ru/book/942019](https://book.ru/book/942019) ISBN 978-5-4365-8668-7.

Практическая работа № 6

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ГАЗОВОЙ СМЕСИ ОТ ТВЁРДЫХ КОМПОНЕНТОВ В ПОЛЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ И СРЕДСТВ ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

Целью темы является получение знаний в области изучения процесса очистки газовой смеси от твердых компонентов в поле центробежных сил и средств технической реализации.

Достижение поставленной цели осуществляется решением задач:

- изучить теорию процесса разделения газовых смесей;
- изучить конструкции циклона;
- приобрести практические умения работы с оборудованием в процессе разделением газовой смеси;
- оценить качество процесса;
- составить отчет по проведенной работе.

Материалы и оборудование: циклон; лабораторная тара; устройство пневмоподачи; лабораторные весы; крупнодисперсный сыпучий материал.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Центробежные методы очистки газов основаны на действии центробежной силы, возникающей при вращении очищаемого газового потока в очистном аппарате или при вращении частей самого аппарата. Выделение частиц пыли из газового потока происходит за счет центробежных сил, возникающих при вращении запыленного потока в циклоне и при изменении направления потока при выходе в выхлопную трубу [25, 102, 111].

В качестве центробежных аппаратов пылеочистки применяют циклоны различных типов: батарейные циклоны, вращающиеся пылеуловители (ротоциклоны) и др. Циклоны наиболее часто применяют в промышленности для осаждения твердых аэрозолей. Газовый поток подается в цилиндрическую часть циклона тангенциально, описывает спираль по направлению к дну конической части и затем устремляется на выход. Циклоны характеризуются высокой производительностью по газу, простотой устройства, надежностью в работе.

Циклон – воздухоочиститель, используемый в промышленности, а также в некоторых моделях пылесосов для очистки газов или жидкостей от взвешенных частиц. Принцип очистки – инерционный (с использованием центробежной силы), а также гравитационный (рис. 1.1). Циклонные пылеуловители составляют наиболее массовую группу среди всех видов пылеулавливающей аппаратуры и применяются во всех отраслях промышленности.

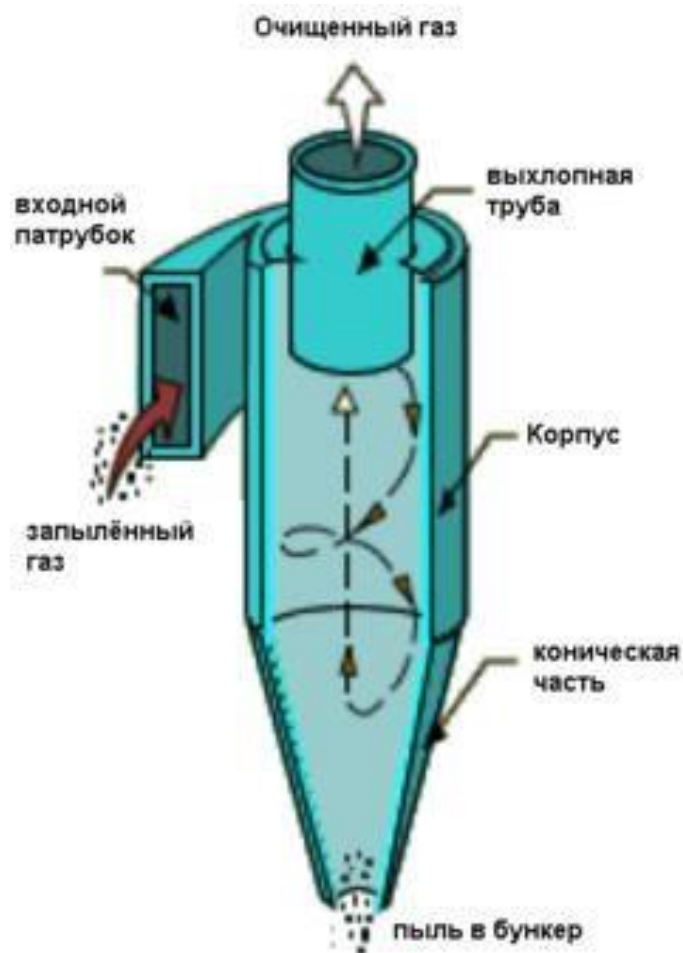


Рис. 6.1. Принципиальная схема работы циклонов

Степень очистки в циклоне сильно зависит от дисперсного состава частиц пыли в поступающем на очистку газе (чем больше размер частиц, тем эффективнее очистка). Для распространенных циклонов степень очистки может достигать высоких значений (табл.6.1).

Таблица 6.1

Степень очистки газовых смесей в зависимости от размера твердых фракций

№ п/п	Условный диаметр частиц твердой фракции, мк	Степень очистки, %
1	20	99,5
2	10	95
3	5	83

С уменьшением диаметра циклона степень очистки возрастает, но увеличивается металлоемкость и затраты на очистку. При больших объемах газа и высоких требованиях к очистке газовый поток пропускают параллельно через несколько циклонов малого диаметра (100 –300 мм.). Такую конструкцию называют мультициклоном или батарейным циклоном.

Принцип действия

Принцип действия простейшего противоточного циклона (рис. 6.2) представлен с помощью принципиальной схемы конструкции (рис. 6.3).



Рис. 6.2. Циклон (фото)

Поток газа, запыленного твердой фракцией, вводится в аппарат через входной патрубок 2, соединенный гибкой муфтой с устройством пневмоподачи (на рис. 6.2 и 6.3. не показан). Патрубок совмещен с корпусом 1 тангенциально в верхней части. В аппарате формируется вращающийся поток газа, смещающийся вихреобразно вниз, к конической части аппарата. Вследствие силы инерции (центробежной силы) частицы периферийно прижимаются к стенкам корпуса. Из-за его цилиндрическо-конической формы и постепенного движения

потока вниз происходит уменьшения площади сечения корпуса, в результате чего материал сильнее прижимается к стенкам, а газ, не находя себе места через центральную трубу устремляется вверх. Твердые частицы под действием последующего потока и собственного веса выводятся в нижней части конструкции через материалотвод 6 в бункер для сбора пыли (на рис. 6.2 и 6.3 не показан). Очищенный от пыли газовый поток выводится из циклона через воздухоотвод 5. Вследствие возникающих неравномерностей потока из инерционных сил и сил трения, а также работы устройства пневмоподачи в циклоне возможно возникновения вибрации, вследствие чего конструкция устанавливается на вибростойке 3.

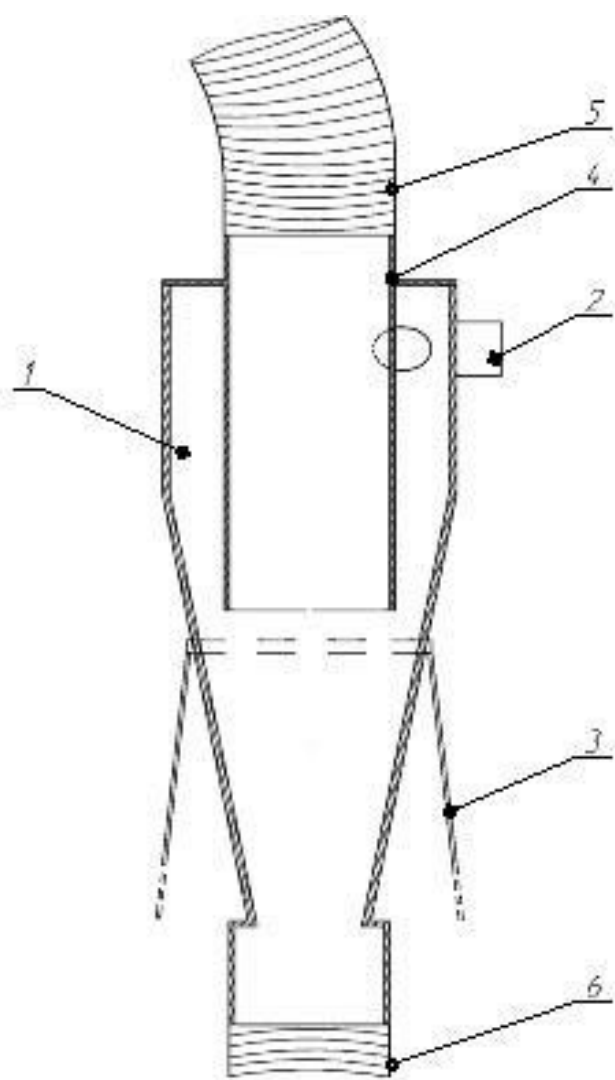


Рис. 6.3. Принципиальная схема циклона:

- 1 – цилиндрическо-конический корпус; 2 – тангенциальный ввод;
3 – вибростойка; 4 – крышка с центральной трубкой; 5 – воздухоотвод;
6 – материалотвод

Существует огромное разнообразие типов циклонов. Кроме описанного выше противоточного циклона существуют и менее распространенные - прямоточные. Противоточные циклоны различаются размерами, соотношением ци-

линдрической и конической частей, а также относительной высотой (то есть отношением высоты к диаметру) цилиндрической части. Чем больше относительная высота, тем меньше коэффициент гидравлического сопротивления и разрежение в бункере (меньше вероятность подсоса пыли в аппарат), но меньше степень очистки. Наиболее оптимальна относительная высота 1,6 м что соответствует принципу «золотое сечение».

Технические характеристики представлены в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Техническая характеристика циклона

<i>Характеристика</i>	<i>Значение</i>
Габаритные размеры, мм	163×89×433
Радиус входного патрубка, мм	30
Допустимая запыленность газа, г/м ³	250
Температура очищаемого газа, °С	не более 200
Оптимальная скорость $V_{ц}$ (V_{ex}), м/с	2,0 (10,0)
Максимальное давление (разрежение), кгс/м ²	500
Масса, кг	8,2

Циклоны просты в разработке и изготовлении, надежны, высокопроизводительны, могут использоваться для очистки агрессивных и высокотемпературных газов и газовых смесей. Недостатками являются высокое гидравлическое сопротивление, невозможность улавливания пыли с малым размером частиц и небольшая долговечность (особенно при очистке газов от пыли с высокими абразивными свойствами).

ПОРЯДОК ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

1. Подготовка материала и оборудования

Необходимо произвести монтаж лабораторной установки. Для этого циклон устанавливается на вибростойку, после чего гибкой муфтой патрубок тангенциального ввода соединяется с пневмоустройством. Предварительно в него помещается твердая фракция – крупнодисперсный сыпучий материал.

Обязательным условием проведения практической реализации занятия является безопасность работы оборудования. Для этого, воздухоотвод должен быть выведен из лаборатории или помещен в вытяжной шкаф (при наличии). При этом следует проверить герметичность воздухо- и материалоотвода, последний совмещается с соответствующей лабораторной тарой.

2. Проведение эксперимента

- подготовить конструкцию, вспомогательное и контрольное оборудование (без монтажа комплекса), а также крупнодисперсный сыпучий материал;
- установить массу крупнодисперсного сыпучий материал, занести контрольное значение в табл. 6.3;

- осуществить загрузку материала в пневмоустройство и полный монтаж установки;

- включить установку: необходимо обеспечить полную очистку газовой смеси, о чем свидетельствует отсутствие соответствующего звука, возникающего при трении твердых частиц о внутреннюю поверхность цилиндрически-конического корпуса.

- отключить комплекс оборудования и дождаться окончательной выгрузки твердой фракции из материалоотвода;

- осуществить контрольный взвешивания отделенной части (с занесением результатов в табл. 6.3) и провести соответствующий расчет.

3. Экспериментальная оценка эффективности очистки

В соответствии с данными экспериментальной оценки, зафиксированными в табл. 1.3, осуществляется расчет и последующая оценка эффективности проведенного разделения (очистки). Для этого используется формула

$$\mathcal{E}_\text{ц} = 100 - \frac{m_{\text{отд}}}{m} \cdot 100\%,$$

где m – масса твердой фракции, г; $m_{\text{отд}}$ – масса отделенного вещества, г.

Результаты сводятся в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Экспериментальные данные

Параметр	Обозначение, ед. изм.	Значение
Масса твердой фракции	m , г	
Масса отделенного вещества	$m_{\text{отд}}$, г	
Эффективность	$\mathcal{E}_\text{ц}$, %	

По величине эффективности очистки делается вывод о работе конструкции циклона в реализованных условиях. Основное оценочное условие при этом:

$\leq 5\%$ – высокая эффективность очистки;

$(5 \div 10]\%$ – допустимая эффективность очистки;

$> 10\%$ – низкая эффективность очистки.

По итогам проведенного анализа делается письменный развернутый вывод с соответствующими технико-технологическими выводами.

Содержание отчета

1. Название темы, ее цель, поставленные задачи, используемые материалы и оборудование.

2. Предназначение, схема, принцип работы прибора.

3. Порядок практического применения (с табл.6.3 и соответствующими расчетами).

4. Выводы по теме.

Библиографический список

1. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии : учебник для вузов : в 2 кн. Кн.1 / В. Г. Айнштейн [и др.] ; под ред. В. Г. Айнштейна М. : Физматкнига : Логос, 2006. 912 с..

2. Калекин В. С. Процессы и аппараты химической технологии : Учебное пособие / Калекин В. С. Электрон. дан. Москва : Русайнс, 2021 458 с. Режим доступа: [book.ruInternet accesshttps://book.ru/book/942019](https://book.ru/book/942019) ISBN 978-5-4365-8668-7.

Практическая работа № 7

РАЗДЕЛЕНИЕ СЫПУЧЕЙ СМЕСИ НА ФРАКЦИИ В ФИЛЬТРУЮЩЕЙ ЦЕНТРИФУГЕ

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

Целью темы является получение знаний в области центрифугирования и фильтрования, изучение принципа работы и технических характеристик фильтрующей центрифуги.

Достижение поставленной цели осуществляется посредством решения следующих задач:

- приобретение теоретических знаний о центрифугировании и фильтровании;
- ознакомление с применением и конструкцией фильтрующей центрифуги, принципом ее работы;
- приобретение практических умений использования оборудования.

Оборудование и материалы: фильтрующая центрифуга, лабораторная тара, фильтры, весы, сыпучая смесь.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Центрифугирование – это процесс разделения неоднородных систем на фракции под действием центробежных сил [57]. Его применяют для разных систем, состоящих из нескольких фаз: суспензию (жидкость — твердое вещество) [69, 73, 89], эмульсию (жидкость — жидкость), аэрозоли (газ — твердое вещество или газ — жидкость), твердую – осадок.

Также центрифугирование используется для разделения механических сыпучих систем по размеру частиц с помощью фильтров, т.е. для процесса фильтрования [26, 62, 127].

Фильтрование – процесс разделения с помощью пористой перегородки, способной пропускать жидкость или газ, но задерживать взвешенные частицы. Для сыпучих материалов твердое (сыпучее) вещество разделяется перегородкой в зависимости от размера фракции. Движущей силой процесса фильтрования является разность давлений. В случаях, когда разность давлений создается центробежными силами, процесс называют центробежным фильтрованием.

Центробежная (тангенциальная) сила, развивающаяся при круговом или криволинейном движении и побуждающая тело оставить кривую, чтобы продолжать свой дальнейший путь по прямой касательной к ней (рис. 7.1).

Центробежная сила рассчитывается по формуле

$$F_{ц} = \frac{mV^2}{R},$$

где m – масса материальной точки (тела), V – ее скорость, R – радиус кривизны траектории, и направлена от центра кривизны траектории по ее главной нормали.

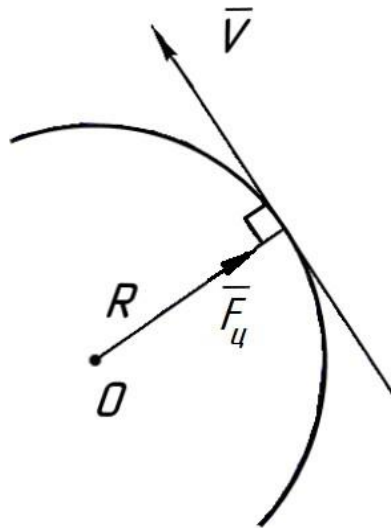


Рис. 7.1. Схема возникновения действия центробежной силы

Устройства для центрифугирования называются центрифугами.

Принцип действия центрифуги основан на создании большой центробежной силы, под влиянием которой скорость разделения компонентов смеси, помещенной в центрифугу, увеличивается во много раз по сравнению со скоростью разделения их под действием силы тяжести

Центрифуги делят на два основных класса: фильтрующие и осадительные.

Центрифуги бывают: открытые и закрытые, с ручным и механическим приводом.

Одним из основных параметров центрифуги является *фактор разделения* (критерий Фруда), который характеризует степень интенсификации процесса в поле центробежных сил по сравнению с аналогичным процессом в гравитационном поле.

$$K_p = \frac{F_{ц}}{F_g} = \frac{\omega^2 r (m - m_1)}{g(m - m_1)} = \frac{\omega^2 r}{g}, \quad (7.1)$$

где ω – угловая скорость ротора, рад/с; r – радиус ротора, м; m – масса разделяемых частиц, кг; m_1 – масса вытесненной частицей сплошной среды, кг.

$$\omega = 2\pi n, \quad (7.2)$$

Тогда с учетом формул (2.1) и (2.2), а также тождества $\pi^2 \approx g$:

$$K_p = \frac{4\pi^2 n^2 r}{g} \approx 4n^2 r \approx 2n^2 D, \quad (7.3)$$

где n – число оборотов ротора центрифуги, с⁻¹; D – диаметр ротора, м.

По величине фактора разделения различают центрифуги:

а) тихоходные – $K_p < 1000$;

б) нормальные – $1000 \leq K_p < 3500$;

в) скоростные (сверхцентрифуги) – $K_p \geq 3500$.

Технические характеристики конструкции представлены в табл. 77.1.

Таблица 7.1

Техническая характеристика

Мощность электродвигателя, Вт	350
Напряжение, В	220
Частота вращения, об./мин	0-3000
Габаритные размеры, мм	205×198×315
Масса, кг	6,5
Диаметр, м	0,055

Фильтрующая центрифуга представлена на рис. 2.2.



Рис. 7.2. Фильтрующая центрифуга (фото)

Описание установки

Принципиальная схема фильтрующей центрифуги изображена на рис. 7.3.

Фильтры располагаются от оси вращения в порядке уменьшения пропускной способности.

Подготовленную неоднородную механическую сыпучую смесь засыпают в фильтрующий элемент грубой очистки 8. Фильтры помещают в корпус 4. и закрывают крышкой 5. Устройство подключается к сети вилкой питания 7. Далее, фильтрующая центрифуга включается управлением 6. Двухфазный электродвигатель 1 через вал 3 передает крутящий момент на корпус 4. Материал,

под действием центробежной силы проходит к периферии корпуса, через фильтры грубой, средней и тонкой очистки 8 — 9 — 10 соответственно, и задерживается от крупного размера частиц до мелкого. При необходимости, частоту вращения можно регулировать с помощью дополнительного устройства — трансформатора, регулирующего подаваемое напряжение и, как следствие, число оборотов привода.

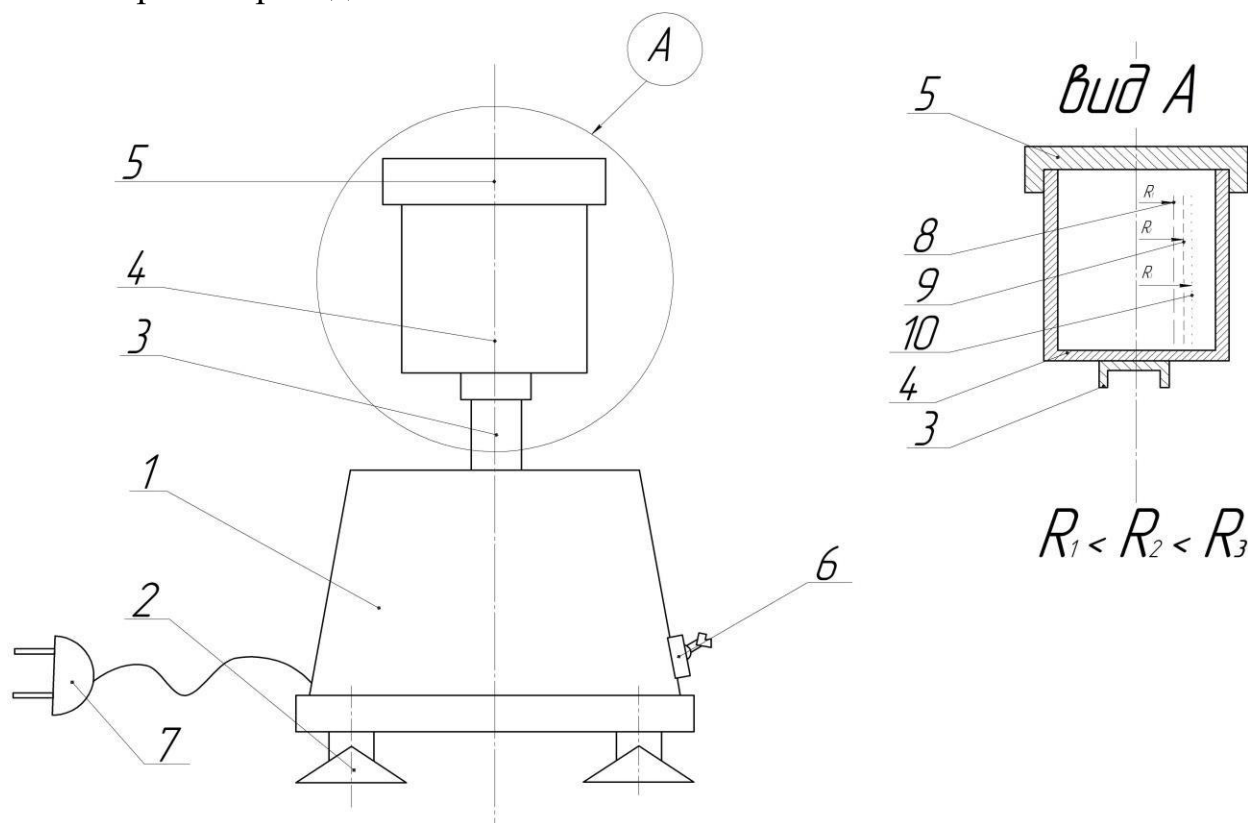


Рис. 7.3. Принципиальная схема центробежной центрифуги:

- 1 – электродвигатель; 2 – ножки; 3 – вал; 4 – корпус;
 5 – крышка; 6 – управление; 7 – питание;
 8, 9, 10 – фильтры грубой, средней и тонкой очистки

В лабораторных целях устройство может использоваться совместно с другим лабораторным оборудованием, к примеру, с весами, специальной тарой и т.п.

ПОРЯДОК ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

Рассчитать параметр центрифуги – фактор разделения (критерий Фруда) по формуле (2.3).

По полученному значению определить класс, к которому относится используемая в работе конструкция.

Подготовка пробы

Перед проведением эксперимента пробу необходимо подготовить. Для этого исследуемый материал взвешивается на весах вместе с тарой (каждого типа материала своя тара) и взвешивается после отдельно тара и нумеруется.

Результаты расчета чистой фракции заносятся в табл. 7.2 (пылевидная фракция отсутствует).

Проведение эксперимента

До начала эксперимента подготовленную смесь помещают в корпус устройства. После этого необходимо включить центрифугу и задать нужную скорость с помощью регулировки вольтметром, осуществляя отсчет времени (эксперимент должен длиться 3 минуты).

Извлечение материала

После окончания эксперимента необходимо удалить разделенный материал из оборудования. Для этого отвинчивают крышку корпуса и аккуратно вынимают все фильтры разом. После извлекают фильтр за фильтром, начиная с грубого (внутренний фильтр) и снова разбивают по фракциям материал на маркированную тару. Полученные порции взвешиваются и результаты вносятся в табл. 2.2.

Таблица 7.2

Экспериментальные значения веса при фильтровании

Масса, г	Фракции				Общая масса, Σ
	Крупная	Средняя	Мелкая	Пылевидная	
До эксперимента, m_1					
После эксперимента, m_2					

Экспериментальная оценка качества фильтрации

С целью оценки качества фильтрации следует осуществить следующее:

1. Подготовка фракций и смесей.
2. Фильтрация в центрифуге.
3. Анализ полученных (отфильтрованных) масс.

Исходя из значений параметров качества процесса центрифугирования (табл. 3.2), рассчитываются потери при эксперименте:

$$П = \frac{\Sigma m_2}{\Sigma m_1} \cdot 100\%.$$

Потеря должна быть не более 5 %. Таким образом, величина потерь должна соответствовать условию

$$П \geq 95 \%.$$

В противном случае эксперимент проведен не достоверно.

Содержание отчета

1. Название, цель, задачи темы, материалы и оборудование.
2. Схема фильтрующей центрифуги и краткое описание принципа работы устройства.
3. Порядок проведения работы. Вычисление фактора измельчения и качества фильтрации.
4. Выводы по теме.

Библиографический список

1. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии : учебник для вузов : в 2 кн. Кн.1 / В. Г. Айнштейн [и др.] ; под ред. В. Г. Айнштейна М. : Физматкнига : Логос, 2006. 912 с..

2. Калекин В. С. Процессы и аппараты химической технологии : Учебное пособие / Калекин В. С. Электрон. дан. Москва : Русайнс, 2021 458 с. Режим доступа: [book.ruInternet accesshttps://book.ru/book/942019](https://book.ru/book/942019) ISBN 978-5-4365-8668-7.

Практическая работа № 8

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КОНСТРУКЦИИ И РАБОТЫ ПИТАТЕЛЯ СЫПУЧИХ СРЕД

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

Целью темы является оценка равномерности распределения сыпучего материала лабораторным питателем.

Достижение поставленной цели осуществляется посредством решения следующих задач:

- приобретение теоретических знаний о процессе питания/дозирования и его разновидностях;
- ознакомление с конструкцией лабораторного питателя, с принципом работы устройства и его применением;
- проведение анализа процесса питания с помощью лабораторной установки;
- приобретение навыков оформления отчета о полученных знаниях, умений работы с графическими материалами и возможными практическими приложениями.

Оборудование и материалы: лабораторный питатель сыпучих сред, тара, лабораторные весы, сыпучий материал.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Питание – процесс формирования и передачи количества вещества путем определения его массы или объема, либо счета числа одинаковых штучных объектов или непрерывных характеристик (например, длины) [31, 14, 100]. По структуре рабочего цикла питание бывает непрерывным или дискретным.

При непрерывном питании выделяется количество вещества, переносимого потоком за определенный промежуток времени. Как правило, применяется дискретное дозирование, заключающееся в периодическом повторении циклов выделения дозы продукта и ее подачи.

Для процесса питания важна такая характеристика, как точность. Под точностью процесса питания понимается степень соответствия поля рассеяния значений массы дозы продукции заданному полю допуска и его расположению.

Точность принято оценивать рядом количественных оценок.

Процесс питания непосредственно зависит от физико-механических свойств сыпучего материала, поэтому их особенности имеют решающее значение при выборе всего комплекса соответствующих устройств. Способ транспортирования сыпучего материала также существенно влияет на определение схемы питания и на выбор необходимых питателей и вспомогательных устройств. Например, при пневмотранспортировании уменьшается число контактов частиц перемещаемого материала, вследствие чего облегчается истече-

ние продукта из емкости. В процессах питания сыпучих компонентов степень подвижности частиц имеет основное значение.

Процесс питания существенно зависит от характера истечения сыпучего материала из бункера, поскольку питатель устанавливается после бункера. Характерные недостатки, присущие бункерам различной формы, - это образование статических сводов над выпускным отверстием, отложение материала на стенках бункера и образование вертикально движущегося столба в процессе истечения над отверстием, в то время как окружающий этот столб материал представляет собой застойную зону. Размеры и форму бункеров выбирают в зависимости от текучести данного материала. Поэтому, в ряде случаев, при проектировании выбор оптимальной конструкции бункера для конкретного материала базируется на повторении удачной конструкции, оправдавшей себя на практике. Однако часто приходится сталкиваться с такими проблемами, как уплотняющее давление при загрузке высоких бункеров, прекращение истечения или его ограничение, сегрегация материала, неполное использование полезной емкости и другие, которые препятствуют нормальной работе питателей. Во многих случаях бункер рассчитывают на статические нагрузки при требуемом объеме, а форму его задают на основе технической интуиции без учета закономерностей истечения материала, что приводит к существенным затруднениям в процессе эксплуатации.

Процесс питания характеризуется непрерывным колебанием значений расхода вследствие изменения эффективного сечения выпускного отверстия при проходе частиц у кромки.

Процесс питания должен осуществляться быстро при постоянной температуре и каждый раз с одинаковой скоростью.

Пример функционирования оборудования представлен на объемном одношнековом питателе. Известен способ подачи - питания сыпучих продуктов при помощи объемных шнековых дозаторов. Одношнековый дозатор (рис. 8.1) состоит из корпуса 2, выполненного в виде конуса. Внутри корпуса размещена рамная мешалка 3 и вертикальный питающий шнек 4. Мешалка и шнек закреплены на разных вертикальных валах, вращающихся в противоположные стороны.

При работе питателя продукт загружается конвейером 1 в корпус 2 и постоянно перемешивается мешалкой 3. Конструкция мешалки выполнена со скребками, очищающими коническую поверхность корпуса 2 и предотвращающими сводообразование продукта, а также снабжена поперечными лопастями, которые рыхлят продукт, усредняя его плотность в зоне верхних витков питающего шнека 4. Заданный объем дозы подается в потребительскую тару 5 при дискретном вращении дозирующего шнека 4. Величина дозы зависит от шага шнека и числа его оборотов.

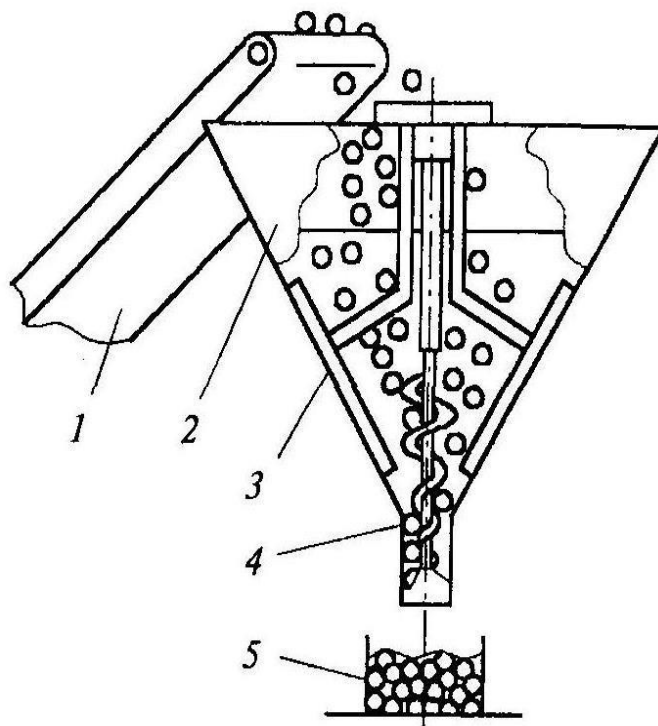


Рис. 8.1. Принципиальная схема объемного одношнекового питателя для сыпучих материалов:

1 – конвейер, 2 – корпус, 3 – рамная мешалка, 4 – питающий шнек, 5 – потребительская тара

Для оценки процесса подачи сыпучего материала разработан лабораторный однопозиционный питатель (рис. 8.2).



Рис. 8.2. Лабораторный однопозиционный питатель (фото)

Принципиальная схема представлена на рис. 8.3.

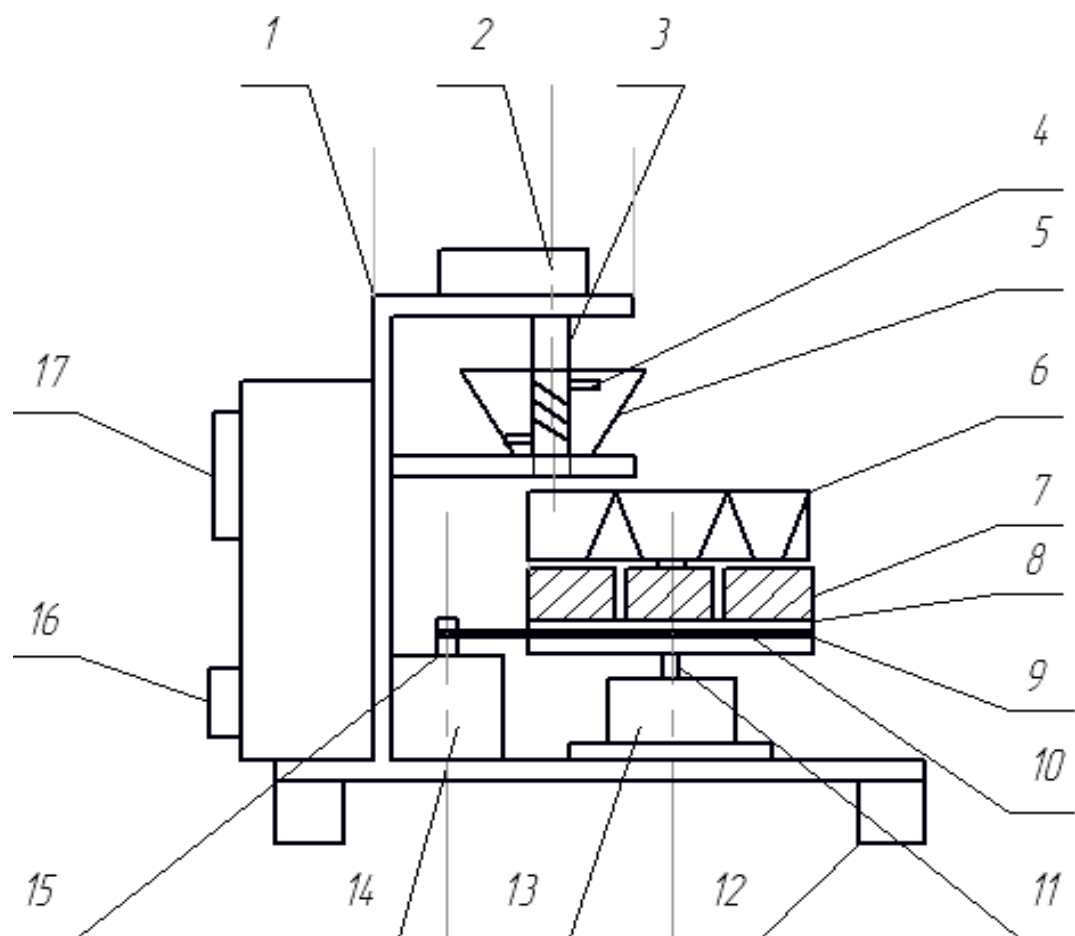


Рис. 8.3. Принципиальная схема лабораторного однопозиционного питателя:

- 1 – стойка, 2 – привод питателя, 3 – вал питателя, 4 – мешалка, 5 – воронка, 6 – ротор, 7 – тара, 8 – стол, 9, 15 – шкивы, 10 – ременная передача, 11 – центробежный вал, 12 – ножки, 13 – опора, 14 – привод ротора, 16 – выключатель, 17 – регулятор мощности

Конструкция базируется на стойке 1, опирающейся на четыре ножки 12.

Материал мешалкой 4 через воронку 5 подается через рассекательный ротор 6 в тару 7. Расположенная на столе 8 ротора 6 тара, вращаясь вокруг оси вала 11, заполняется сыпучим материалом индивидуально каждая за счет отсечения потока материала отсекающими ротора. Вращение обеспечивается приводом 14, который через ременную передачу 10 передает вращающийся момент со шкива 15 на шкив 9.

Вращение вала питателя обеспечивается независимым приводом 2. Управление приводами обеспечивает выключатель 16 и регулятор мощности 17.

Таким образом, материал равными порциями питателем подается в тару. Техническая характеристика лабораторного однопозиционного питателя представлена в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Техническая характеристика лабораторного однопозиционного
питателя

<i>Характеристика</i>	<i>Значение</i>
Кол-во тары для фасовки, шт.	8
Диапазон частоты вращения вала питателя, с ⁻¹	0...5
Объем загрузочного бункера, л	0,1
Масса лабораторной установки, кг	19
Частота вращения ротора, с ⁻¹	0,15

ПОРЯДОК ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

1. Подготовка прибора к работе

1.1. Подготовка к проведению опыта

Перед проведением эксперимента нужно выбрать сыпучий материал (например, манная крупа) с которым будет проводиться опыт, и загрузить в питатель до нужного уровня. Во время загрузки часть материала неизбежно просыпается в тару под питателем, поэтому при проведении анализа эксперимента эта емкость не учитывается (техническая тара). Так же нужно заранее выставить регулятор мощности так, чтобы получить нужное значение частоты оборотов вала и мешалок питателя (выбирается произвольно).

1.2. Включение прибора

Для начала работы с прибором необходимо включить его в сеть с напряжением в 220 В. Далее необходимо нажать кнопку для включения прибора.

2. Проведение опыта

При включении прибора запускается процесс питания/дозирования материала в тару, перемещающуюся в роторе. После того, как дозируемый материал в питателе закончится, прибор нужно выключить и перейти к анализу опыта.

3. Анализ опыта

В соответствии с целью лабораторной работы будет проводиться анализ равномерности распределения сыпучего материала в каждую тару. Определять равномерность питания будем на лабораторных весах путем взвешивания сначала заполненной тары ($m_{\text{общ.}}$), а затем пустой тары (m_m). Чтобы вычислить массу сдозированного материала в каждую тару применяется формула

$$m_{\text{в-ва}}(j) = m_{\text{общ.}}(j) - m_m(j),$$

где j – порядковый номер тары.

Результаты измерений сведены в табл. 3.2.

Таблица 8.2

Результаты эксперимента (пример)

№ тары j	$m_{\text{общ.}}, \text{г}$	$m_m, \text{г}$	$m_{\text{в-ва}}, \text{г}$
1	98,65	96,2	2,45
2	109,18	106,7	2,48
3	98,69	96,35	2,34
4	109,44	106,93	2,51
5	98,17	95,62	2,55
6	111,85	109,54	2,31
7	130,22	127,76	2,46

На основе данных табл. 3.2 составляется гистограмма распределения $m_{\text{в-ва}}$ (рис. 3.4).

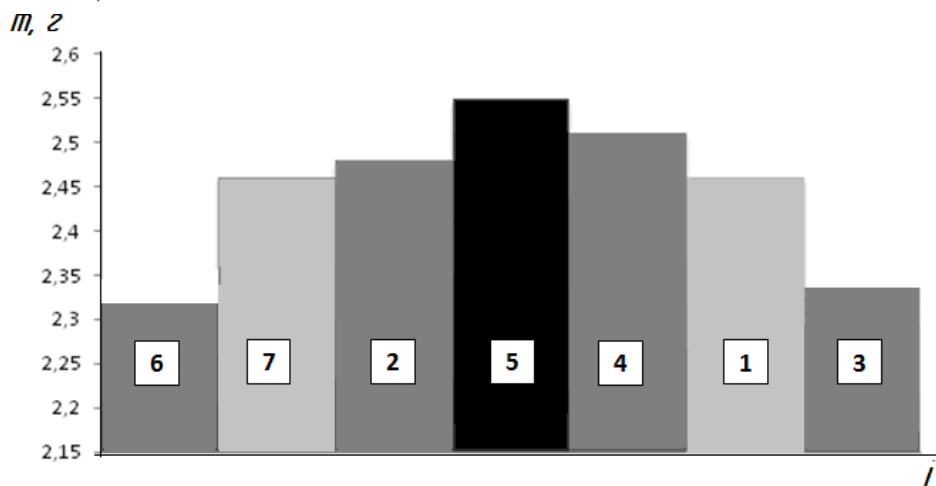


Рис. 3.4. Гистограмма распределения массы сдозированного материала (пример)

На основе данных гистограммы (см. рис. 3.4) делается вывод о равномерности распределения вещества в каждую тару. В примерепредставленные значения позволяют сделать вывод о том, что распределение носит равномерный характер, так как усредненное построение главной линии гистограммы, проходящее через середины вершины каждого из столбцов, обладает визуальной симметрией относительно центрального значения.

Содержание отчета

1. Название темы.
2. Цель и задачи темы.
3. Оборудование и материалы.
4. Схема лабораторной установки и краткое описание принципа ее работы.
5. Проведение опыта.
6. Выводы по теме.

Библиографический список

1. Евсеев А.В. Теория и оборудование детерминированного формирования однородности гетерогенных смесей: дис. ... д-ра техн. наук. Тула, 2021. 297 с.
2. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии : учебник для вузов : в 2 кн. Кн.1 / В. Г. Айнштейн [и др.] ; под ред. В. Г. Айнштейна М. : Физматкнига : Логос, 2006. 912 с..
3. Калекин В. С. Процессы и аппараты химической технологии : Учебное пособие / Калекин В. С. Электрон. дан. Москва : Русайнс, 2021 458 с. Режим доступа: [book.ruInternet accesshttps://book.ru/book/942019](https://book.ru/book/942019) ISBN 978-5-4365-8668-7.

Практическая работа № 9

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА НОНМИКСИНГОВОГО СМЕШЕНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

Целью темы является получение знаний и умений в технологии неклассических методов смешения.

Достижение поставленной цели осуществляется посредством решения следующих задач:

- приобретение теоретических знаний в процессе смешения сыпучих материалов.
- ознакомление с конструкцией нонмиксингового смесителя.
- исследование качества процесса нонмиксингового смешения с применением методов органолептической оценки.
- составление отчета по проведенному исследованию.

Оборудование и материалы: нонмиксинговый смеситель, лабораторные весы, тара, загрузочная воронка, сыпучие материалы.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Сыпучий материал «сыпучая среда», «сыпучее тело» – совокупность большого количества твердых частиц.

С технологической точки зрения важно их смешивание для обеспечения высокого качества, например: смешивание ингредиентов, смеси разнокачественных односортовых материалов (мука I и II сорта).

Смешивание сыпучих смесей – это механический процесс, в результате которого первоначально находящиеся раздельно компоненты после равномерного распределения каждого из них в смешиваемом объеме материала образуют однородную смесь [106, 107].

Смесь – совокупность чего-нибудь разного, разнородного, собранного вместе; (техн.) продукт смешения, механического соединения каких-нибудь веществ.

Механические машины, осуществляющие смешение, называются смесителями. Смесители – машины или аппараты, в которых смешиваются сыпучие материалы [57].

Однако формирование однородной смеси в соотношениях менее чем 1:100 легко реализовывать в классических механических смесителях. Формирование, к примеру, смеси комбикормов, современными технологическими устройствами в значительной степени трудновыполнимо, поэтому находят применения новые устройства смешения, такие как нонмиксинговые смесители.

Нонмиксинговый (*non* – не, отрицание; *mixing* – мешание, перемешивание) смеситель – это аппарат, принцип работы которого основан на формирова-

нии смеси в виде порционного дозирования сыпучих материалов слоями (рис. 9.1).

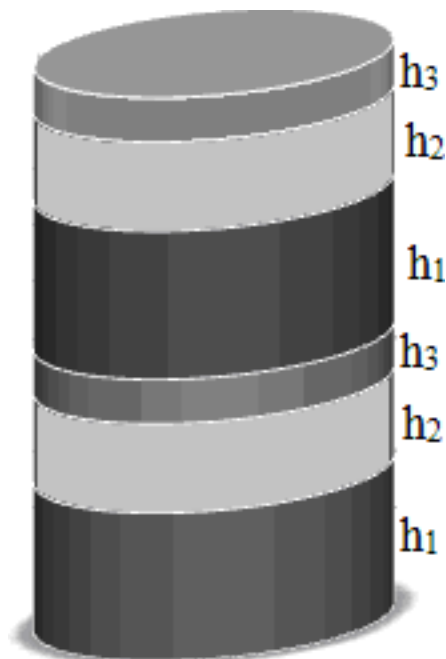


Рис. 9.1. Примерная схема распределения разнородных сыпучих материалов ($h_1 > h_2 > h_3$, что соответствует заданному соотношению)

Из рис. 4.1 видно, что смесь формируется слоями. Таким образом, материал с заданным соотношением получается не механическим перемещением частиц относительно друг друга, а их точным дозированием в определенный объем тары. Смешение сыпучих материалов состоит из некоторых элементарных процессов: перемещения группы соседних частиц из одного положения в другое (конвективного смешения), перераспределения частиц через обновленную границу их раздела (диффузионного смешения), скольжения плоскостей в массе материала (сдвигового смешения), сосредоточения частиц, имеющих одинаковую массу в соответствующих частях смесителя под влиянием инерционных и гравитационных сил (сегрегации). В качестве аппарата для смешивания сыпучих продуктов применяют различные варианты смесителей. Смешивание можно разделить по организационно-технической структуре на периодическое и непрерывное, соответственно смесители так же подразделяются на смесители периодического и непрерывного действия.

Так же важно учесть внутренние характеристики материала, влияющие на ход смешивания.

Объемная масса смешиваемых материалов необходима для определения основных размеров узлов смесителя, а также для выбора величины дозы смешиваемых компонентов. Объемная масса выражается в $\text{кг}/\text{м}^3$.

Размеры частиц материала определяются линейными размерами. При этом берется наибольший размер, которым обычно бывает длина.

Угол естественного откоса материала является одним из основных факторов, характеризующих сыпучесть материала. Этот угол образуется плоскостью естественного откоса материала с горизонтальной плоскостью. Подвижность материала тем больше, чем меньше угол естественного откоса.

Слеживаемость, комкуемость, склонность к сводообразованию являются характеристиками плохой сыпучести материалов. От сыпучести или подвижности материалов, т. е. способности при известных условиях образовывать струю, текущую под действием силы тяжести, зависит характер движения материала через питатель в смеситель.

Влажность материала в основном влияет на его сыпучесть. С изменением влажности изменяется объемная масса и угол естественного откоса. При повышении процента влажности обычно увеличивается угол естественного откоса и уменьшается объемная масса материала. Это влечет за собой часто изменение сыпучести материала, способствует образованию комьев и сводов, что нередко вместо хорошей подвижности и смешиваемости сухого материала приводит к ухудшению качества готовой смеси.

Однако имеющиеся способы и механизмы формирования смесей не могут дать качественного продукта с соотношением фракций более 1:10 0 . С учетом этого требования предложен новый способ детерминированного формирования однородности смесей сыпучих материалов, использованный в многопозиционном нонмиксинговом смешении (рис.9.2).

После загрузки компонентов в бункеры захватные органы питателей Q_i выдают из бункера микрообъемы ΔQ_i компонентов с неравномерным распределением их объемного содержания относительно длины захватного органа. Микрообъемы ΔQ_1 , ΔQ_2 и ΔQ_3 попадают на нижнюю горизонтальную поверхность тары с радиусом R_0 , таким образом, что каждая из них занимает определенное место в виде углового сектора с параметрами φ , и толщиной h_0 . Емкость вращается относительно своей оси, вслед за микрообъемом ΔQ_1 , на поверхности тары укладывается микрообъем ΔQ_2 , который выдает второе питающее устройство, следом подобно выдвигается микрообъем ΔQ_3 . Таким образом, на поверхности емкости образовался слой смеси из трех компонентов, состоящий из трех равных угловых секторов с определяющими углами. Процесс многократно повторяется, при этом каждый последующий микрообъем одного компонента на следующем обороте емкости вокруг своей оси смещен относительно предыдущего не только по высоте на толщину элементарного слоя h_0 , но и по угловой координате $\Delta\varphi$. Таким образом, если теперь из тары произвольным образом взять любую по величине выборку смеси, то в ней всегда будет соблюдаться необходимое соотношение компонентов (в примере на рис. 9.2 – 1:1:1).

Положение тары относительно своей оси

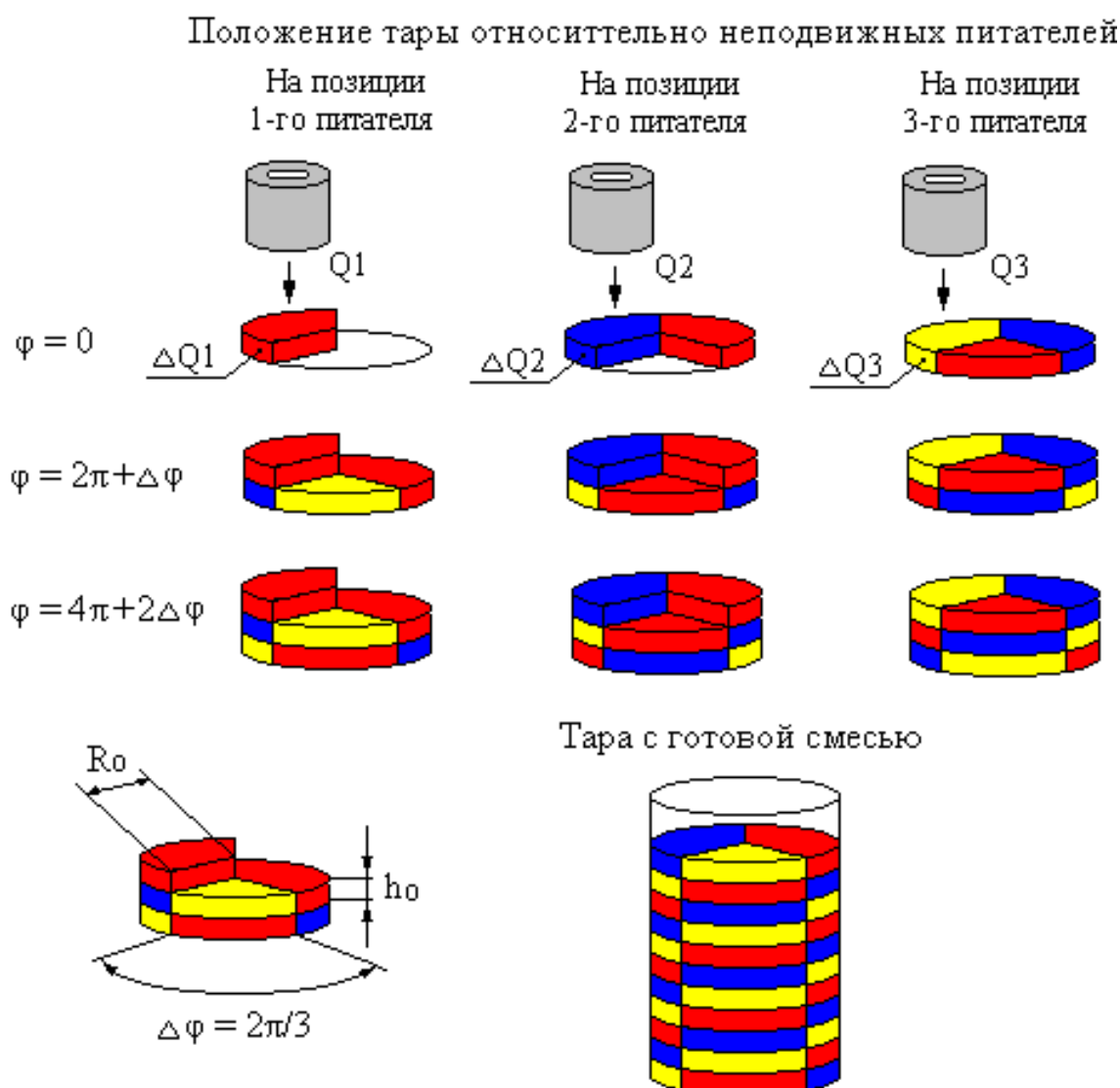


Рис. 9.2. Схема нонмиксингового смешения
(на примере получения трехкомпонентной смеси в соотношении 1:1:1)

Конструкция нонмиксингового смесителя (рис. 4.3) характеризуется принципиальной схемой представленной на рис. 4.4.

Электродвигатель 12, закрепленный в корпусе 7, установленном на ножках 8, передает вращательный момент (через зубчатую 10 и ременную 9 передачи) на центральный вал 2. Питатели 3 приводятся в движение зубчатой передачей 1, ведущая шестерня которой жестко закреплена на центральном валу 2. Загруженные в питатели 3 смешиваемые фракции последовательно дозируются в тару 5 через рассекаватель 4 (жестко закрепленный на валу 2). При этом тара 5 вращается планетарно вокруг вала 2, при помощи зубчатой передачи 6.



Рис. 9.3. Нонмиксинговый смеситель (фото)

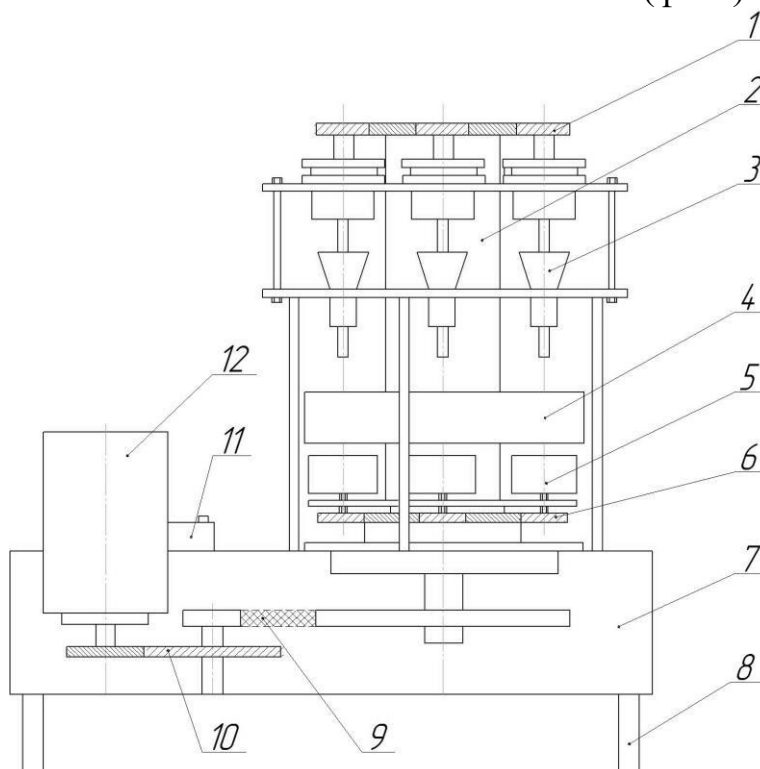


Рис. 9.4. Принципиальная схема нонмиксингового смесителя:
 1 – привод питателей, 2 – центральный вал, 3 – питатель, 4 – рассекаТЕЛЬ, 5 – тара, 6 – привод тары, 7 – корпус, 8 – ножки, 9 – ременная передача, 10 – зубчатая передача, 11 – пульт управления, 12 – электродвигатель

Смесь компонентов формируется точной подачей материалов питателями 3, в результате прохождения тары 5 последовательно под каждым питателем. Техническая характеристика представлена в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Техническая характеристика нонмиксингового смесителя

Производительность, кг/ч	0,068
Масса, кг	22
Габариты, мм	610×640×410
Питающее напряжение, В	220
Число оборотов центрального вала, мин ⁻¹	66
Число оборотов вала мешалок, мин ⁻¹	102
Число оборотов привода тары, мин ⁻¹	154
Число оборотов двигателя, мин ⁻¹	1582
Число оборотов промежуточного зубчатого колеса, мин ⁻¹	264

ПОРЯДОК ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

Подготовка оборудования к работе.

1. Визуальный осмотр оборудования
2. Подключение питания к сети 220 В.
3. Тестовый запуск без материала.
4. Подготовка материала к дозированию.

Сыпучий материал должен быть мелкодисперсным, с минимальным содержанием влаги и без неоднородных включений. Материал для точного дозирования предварительно взвешивается.

Экспериментальное исследование смеси

Смешивается 2 материала по схеме, на рис. 5.4.



Рис. 9.5. Схема загрузки дозаторов нонмиксингового смесителя

Соотношение материала 1 и 2 по трем последовательным дозаторам соответствует пропорции 3:2:3.

Материал загрузочной воронкой в своих пропорциональных соотношениях загружается в питатели. В процессе работы оборудования осуществляется качественная оценка смешения сыпучих материалов. Измеряется время, затраченное устройством на дозирование сыпучих материалов (по последнему опорожненному дозатору). По окончании

осуществляется определение масс материала по каждой таре, результаты заносятся в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Результаты нонмиксингового смешения (пример)

№ тары	$m, \text{г}$
1	3,74
2	3,86
3	4,8
4	4,45
5	3,98
6	4,52
7	4,7

По данным табл. 9.2. аналогично рис. 4.4 строится гистограмма распределения сдозированных масс (рис. 4.6).

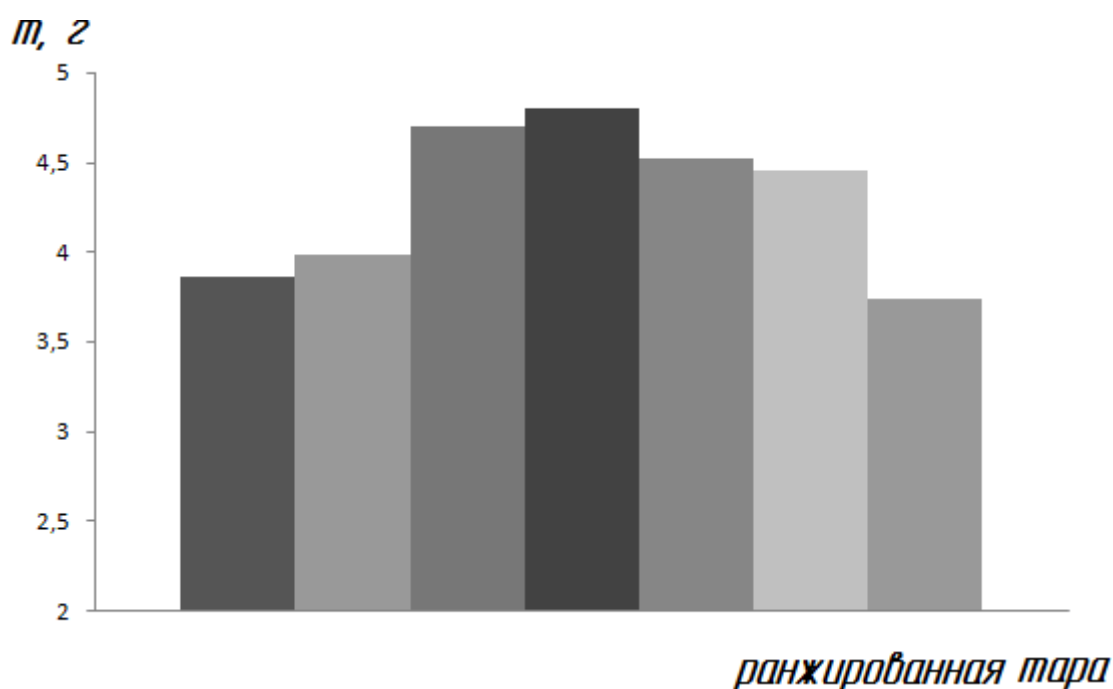


Рис. 9.6. Гистограмма распределения масс смеси по таре в ранжированной форме (пример)

Построенная на рис. 4.6 гистограмма оценивается по равномерности распределения масс по тарам относительно наибольшей величины, отображенной в центре.

Полученные смеси выборочно (минимально 2) оцениваются органолептически. Экспертно рассматриваются и определяются качественные составляющие:

1. Внешний вид.

2. Цвет.
3. Запах.
4. Вкусовые характеристики (по необходимости).

Результаты органолептической оценки записываются в виде констатирующего резюме.

Содержание отчета

1. Название, цель, задачи темы, материалы и оборудование.
2. Схема нонмиксингового смесителя и краткое описание принципа работы (по рис. 4.4).
3. Порядок проведения работы с соответствующими таблицами и рисунками.
4. Выводы по теме.

Библиографический список

4. Евсеев А.В. Теория и оборудование детерминированного формирования однородности гетерогенных смесей: дис. ... д-ра техн. наук. Тула, 2021. 297 с.

5. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии : учебник для вузов : в 2 кн. Кн.1 / В. Г. Айнштейн [и др.] ; под ред. В. Г. Айнштейна М. : Физматкнига : Логос, 2006. 912 с..

6. Калекин В. С. Процессы и аппараты химической технологии : Учебное пособие / Калекин В. С. Электрон. дан. Москва : Русайнс, 2021 458 с. Режим доступа: [book.ruInternet accesshttps://book.ru/book/942019](https://book.ru/book/942019) ISBN 978-5-4365-8668-7.

Практическая работа № 10

ВЕСОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ И СЫРЬЯ

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

Целью данной темы является получение знаний в области инструментального контроля качества изделий с применением электронных лабораторных весов АСОМ JW-1 и конкретных умений и навыков работы с ними.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- ознакомление с электронными лабораторными весами АСОМ JW-1: приобретение теоретических знаний о конструкции устройства, принципе его работы и применении;
- приобретение практических умений применения весов АСОМ JW-1;
- получение практических навыков применения весов АСОМ JW-1 к конкретному изделию;
- приобретение навыков оформления отчета о полученных знаниях, умений работы с графическими материалами и возможными практическими приложениями.

Оборудование и материалы: весы АСОМ JW-1, контейнер, майонез, таблетированные добавки.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

АСОМ JW-1 – весы лабораторные [30, 92, 132] электронные для статического взвешивания. Класс точности – высокий (II) по ГОСТ 2410 4-0 1. Весы внесены в Госреестр средств измерений под № 23158-02. 200 – максимальная величина взвешивания 20 0 г.

Весы лабораторные типа АСОМ JW-1 предназначены для определения массы в лабораториях научно-исследовательских предприятий, организаций и учреждений промышленности и сельского хозяйства. Технические характеристики представлены в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Диапазон параметров контрольных значений

Модель	АСОМ JW-1
Наибольший предел взвешивания (НПВ), г	200
Дискретность (d), г цена поверочного деления (e), г	0,01
Наименьший предел взвешивания (НмПВ), г	0,2
Число поверочных делений* (n)	20000

Пределы (г) допускаемой погрешности при первичной (периодической) поверке	(0;50] – 1e (50;200] – 1e (2e)
Среднеквадратическое отклонение (СКО)	не более 1/3 пределов допускаемой погрешности
Диапазон выборки массы тары	до 100% НПВ
Питание	постоянный ток 9В / 300 мА
Масса весов, кг	0,95
Габаритные размеры, мм	280×250×65
Размер платформы, мм	диаметр 123
Дисплей	жидкокристаллический

* – максимальное число дискретностей в пределе взвешивания, НПВ/d.

Меры предосторожности

1. Устанавливать весы на плоскую и твердую поверхность.
2. Не устанавливать весы вблизи источников электромагнитных волн.
3. Выравнивание весов осуществлять только с помощью индикатора уровня и регулируемых ножек.
4. Предохранять весы от ударов.
5. Не допускать попадания на весы воды и других жидкостей.
6. Не использовать растворители для чистки весов.
7. Предохранять весы от прямого солнечного света.

Условия хранения весов должны соответствовать следующим требованиям: температура от +10 до +30 °С, относительная влажность до 80 % при температуре +25 °С. Неисправности и сообщения об ошибках занесены в табл. 5.2.

Таблица 10.2

Неисправности и сообщения об ошибках

Дисплей	Описание	Устранение
TE ₂₀	ошибка начальной установки нуля	очистите поддон. снимите и установите заново платформу
EEP	неисправности памяти программ	обратитесь в сервис-центр
Ad ₂ A	неисправности АЦП	обратитесь в сервис-центр
РАА	разрушение памяти	откалибруйте весы, обратитесь в сервис-центр

Принцип работы

Схема общего вида и принципиальная схема электронных лабораторных весов АСОМ JW-1 соответственно изображены на рис. 10.1.

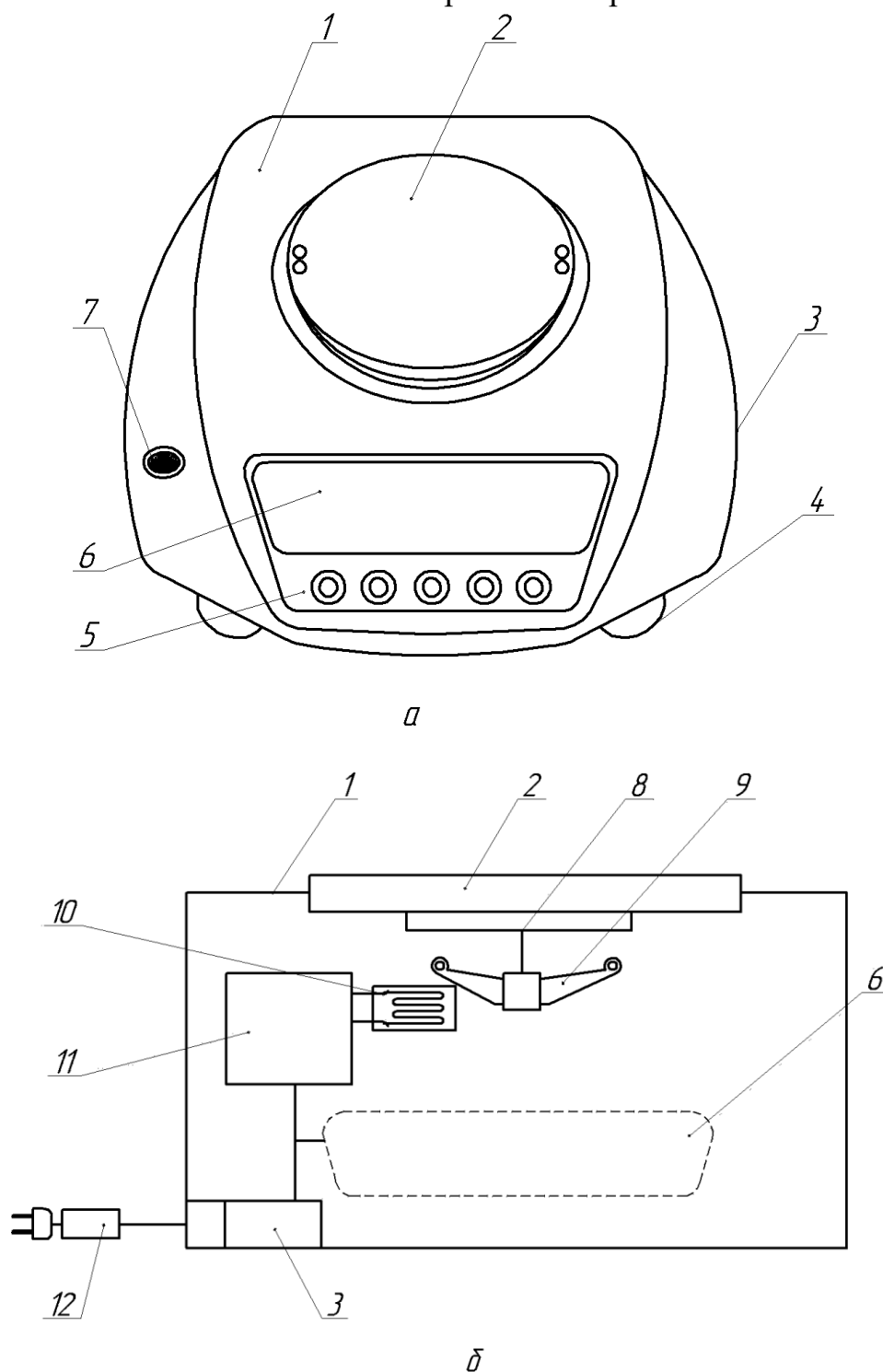


Рис.10.1. Весы АСОМ JW-1:

- 1 – корпус, 2 – платформа, 3 – выключатель, 4 – регулируемые ножки,
 5 – клавиатура, 6 – дисплей, 7 – индикатор уровня, 8 – шток,
 9 – пластинчатая пружина, 10 – тензодатчик (условное изображение),
 11 – преобразователь сигнала, 12 – адаптер переменного тока;
 а – схема (общий вид), б – принципиальная схема

Принцип действия весов основан на преобразовании усилий от взвешиваемой массы, находящейся на грузоприемной платформе 2. Под ней находится шток 8 закрепленный на корпусе 1, который перемещается вертикально, и непосредственно действует на пластинчатую пружину 9. При ее растяжении или сжатии изменяются: длина, площадь сечения и удельное сопротивление, которое регистрируется тензометрическим датчиком 10, и передается в электрический сигнал. Указанные изменения зависят от направления приложенной силы и в пределах упругости пропорциональны ей. Для обеспечения достаточных для измерения изменений сопротивления чувствительный элемент изготавливают из тонкой проволоки, наклеиваемой в виде петель с параллельными нитями на подложку из пропитанной бумаги или искусственных смол. Диаметр проволоки 20-30 мкм, что обеспечивает большое сопротивление и достаточную эластичность, позволяющую проволоке следовать за деформацией испытуемого материала. Далее установлен преобразователь электрического сигнала 11 в цифровой и передает его на дисплей 6. На точность измерения весов влияет индикатор уровня 7. Уровень представляет собой вставленную запаянную стеклянную ампулу со спиртом, пары которого образуют пузырек. При наклоне уровня пузырек перемещается в сторону приподнятого конца, следовательно, поверхность неровная. Уровень регулируется посредством позиционирования пузырька в центре окуляра ампулы.

ПОРЯДОК ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

1. Весовое исследование продукции и сырья

1. Изучить цели и задачи лабораторной работы;
2. Изучить принцип работы весов АСОМ JW-1;
3. Законспектировать в тетрадь основные аспекты лабораторной работы (название, цель, задачи, оборудование и материалы, зарисовать конструкцию весов и описать аннотировано их работу);
4. Выполнить взвешивание продукта (в данной работе – майонеза), параллельно оформляя отчет.

Удостоверьтесь, что поддон пустой и помещен точно на платформу весов, индикатор уровня соответствует ровной поверхности, на которой находятся весы. Также проверьте правильность присоединения кабеля адаптера переменного тока. Переведите выключатель в положение «ON». Весы запустят режим самопроверки дисплея, который изображен на рис. 10.2. По окончании на нем установится нулевое значение. По умолчанию при включении весов устанавливается последний использовавшийся режим взвешивания.

Изменение режимов взвешивания

Вы можете переключаться между режимами взвешивания, нажимая кнопку клавиатуры РЕЖ. Схема переключения выглядит следующим образом:

$g \rightarrow psc \rightarrow \% \rightarrow c.t \rightarrow oz \rightarrow lb \rightarrow dwt \rightarrow GN \rightarrow toz$

g – г;

psc – счетный режим;

% – процентный режим;

c.t – карат (0,2 г);

oz – коммерческая унция (28,35 г);

lb – коммерческий фунт (453,6 г);

dwt – пеннивейт (1,555 г);

GN – гран (64,8 мг);

toz – тройская унция (31,106 г).

В процессе переключения между режимами расположение разделительной точки и количество нулей после запятой будет меняться в зависимости от выбранной единицы веса и возможности весов.

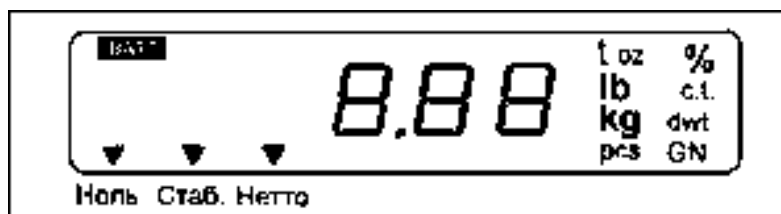


Рис. 10.2. Дисплей весов ACOM JW-1

Ноль – «ноль» установлен;

Стаб. – вес стабилен;

Нетто – вес тары учтен.

Простое взвешивание

1. Удостоверьтесь, что светятся индикаторы Ноль и Стаб.;
2. Поместите майонез на поддон;
3. После стабилизации веса считайте общую массу на дисплее и запишите ее в табл. 5.3 в кг;
4. Удалите груз с поддона.

Для точного измерения массы продукта нужно учесть массу упаковки, поэтому майонез извлекаем и отдельно взвешиваем в контейнере.

Учет веса тары

1. Удостоверьтесь, что светятся индикаторы Ноль и Стаб.;
2. Поместите используемый в качестве тары контейнер на поддон;
3. Записать массу тары в табл. 5.3;
4. После стабилизации веса нажмите кнопку Тара: значение дисплея должно быть нулевым, а индикаторы Ноль, Стаб и Нетто включены;
5. Удалите тару с поддона весов: дисплей должен показать отрицательное значение массы тары, индикаторы Ноль, Стаб и Нетто включены;
6. Поместите майонез в контейнер, используемый в качестве тары;
7. Поместите контейнер с майонезом на поддон;
8. После стабилизации веса считайте на дисплее массу продукта без потерь и запишите ее в табл. 5.3.

Взвешивание упаковки

Взвешивание упаковки производится по аналогии с простым взвешиванием. Предварительно опорожненную от продукта упаковку промывают. Это необходимо для определения потерь продукта, который остается на стенках упаковки. Записать массу упаковки в табл. 10.3.

Расчет плотности майонеза

Сделать расчет плотности майонеза по ниже приведенным формулам, записать вычисления в отчет лабораторной работы и результаты внести в табл. 5.3

Предварительно вычисляем массу потерь по формуле

$$m_{\text{пот}} = m_{\text{общ}} - m_{\text{без.пот.}} - m_{\text{упак}},$$

где $m_{\text{пот}}$ – масса майонеза, оставшаяся на стенках упаковки, кг; $m_{\text{общ}}$ – масса майонеза с упаковкой, кг; $m_{\text{без.пот.}}$ – масса майонеза без учета потерь, кг; $m_{\text{упак}}$ – масса упаковки без майонеза, кг.

Вычисляем массу продукта (майонеза) по формуле

$$m = m_{\text{без.пот.}} + m_{\text{пот}},$$

где m – масса всего майонеза находившегося в упаковке, кг.

Производим расчет плотности по формуле

$$\rho = \frac{m}{V},$$

где V – объем майонеза, содержащегося в упаковке, м³; ρ – плотность майонеза, кг/м³.

Максимальная плотность майонеза равна 1000 кг/м^3 , следовательно, качество определяется не большей плотностью.

Все проведенные измерения и вычисления сводятся в табл. 10.3.

Таблица 10.3

Сводные результаты измерений и вычислений

Параметры	Обозначения параметров	Значение параметра
Объем, м^3 *	V	
Общая масса, кг	$m_{\text{общ}}$	
Масса тары, кг	$m_{\text{тары}}$	
Масса продукта без потерь, кг	$m_{\text{без.пот.}}$	
Масса упаковки, кг	$m_{\text{упак}}$	
Масса потери (остатки на упаковке), кг	$m_{\text{пот}}$	
Масса продукта, кг	m	
Плотность, кг/м^3	ρ	
Вывод о качестве майонеза	$\rho \leq 1000$ +	
	$\rho > 1000$ –	

* – объем майонеза указанный на упаковке.

2. Дополнительные возможности весов

Счетный режим

Выполняется на примере бульонных кубиков, которые имеют массу 10 г.

1. Нажимая кнопку Реж, выберите счетный режим;
2. Удостоверьтесь, что светятся индикаторы Ноль и Стаб;
3. Нажмите кнопку Уст;
4. На дисплее появится надпись Set 10;
5. Поместите на поддон весов образец из 10 одинаковых предметов и нажмите клавишу Уст;

6. Если вес образца меньше минимального штучного веса и минимального веса образца, то весы вернут вас к п. 5, но при этом потребуется поместить на весы уже 20 предметов; при неудачи поместить 50 предметов; при неудачи поместить 100 предметов. Если после нажатия клавиши Уст более одного раза на дисплее остается надпись Set 100, значит предметы слишком легкие;

7. Если вам удалось подобрать подходящий критерий для данных предметов, то вы увидите на дисплее их количество (цифра 10);

8. Удалите образец с весов;

9. Поместите на поддон весов образец с предметами, количество которых должно быть посчитано;

10. После стабилизации веса вы можете считать на дисплее количество предметов.

Записать вывод лабораторной работы с весами АСОМ JW-1: отметить достижение цели и конкретные решения задач, представленных при постановке лабораторной работы, сделав вывод о качестве исследуемого упакованного продукта.

Содержание отчета

1. Название, цель, задачи темы, материалы и оборудование.
2. Принципиальная схема весов АСОМ JW-1.
3. Принцип действия весов.
4. Проведенные расчеты, их результаты и измерения в табл. 10.3.
5. Выводы по теме.

Библиографический список

1. . Общий курс процессов и аппаратов химической технологии : учебник для вузов : в 2 кн. Кн.1 / В. Г. Айнштейн [и др.] ; под ред. В. Г. Айнштейна М. : Физматкнига : Логос, 2006. 912 с..

2. . Калекин В. С. Процессы и аппараты химической технологии : Учебное пособие / Калекин В. С. Электрон. дан. Москва : Русайнс, 2021 458 с. Режим доступа: [book.ruInternet accesshttps://book.ru/book/942019](https://book.ru/book/942019) ISBN 978-5-4365-8668-7.

Практическая работа № 11

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ И СЫРЬЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫМ МЕТОДОМ

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

Целью данной темы является получение знаний в области люминесцентного метода исследования качества продукции и сырья предприятий химической промышленности, умений в применении специального оборудования инструментального контроля – люминоскопа «Филин», и конкретных навыков работы с ним.

Достижение поставленной цели осуществляется посредством решения следующих задач:

- приобретение теоретических знаний о люминесцентном методе исследования качества продукции и сырья;
- ознакомление с конструкцией люминоскопа «Филин», принципом его работы и применением;
- приобретение практических умений использования оборудования;
- получение навыков применения метода люминесцентного анализа;
- составление отчета по проведенному исследованию конкретной продукции.

Оборудование и материалы: люминоскоп «Филин», изделие, дистиллированная вода, чашка Петри, колбы, фильтры, воронки, мерный цилиндр, пинцет.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Люминоскоп «Филин» предназначен для определения качества продукции и методом люминесцентного анализа в лабораториях ветеринарно-санитарной экспертизы, санитарно-эпидемиологического надзора.

Люминесцентный метод исследования, отличающийся высокой чувствительностью и быстротой, находит все более широкое применение в практике ветеринарно-санитарной экспертизы санитарно-эпидемиологического надзора.

При исследовании изделий люминесцентный метод можно использовать для установления порчи и фальсификации продуктов.

Люминесцентный анализ позволяет определить начальную степень порчи продуктов питания. С его помощью нетрудно сделать заключение о качестве продуктов и, следовательно, предупредить возникновение отравлений.

В настоящее время, при возросшем импорте продовольствия и увеличении количества мелких отечественных производителей сельхозпродукции, эти простые и достаточно точные методы приобретают особую актуальность.

В табл. 11.1 приведены варианты применения люминесцентного метода исследования для различных видов продукции и сырья [34, 109, 131, 132, 134].

Таблица 11.1

Применение люминесцентного исследования для различной продукции и сырья

Вид продукта и сырья	Возможности люминоскопирования
Масла и жиры	проверка чистоты растительных масел, выявление фальсификации сливочного масла маргарином и жирами
Мясо	определение свежести говядины, выявление фальсификации рубленого мяса субпродуктами
Рыба	определение качества свежей и соленой рыбы
Молоко и молочные продукты	оценка качества молока и творога
Картофель и овощи	выявление картофеля пораженного фитофторой, выявление подмороженных овощей, оценка свежести плодов
Соки и вина	выявление фальсификации красных виноградных вин плодово-ягодными
Мука и зерно	оценка качества и определение видовой принадлежности муки и зерна

Люминесценция – свойство вещества излучать свет под воздействием возбуждающих факторов, как правило, без повышения температуры.

Различают три типа свечения: самостоятельное; вынужденное; рекомбинационное.

Самостоятельное свечение возникает вследствие образования избыточной энергии в самом веществе, *вынужденное* – при внешнем энергетическом воздействии на вещество, *рекомбинационное* – вследствие преобразования и передачи энергии внутри вещества от одной частицы к другой.

По продолжительности люминесценцию подразделяют на флюоресценцию и фосфоресценцию.

Флюоресценция – мгновенное свечение, возникающее в момент возбуждения светящегося объекта.

Фосфоресценция – длительное свечение, когда объект аккумулирует световую энергию и расходует ее в течение длительного времени.

Для возбуждения люминесценции используют ультрафиолетовые лучи. При этом происходит поглощение коротковолнового ультрафиолетового излу-

чения исследуемым веществом с последующим испусканием лучей с большей длиной волны (свечение исследуемого объекта).

Люминесцентные методы подразделяют на две группы:

1) основанные на наблюдении собственной люминесценции анализируемого вещества (сортовой анализ);

2) основанные на наблюдении возникновения или гашения люминесценции в результате взаимодействия анализируемого вещества с реактивами (химический флуоресцентный анализ).

Между обеими группами анализа – сортовым и химическим – нет резкой границы, так как химический флуоресцентный анализ при использовании его как экспресс-метода в значительной мере переходит в сортовой и наоборот.

В качестве источника ультрафиолетовых лучей используют специальные лампы накаливания или, как в люминоскопе «Филин», газоразрядные лампы.

Конструкция люминоскопа достаточно проста (рис. 6.1) и разработана согласно требованиям безопасности и современной эстетики.



Рис. 11.1. Люминоскоп «Филин»

На рис. 15.2 представлена принципиальная схема люминоскопа «Филин».

Прибор разделен на две камеры – осветительную 3 и смотровую 6.

Для выделения возбуждающего ультрафиолетового света (a) между камерами установлен фильтр 5 типа УФС, пропускающий узкую полосу спектра света (360 ± 30) нм.

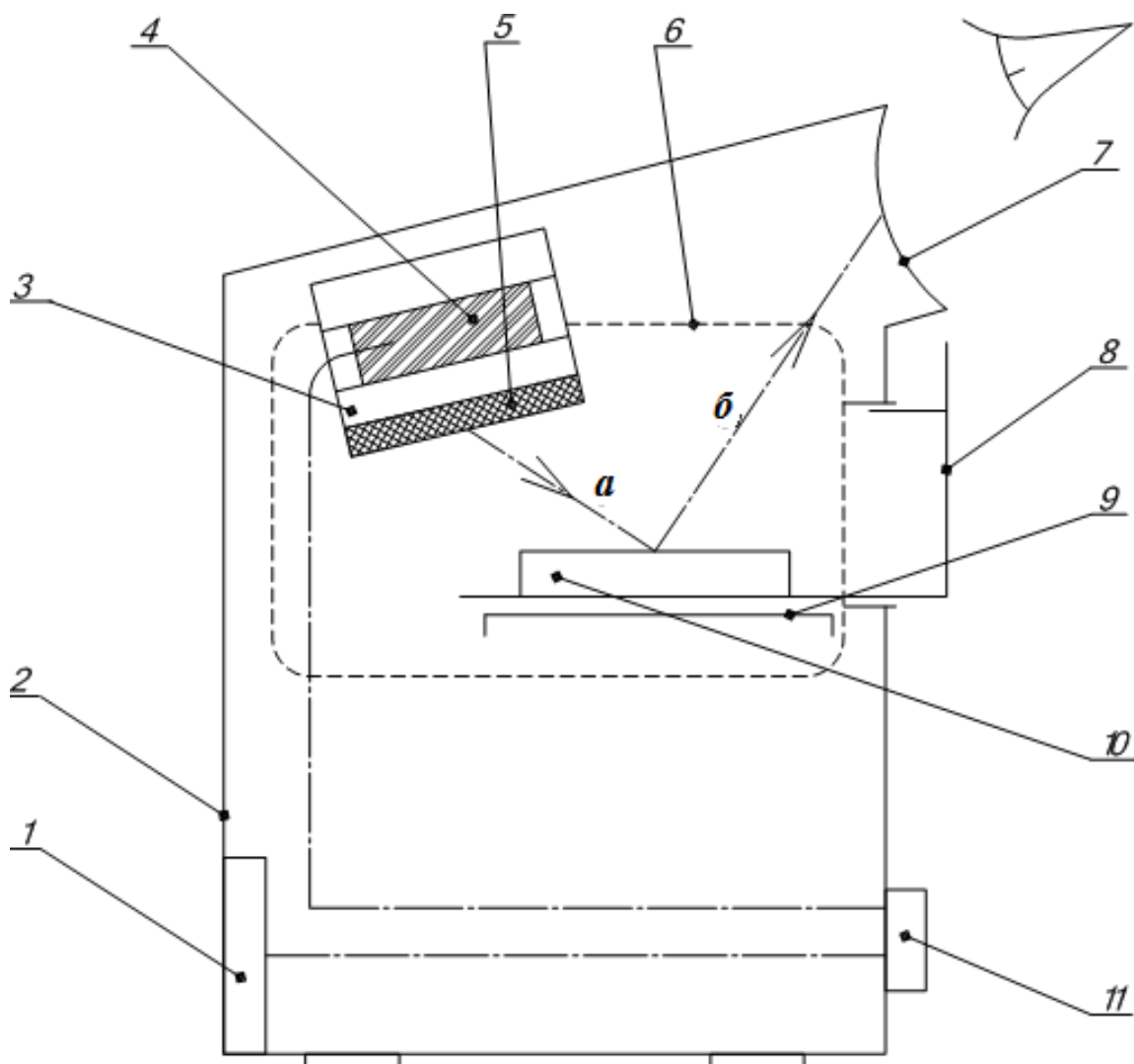


Рис. 11.2. Принципиальная схема люминоскопа «Филин» (вид сбоку):
 1 – система питания, 2 – корпус, 3 – осветительная камера,
 4 – газоразрядная лампа, 5 – фильтр возбуждения ультрафиолетового света,
 6 – смотровая камера, 7 – биокуляр, 8 – рабочая кювета,
 9 – направляющие кюветы, 10 – тара (чашка Петри),
 11 – тумблер включения;

a – ультрафиолетовый свет, *б* – свечение продукта

Для наблюдения служит биокуляр 7 с вторичным стеклянным фильтром типа БС, который не пропускает рассеянный ультрафиолетовый свет.

На передней панели прибора находится тумблер 11 включения «СЕТЬ», на задней – предохранители системы питания 1.

Прибор работает от сети переменного тока напряжением (220 ± 22) В частотой $(50 \pm 0,5)$ Гц. Основные технические характеристики люминоскопа «Филин» представлены в табл. 11.2.

В процессе эксплуатации люминоскоп не требует специального технического обслуживания.

Для включения необходимо:

- подключить прибор к сети с помощью сетевого шнура;
- поставить тумблер «СЕТЬ» в верхнее положение.

После прогрева прибора в течение двух минут можно приступать к исследованиям.

Исследуемый образец, помещенный в тару 10, кладется в рабочую кювету 8, которая по направляющим 9 задвигается в смотровую камеру 3.

Через биокуляр 7 на передней панели наблюдают свечение продукта (б).

Таблица 11.2

Основные технические характеристики люминоскопа «Филин»

Показатель	Величина
Потребляемая мощность, Вт	350
Рабочая длина волны, нм	364
УФ облученность контролируемой поверхности, мВт/см ²	5
Освещенность в помещении	любая
Габаритные размеры, мм	
длина	190
ширина	250
высота	280
Масса прибора, кг	3,7
Режим работы	повторно-кратковременный*
время работы, ч	1
пауза, мин	25

* – периодичность работы устройства обусловлена необходимостью остывания газоразрядной лампы в осветительной камере.

Принцип работы прибора базируется на свойстве веществ люминесцировать под действием ультрафиолетового излучения. В качестве источника возбуждения используется газоразрядная лампа 4 (см. рис. 6.2): КЛ 14 УФ типа 16-91. Лампа работает от сети напряжением 220 В через балластный дроссель системы питания, ограничивающий ток лампы до нужного значения.

ПОРЯДОК ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

Мясо относится к категории скоропортящихся продуктов, оно подлежит постоянному ветеринарно-санитарному контролю. Существующие методы ис-

следования мяса весьма трудоемки и недостаточно конкретны. Так, для определения летучих жирных кислот и аминокислотного азота требуется около пяти часов. Органолептические показатели субъективны.

В качестве варианта практического применения люминоскопа «Филин» предлагается определение свежести мяса. Предварительно отобранный контролируемый материал необходимо измельчить, поэтому предлагается мясо в виде фарша.

Люминесцентный же метод является наиболее простым и точным.

Анализу подвергают как срезы, так и водные экстракты мяса. Экстракты дают характерные изменения в свечении мяса свежего и несвежего (табл. 11.3). Мясной экстракт просматривают в стеклянной таре (чашках Петри).

Таблица 11.3

Примерные показатели люминесценции мяса-говядины
и мясного экстракта в зависимости от степени свежести

Степень свежести мяса – говядины	Цвет люминесценции	
	мышечная ткань	мясной экстракт
свежее	от темно-коричневого до красно-коричневого	прозрачный
несвежее	тусклый, темно-коричневый, не- равномерный, с серыми и зелеными пятнами	мутный, светло-желтый с зеленоватым оттенком

Методика исследования

1. Взять два исследуемых образца, измельченное мясо говядины, масса каждого 10 г, и поместить их в разные колбы;
2. Добавить к нему при помощи мерного цилиндра по 50 мл дистиллированной воды;
3. Настаивать 10 минут, периодически взбалтывая;
4. Подготовить люминоскоп к работе (см. общие сведения);
5. Полученные мясные растворы пропустить через двойной увлажненный фильтр;
6. Фильтраты налить в чашки Петри, которые поставить в рабочую кювету люминоскопа;
7. Кювету поместить в смотровую камеру;
8. По наблюдаемому через биокювету (защищает от ультрафиолета и позволяет наблюдать свечение) цвету люминесценции, в соответствии с данными, приведенными в табл. 6.3, сделать выводы о свежести мяса (табл. 11.4).

Содержание отчета

1. Название темы, ее цель, задачи, используемые для практического применения материалы и оборудование.
2. Предназначение, схема, принцип работы прибора.
3. Результаты исследования, выводы (см. табл. 11.4).

Таблица 11.4

Примерное оформление отчетных данных по исследованию

№ пробы	Свечение	Вывод по качеству мяса	Примечание
1	Розовое	свежее	
2	Зеленое	несвежее	

Свечение может быть отлично условно. Именно поэтому наблюдение свечения для обеих проб контролируемого материала должно осуществляться одновременно в двух разных чашках Петри.

Библиографический список

3. . Общий курс процессов и аппаратов химической технологии : учебник д вузов : в 2 кн. Кн.1 / В. Г. Айнштейн [и др.] ; под ред. В. Г. Айнштейна М. : Физматкнига : Логос, 2006. 912 с..

4. . Калекин В. С. Процессы и аппараты химической технологии : Учебное пособие / Калекин В. С. Электрон. дан. Москва : Русайнс, 2021 458 с. Режим доступа: [book.ruInternet accesshttps://book.ru/book/942019](https://book.ru/book/942019) ISBN 978-5-4365-8668-7.

Практическая работа № 12

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА И ИХ АНАЛИЗ

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

Целью данной темы является получение знаний в области ультразвукового метода исследования параметров качества продукции и сырья, умений в применении специального оборудования инструментального контроля – ультразвукового анализатора качества молока «Лактан» и конкретных навыков работы с ним.

Достижение поставленной цели осуществляется посредством решения следующих задач:

- приобретение теоретических знаний об ультразвуковом методе исследования,
- изучение конструкции ультразвукового анализатора качества молока «Лактан 1-4 МИНИ», принципа его работы и степени его использования,
- получение практических умений применения оборудования,
- исследование пастеризованного молока,
- освоение практики составления отчета по проведенному исследованию конкретного продукта.

Материалы и оборудование: ультразвуковой анализатор качества молока «Лактан 1-4 МИНИ» (для измерения массовой доли жира, белка, количества добавленной воды, СОМО, плотности), колба, стакан, воронка, палочка стеклянная длиной 100-120 мм и диаметром 1-3 мм, дозирующий элемент (шприц), молоко пастеризованное в упаковке, вода дистиллированная, моющий раствор.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Молоко – это биологически активная жидкость [9, 32, 108, 120, 128]. Показатели молока представлены в табл. 12.1.

Ультразвуковой метод исследования

Ультразвук (УЗ) представляет собой упругие волны с частотой приблизительно от 15-20 кГц до 10^9 Гц. Область частот ультразвука от 10^9 до $10^{12} \div 10^{13}$ Гц принято называть гиперзвуком. Область частот ультразвука удобно подразделять на три диапазона: ультразвук низких частот ($1,5 \cdot 10^4 \div 10^5$ Гц), ультразвук средних частот ($10^5 \div 10^7$ Гц) и область высоких частот ультразвука ($10^7 \div 10^9$ Гц). По физической природе ультразвук не отличается от обычного звука, поэтому частотная граница между УЗ и звуковыми волнами условна. Однако благодаря более высоким частотам и, следовательно, малым длинам волн имеются особенности распространения ультразвука. Ввиду малой длины волны

ультразвука характер его распространения определяется в первую очередь, молекулярной структурой среды, поэтому, измеряя скорость V и коэффициент затухания a , можно судить о молекулярных свойствах вещества. По данным V и a во многих случаях можно осуществить контроль за протеканием того или иного процесса (контроль концентрации смесей газов, состава различных жидкостей и т. п.) [133-134].

Таблица 12.1

Основные показатели качества молока

Вид молока	Показатель			
	Массовая доля жира, % не менее	Массовая доля сухого обезжиренного молочного остатка, % не менее	Массовая доля добавленной воды, %	Плотность, кг/м ³
Жирное	6	7,8	0	1024
Белковое	2,5	10,5	0	1037
Пастеризованное	2,5	8,1	0	1029

В настоящее время разработаны УЗ-приборы для анализа состава молока. УЗ-метод контроля состава молока основан на измерении изменения скоростей ультразвуковых колебаний в зависимости от массовых долей жира и сухого обезжиренного молочного остатка – СОМО в молоке, определенных при температурах t_1 и t_2 и связанных между собой следующими соотношениями:

$$v_M(t_1) = v_B(t_1) + a_1 C_{Ж} + b_1 C_0;$$

$$v_M(t_2) = v_B(t_2) + a_2 C_{Ж} + b_2 C_0,$$

где v_M , v_B – скорость ультразвука в молоке и воде, $C_{Ж}$, C_0 – массовая доля в молоке и сливках жира и СОМО соответственно, t_1 , t_2 – температуры пробы, a_1 , a_2 , b_1 , b_2 – коэффициенты.

Таким образом, измеряя скорость распространения ультразвука в одной и той же пробе молока при температурах t_1 и t_2 и, решая систему уравнений относительно $C_{Ж}$ и C_0 , получают данные о массовой доле жира и СОМО. Скорость распространения ультразвука в молоке рекомендуется измерять при $t_1 = 41\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t_2 = 65\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Как показали исследования, проведенные в ВНИМИ, измерение скорости ультразвуковых колебаний следует проводить с погрешностью не более $\pm 0,005\%$, а термостатирование пробы молока при температурах t_1 и t_2 с погрешностью $\pm 0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$.

На основе ультразвукового метода в последние годы созданы также методики измерения не только массовых долей жира и СОМО, но и белка и плотности молока.

При измерении показателей практически не требуется специальной подготовки пробы (кроме нагрева в приборе), на результаты измерений не влияют размеры жировых шариков и мицелл белка, а после анализа проба пригодна для дальнейшего использования.

С участием ВНИМИ на основе ультразвукового метода были созданы несколько поколений ультразвуковых анализаторов: прибор РАН-3 (СКВ Академии наук Эстонии), анализатор ФМУ-1 (СКВ средств аналитической техники, Украина) и анализаторы нового поколения «Лактан 1-4» и «Клевер-1М» (НПП «Сибгроприбор» и НПП «Инфраспек», Россия).

Назначение и область применения анализатора качества молока «Лактан 1-4 МИНИ»

Ультразвуковой анализатор качества молока «Лактан 1-4 МИНИ» (рис. 7.1а) предназначен для определения массовой доли жира, сухого обезжиренного молочного остатка, добавленной воды, плотности в пробе цельного свежего, консервированного, пастеризованного, нормализованного, восстановленного, обезжиренного молока и молока длительного хранения.

Массовая доля добавленной воды определяется только для натурального молока (ГОСТ 25101-82), для других типов молока показания добавленной воды будут некорректные.

Техническая характеристика ультразвукового анализатора качества молока «Лактан 1-4» МИНИ приведена в табл. 12.2 (в таблице приведены данные с использованием при калибровке проб, химический состав которых определен по методу: для жира по ГОСТ 22760-77; для СОМО по ГОСТ 3626-73; для плотности по ГОСТ 3625-84) [3, 24, 29].

Таблица 12.2

Техническая характеристика ультразвукового анализатора качества молока «Лактан 1-4» МИНИ

Измеряемый показатель	Величина показателя	Предел допускаемой основной абсолютной погрешности
Массовая доля жира, %	0,5 ÷ 9	0,1
Массовая доля СОМО, %	6 ÷ 12	0,2
Массовая доля добавленной воды, %	0 ÷ 100	5
Плотность, кг/м ³	1000 ÷ 1040	0,3
Расход молока на одно измерение, мм ³	25	—

Измеряемый показатель	Величина показателя	Предел допускаемой основной абсолютной погрешности
Кислотность, Т°	25	—
Вес, кг	1	—
Габарита, мм	130×170×220	—
Длительность одного цикла измерения, мин	3÷4	—
Автозагрузка при включении, мин	≤30	—
Питающее напряжение, В	~220	—
Рабочее напряжение, В	12	—

Анализатор состава «Лактан 1-4 МИНИ» обеспечивают измерение в молоке и сливках массовой доли жира, СОМО и плотности. Принцип действия приборов основан на зависимости скорости распространения ультразвуковых колебаний в молоке, от его состава. Объектом исследования может быть помимо цельного восстановленное молоко, консервированная проба молока, обезжиренное молоко и сливки разной жирности. В качестве консерванта для проб молока можно использовать дихромат калия. Не рекомендуется исследовать на УЗ-анализаторах нормализованное молоко, если в него введены соли (хлорида натрия, кальция и др.).

Общий вид и принцип работы анализатора

Перед началом работы прибор приводят в рабочее положение. Вставляя пазы верхней части 1 в направляющие нижней 6 и, сохраняя вертикальное положение, до отказа вдвигают ее по направляющим, направляя усилие на металлические зацепы на корпусе со стороны передней панели. Фиксируют держатель 3 и пробозаборник 4 в удобном для работы положении.

Вставляя в сетевую вилку источника питания 7 в розетку 220 В и включают анализатор. Подготовленную пробу заливают в пробозаборник 5 дозирующим устройством 17 и включают кнопку «Пуск», расположенную на панели управления 2. При этом на узел управления 16 поршневым микронасосом 12, поступает сигнал. Происходит забор пробы молока в измерительную ячейку 13, в которой в течение 1,5 мин она нагревается и термостатируется (с помощью термостата 10) при температуре 41 °С. Затем в течение 5 с при этой температуре измеряется частота генератора (пропорциональной скорости распространения ультразвука), испускаемая генератором ультразвука 11 и фиксируется датчиком ультразвука 15. После этого проба нагревается до температуры 65 °С, вновь измеряется частота генератора.

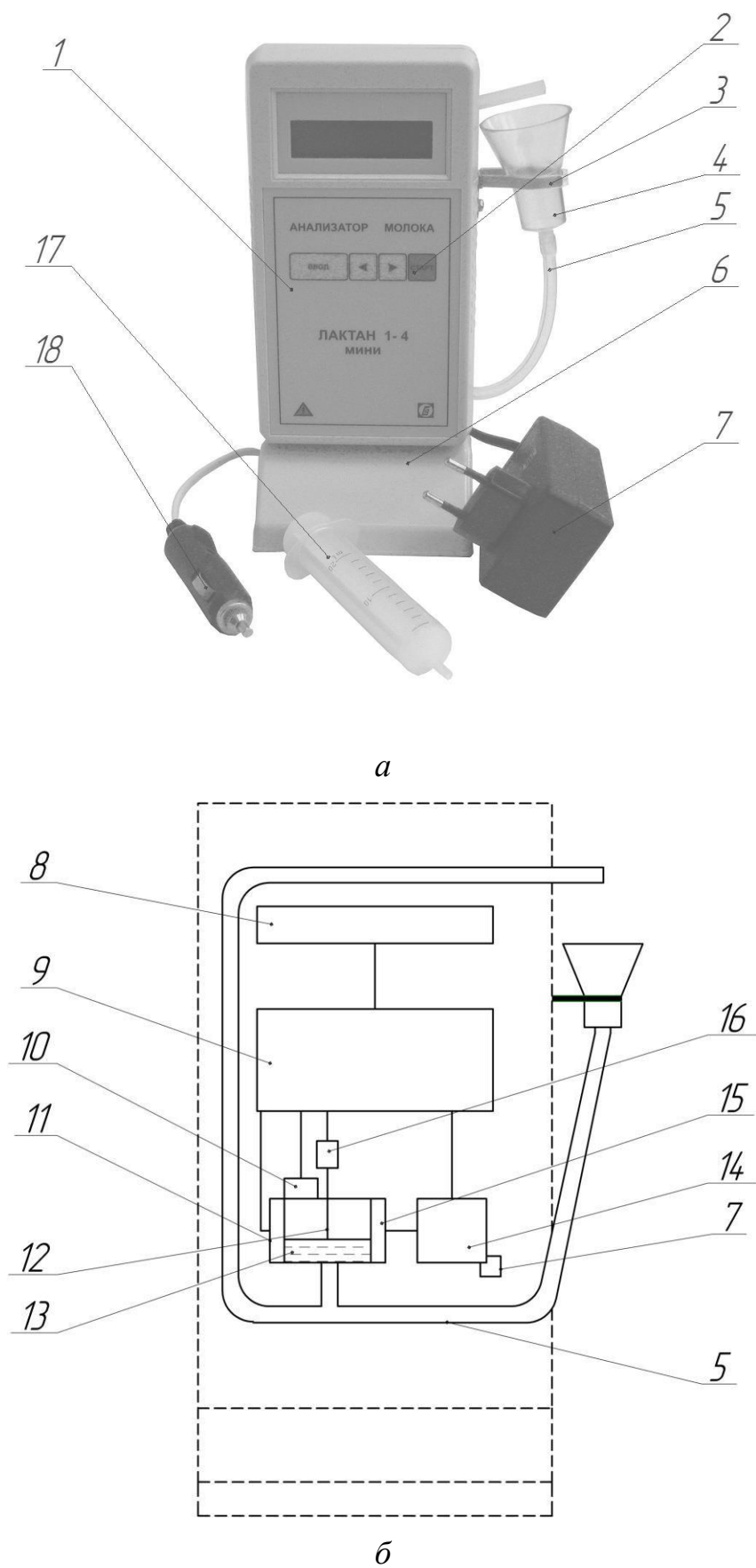


Рис. 12.1. Ультразвуковой анализатор качества молока «Лактан 1-4 МИНИ»: *а* – общий вид (фото), *б* – принципиальная схема

На рис. 7.1: 1, 6 – верхняя и нижняя часть анализатора, 2 – панель управления, 3 – держатель, 4 – пробозаборник, 5 – патрубок 7 – источник питания, 8 – дисплей, 9 – микроЭВМ, 10 – термостат, 11, 15 – генератор и датчик ультразвука, 12 – поршневой микронасос, 13 – измерительная ячейка, 14 – преобразователь сигнала ритма, 16 – узел управления микронасосом, 17 – дозирующее устройство, 18 – кабель для питания от бортовой сети автомобиля (12 В).

Результаты измерений поступают в преобразователь сигнала ритма 14, где происходит замер параметров ультразвуковых колебаний, а затем в микроЭВМ 9. По значениям найденных частот микроЭВМ вычисляет массовые доли жира СОМО, количество добавленной воды и плотности, значения которых отображается на дисплее 8. После определения массовых долей молоко сливается в стакан с пробой.

По окончании работы выключают источник питания и промывают анализатор следующим образом. Опускают пробозаборник в емкость с моющим раствором, приготовленном заранее с концентрацией 1:20 и подогретым до температуры 50-55 °С. В качестве емкости для моющего раствора можно использовать стакан или банку вместимостью не менее 200 см³.

Подсоединяют шприц 17, входящий в комплект прибора, в сжатом положении к патрубку 5 и, прокачивая 5-7 раз шприцем моющий раствор через измерительную камеру анализатора, промывают прибор. Затем таким же образом промывают анализатор дистиллированной или чистой прокипяченной водой (температура 50-55 °С), меняя воду на чистую не менее 3 раз.

Также в комплект прибора входит кабель для питания от бортовой сети автомобиля 18, благодаря которому можно производить анализ молока частых производителей на месте приемки удоя.

Схематично устройство анализатора показано на рис. 12.1б.

Меры предосторожности

Ультразвуковой анализатор качества молока «Лактан 1-4 МИНИ» несмотря на простоту конструкции, требует определенных мер предосторожности при проведении экспериментов:

1. Следует избегать резких ударов;
2. Не допускать перегибов патрубка;
3. Запрещается использовать для анализа жидкости, не предусмотренные назначением устройства, горючих и легковоспламеняющихся веществ;
4. Не разбирать и не вскрывать прибор;
5. Не использовать вблизи источников тепла и электромагнитного излучения;
6. Избегать попадания прямых солнечных лучей;
7. Осуществить обязательную промывку устройства после завершения экспериментов, специальным моющим раствором, предоставляемым преподавателем.

ПОРЯДОК ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

Подготовка пробы

Перед проведением эксперимента на ультразвуковом анализаторе «Лактан 1-4», пробу необходимо подготовить. Для этого, тщательно смешанное пастеризованное молоко выливают в лабораторный стакан и перемешивают стеклянной палочкой, либо переливают из сосуда в сосуд (не менее 3-х раз) Затем проба должна некоторое время термостатироваться до температуры $(22 \pm 4)^{\circ}\text{C}$, после чего молоко готово для опыта.

Подготовка анализатора

Для того чтобы приступить к работе, ультразвуковой анализатор молока «Лактан 1-4» источником питания подключают к электрической цепи. Затем необходимо дождаться автозагрузки прибора (до 30 мин). Об окончании автозагрузки будет свидетельствовать надпись «Залейте пробу», появившееся на дисплее передней панели анализатора.

Проведение эксперимента

Для начала эксперимента заранее подготовленную пробу набирают в специальное дозирующее устройство (шприц) и наливают в пробозаборник. После чего необходимо нажать кнопку «Пуск», находящуюся на панели управления с передней стороны анализатора. Прибор автоматически произведет забор молока, в том количестве, которое необходимо для проведения анализа. Все исследование проводится автоматически и не требует механического воздействия. Среднее время продолжительности измерения составляет 3-4 минуты. Об окончании эксперимента будет свидетельствовать звуковой сигнал. По завершению анализа показатели, появившиеся на дисплее (рис. 12.2) необходимо занести в табл. 6.3. Величина плотности при этом следует увеличить на 10 0 0 .

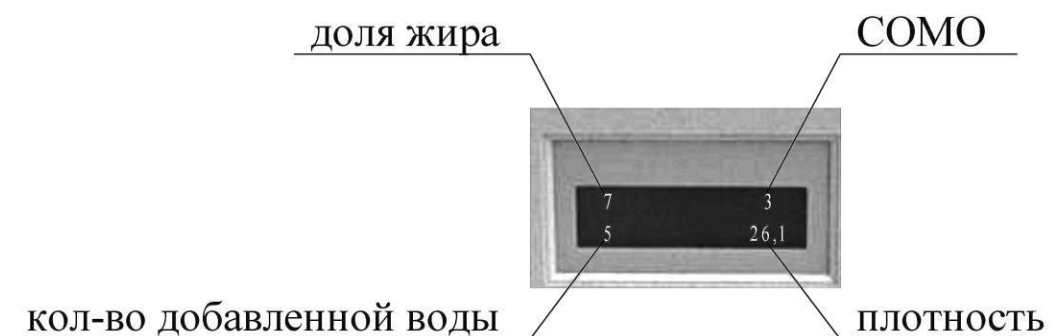


Рис. 7.2. Расположение на дисплее основных измеряемых параметров

Удаление пробы

После окончания эксперимента необходимо слить отработанный материал из пробозаборника в стакан. Для этого одной рукой придерживая анализатор, другой необходимо освободить воронку пробозаборника из разъема держателя. Затем осторожно отгибая гибкий патрубок пробозаборника, опорожнить содержимое воронки в приготовленный для этого стакан.

Таблица 12.3

Сводная таблица результатов измерений

№№ проб	Массовая доля жира, %	Массовая доля сухого обезжиренного молочного остатка, %	Массовая доля добавленной воды, %	Плотность, $\text{кг} / \text{м}^3$
	< Ж >	< С >	< В >	< П >
1				
2				
3				
4				
5				
Среднее значение				

После удаления пробы опыт повторяется аналогично еще для 4-х проб. Данные обо всех последующих анализах также заносятся в табл. 12.3.

Мойка анализатора молока «Лактан 1-4 МИНИ»

После проведения всех экспериментов прибор, во избежание его поломки, необходимо тщательно промыть. Для этого необходимо строго соблюдать следующие действия:

- перед мойкой источник питания обязательно необходимо вынуть из сетевой розетки. Вначале осуществляется предварительная промывка анализатора обычной водой. Для этого воду набирают в предварительно вымытое дозирующее устройство (шприц), и наливают в пробозаборник. После нажатия кнопки «Пуск», осуществляется автоматическая промывка анализатора. Отработанную воду необходимо опорожнить в лабораторный стакан. Затем операцию необходимо повторить еще несколько раз. Мойка осуществляется до тех пор, пока показатели на дисплее прибора не будут равны нулю, кроме значения количества добавленной воды, показатель которой должен равняться 10 0. Гибкий патрубок приводить в первоначальное положение не требуется.

- затем осуществляется воздушная продувка анализатора. Для этого, тщательно вымытое дозирующее устройство (шприц) вставляют в отверстие верхнего выхода гибкого патрубка, располагающегося непосредственно над воронкой пробозаборника. Затем нажатием на шприц, необходимо «выдуть» всю жидкость, находящуюся внутри прибора. После чего, дозирующее устройство необходимо вынуть из верхнего отверстия гибкого патрубка, а пробозаборник привести в начальное положение.

- после воздушной продувки проводится окончательная промывка анализатора. Для этого пробозаборник опускают в емкость с моющим раствором, приготовленном заранее с концентрацией 1:20 . В качестве емкости для моющего раствора используют стакан. После подсоединяют шприц, в сжатом положении к патрубку и, прокачивая 5-7 раз шприцем моющий раствор через измерительную камеру анализатора, промывают прибор. Затем таким же образом промывают анализатор дистиллированной или чистой прокипяченной водой, меняя воду на чистую не менее 3 раз.

Анализ результатов измерений

По результатам пяти экспериментов строится зависимость величин параметров качества от номера опыта (рис. 12.3).

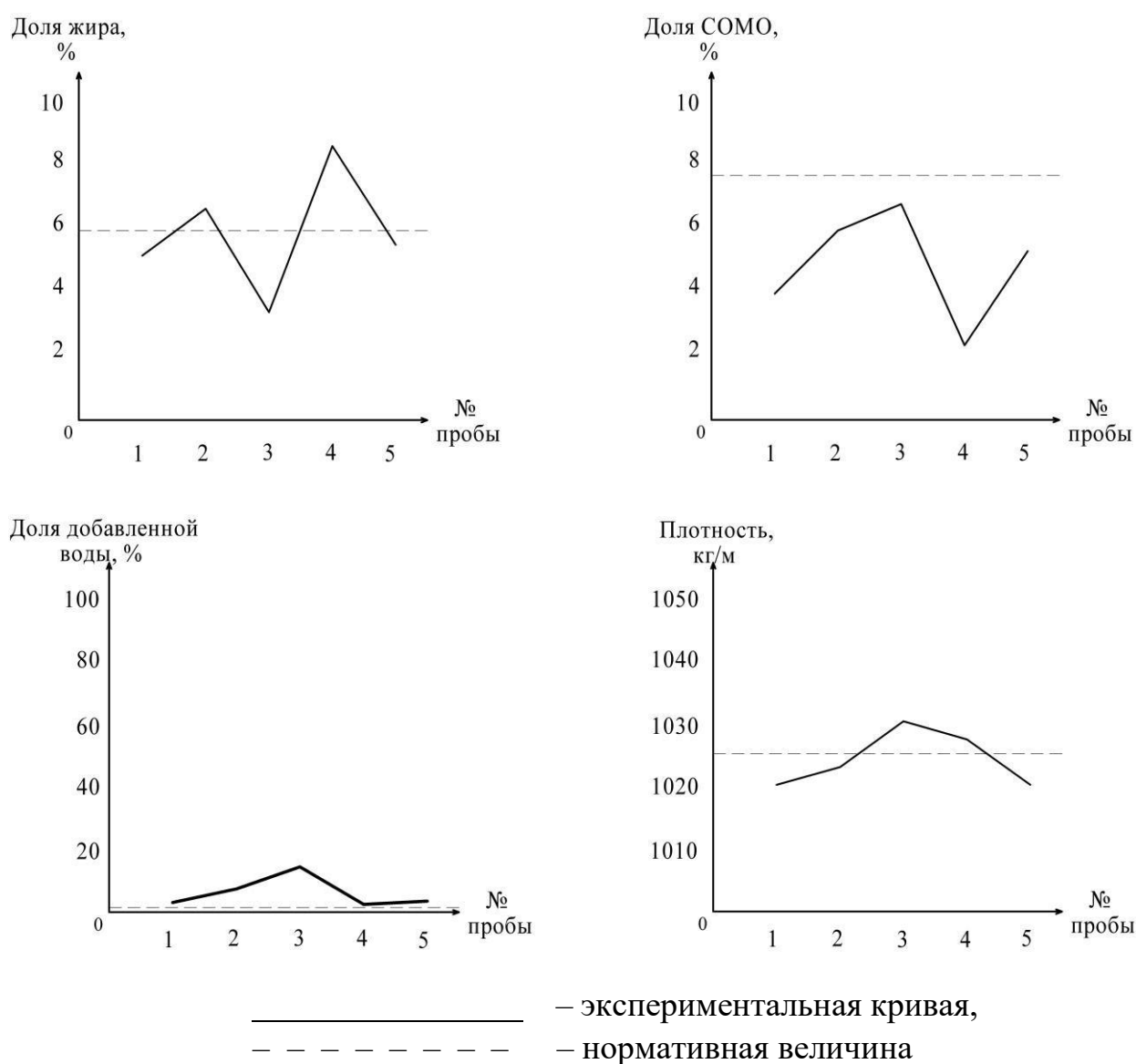


Рис. 12.3. Графики изменения контролируемых параметров в сравнении с нормативными показателями (интерпретация)

Такие зависимости графически отображаются по всем четырем определяемым устройством «Лактан 1-4 МИНИ» значениям. Для проведения анализа на каждой графике отмечается и нормативная величина.

По имеющимся значениям параметров качества молока (см. табл. 12.3), с использованием графических отображений (см. рис. 12.3) и в соответствии с нормативами (см. табл. 12.1) делается вывод о качестве исследуемого молока – вывод по занятию.

Содержание отчета

1. Название темы, ее цель, поставленные задачи, используемые материалы и оборудование.
2. Предназначение, схема, принцип работы прибора.
3. Результаты исследования, таблица 12.3.
4. Графики (пример построения рис. 12.3).
5. Выводы по теме.

Библиографический список

1. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии : учебник для вузов : в 2 кн. Кн.1 / В. Г. Айнштейн [и др.] ; под ред. В. Г. Айнштейна. М. : Физматкнига : Логос, 2006. 912 с..
2. Калекин В. С. Процессы и аппараты химической технологии : Учебное пособие / Калекин В. С. Электрон. дан. Москва : Русайнс, 2021 458 с. Режим доступа: [book.ruInternet accesshttps://book.ru/book/942019](https://book.ru/book/942019) ISBN 978-5-4365-8668-7.