

$$\alpha_{\text{кон}} = 1018 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К});$$

– для конденсата в зоне охлаждения

$$\alpha_{\text{охл}} = 686 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}).$$

Коэффициенты теплопередачи для зон конденсации и охлаждения для четырехходового конденсатора соответственно составили:

$$K_{\text{кон}} = 603 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К});$$

$$K_{\text{охл}} = 488 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}).$$

Требуемая для конденсации и последующего охлаждения паровой смеси площадь поверхности теплообмена четырехходового аппарата составила  $F_{\text{общ}} = 206 \text{ м}^2$ , что не превышает фактической площади поверхности.

Видно, что при числе ходов по трубному пространству равном 2 не выполняется

условие  $F_{\text{общ}} < F_{\text{факт}}$  (рисунок 4), что объясняет недостаточную эффективность действующего конденсатора. С увеличением числа ходов это условие выполняется за счет существенного увеличения коэффициентов теплоотдачи от теплоносителя в трубном пространстве и коэффициентов теплопередачи.

Таким образом, по результатам расчетов можно сделать вывод, что изменение числа ходов паровой смеси по трубному пространству с 2 до 4 является рациональным вариантом реконструкции аппарата. Такая модернизация не потребует существенных материальных затрат и позволит решить актуальную для предприятия проблему.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щербин, С. А. Определение эксплуатационных затрат на кожухотрубчатый теплообменник / С. А. Щербин, А. А. Глотов // Сборник научных трудов АнГТУ. – 2020. – № 17. – С. 140-144.

2. Иоффе, И. Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии / И. Л. Иоффе. – Ленинград : Химия, 1991. – 351 с.

УДК 66.063.8

*Щербин Сергей Анатольевич,*  
к.т.н., доцент, декан факультета технической кибернетики,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: dekan\_fik@angtu.ru

*Глотов Валерий Андреевич,*  
обучающийся гр. ТМм-24-1, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: valera.glotov.2002@mail.ru

## О СОВМЕЩЕНИИ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ И ДИСПЕРГИРОВАНИЯ

*Shcherbin S.A., Glotov V.A.*

### ON THE COMBINATION OF MIXING AND DISPERSION PROCESSES

**Аннотация.** Рассматриваются особенности применения диссольверов для совмещения процессов перемешивания и диспергирования.

**Ключевые слова:** диссольвер, перемешивание, измельчение, диспергирование, гомогенизация.

**Abstract.** The features of the use of dissolvers for combining mixing and dispersion processes are considered.

**Keywords:** dissolver, mixing, grinding, dispersion, homogenization.

Перемешивание широко применяется в химической и других отраслях промышленности для получения однородных смесей, а также для увеличения поверхности контакта фаз при проведении химических реакций,

массообменных процессов и для интенсификации теплообмена.

Выбор способа перемешивания и аппаратуры для его проведения определяется целью перемешивания, агрегатным состоянием и свойствами перемешиваемых материалов,

производительностью технологической линии, температурными параметрами процесса и давлением, при котором процесс осуществляется. Такое многообразие факторов, влияющих на выбор конструкции, затрудняет задачу оптимального проектирования аппаратов. Различают следующие основные способы перемешивания в жидких средах: механическое, пневматическое, гидродинамическое и перемешивание с помощью ультразвука.

Механическое перемешивание проводится в аппаратах, состоящих, как правило, из корпуса, перемешивающего устройства и его привода, и носящих общее название аппаратов с мешалками. В частных случаях эти аппараты могут называться реактором, автоклавом и т. п.

Мешалки являются основными рабочими элементами аппаратов для перемешивания. При выборе конструкции мешалки следует отдавать предпочтение стандартизованным вариантам, описанным в нормативной литературе [1, 2].

Практический интерес представляет совмещение процесса перемешивания с диспергированием – тонким измельчением твердых или жидких частиц. Осуществление этих процессов при помощи одного перемешивающего устройства в одном аппарате, называемом диспергатором или диссольвером, позволяет значительно уменьшить продолжительность технологического процесса и капитальные затраты на оборудование за счет исключения мельниц.

Можно отметить, что диспергирование твердой фазы является весьма затратным и энергоемким процессом, значительно влияющим на свойства и себестоимость выпускаемой продукции, которая зависит от реализуемой степени измельчения.

Известно [3], что для диспергирования и гомогенизации можно использовать мешалки, обеспечивающие высокие напряжения сдвига. Наиболее простой мешалкой рассматриваемого типа является диск (рисунок 1, а), который может работать при высоких окружных скоростях (5–35 м/с). Энергия перемешивания передается жидкости в непосредственной близости от диска в результате трения диска о жидкость (рисунок 1, б). Ввиду больших окружных скоростей вокруг диска возникают большие градиенты скоростей, что приводит к возникновению высоких напряжений сдвига. Происходят явления,

аналогичные тем, которые имеют место в коллоидных мельницах.

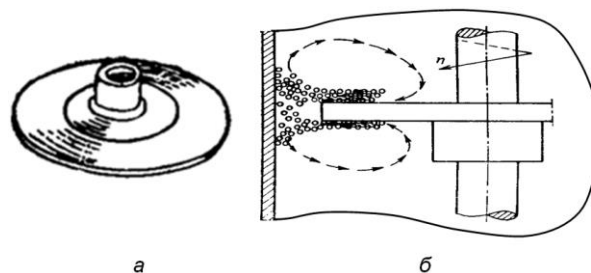


Рисунок 1 – Мешалки, создающие высокие напряжения сдвига: а – гладкий диск; б – принцип действия дисковой мешалки.

Дополнительный эффект сдвига может быть получен, если по окружности диска сделать соответствующие надрезы. Например, стандартные зубчатые мешалки (рисунок 2) конструктивно схожи с дисковой пилой или фрезой и могут применяться не только для перемешивания, но и для диспергирования твердых частиц в жидкости и гомогенизации суспензий. Размер твердых частиц в суспензии после диспергирования зависит от многих факторов и, как правило, колеблется в пределах от 60 до 90 мкм [4].

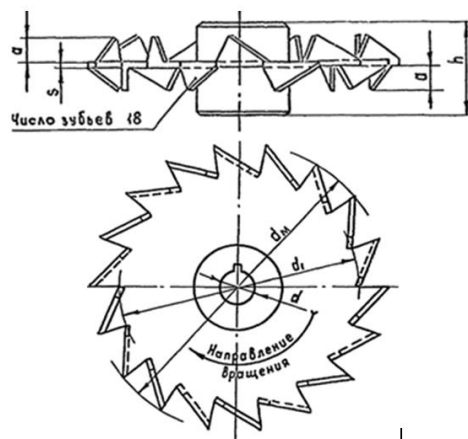


Рисунок 2 – Зубчатая мешалка

Высота  $a$  и диаметр основания зубьев  $d_1$  связаны с диаметром мешалки  $d_m$  соотношениями  $a=0,1d_m$ ;  $d_1=0,8d_m$ . Остальные размеры указаны в [1].

Соотношение суммарных площадей лобовых поверхностей лопастей на верхней и нижней сторонах диска (отношение числа лопастей на верхней и нижней сторонах диска) рекомендуется принимать равным 5:3.

Несмотря на то, что диссольверы схожи по конструкции с аппаратами с механиче-

скими вращающимися мешалками, для их работы требуются двигатели значительно больших мощностей, чем у обычных смесителей. Разница мощности двух установок основана на разном предназначении оборудования. Диссоolver используется, прежде всего, для процесса диспергирования твердых частиц в жидкость, т.е. для их измельчения. Если для образования суспензии твердых частиц в жидкость при смешении двух фаз затрачиваемая удельная мощность в среднем составляет 1 Вт/кг, то при измельчении ее значение изменяется в диапазоне от 10 до 100 Вт/кг. Если мощность устройства недостаточна, то происходит перемешивание суспензии без измельчения твердой фазы.

Еще одной особенностью диссоolverов дискового типа является слабая циркуляция жидкости в сосуде и малая зона действия зубчатой мешалки. Так как измельчение происходит только в зоне фрезы, необходимо обеспечение циркуляции двухфазной среды через зону измельчения. С этой целью в аппарате устанавливают дополнительные мешалки [5], как правило, винтовые, шнековые или с наклонными лопастями, которые могут иметь отдельный привод (рисунок 3). Однако это приводит к существенному удорожанию конструкции аппарата, усложнению его обслуживания и возрастанию энергозатрат на перемешивание.

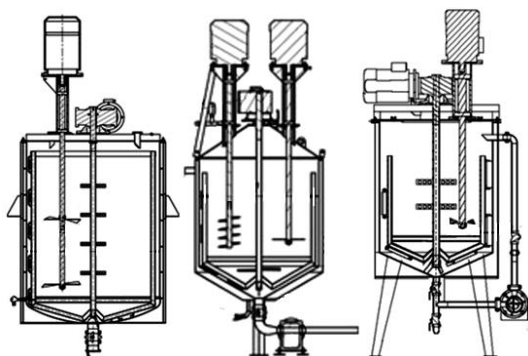


Рисунок 3 – Варианты исполнения промышленных диссоolverов

В некоторых случаях используют многоярусные перемешивающие устройства, у которых на одном валу закрепляют несколько дисков на разной высоте.

При наличии теплообменной рубашки для увеличения коэффициента теплоотдачи к перемешиваемой среде и предотвращения отложения осадка на внутренней поверхно-

сти аппарата используют якорные и рамные мешалки.

Для организации осевой циркуляции жидкости в аппарате и предотвращения осаждения твердой фазы на дно также можно использовать циркуляционный насос совместно с эжектором (эдуктором), установленным на входе жидкости в аппарат. Это позволяет увеличить кратность циркуляции жидкости в 4-5 раз (рисунок 4).

Правильно подобранный диссоolver должен обеспечить возможность получения продукта не только с низкой величиной среднего диаметра частиц, но также и с узким распределением их размеров. Совмещение функций измельчения и перемешивания в диссоolverах гарантирует высокое качество конечного продукта.

Большое значение для эффективности процесса диспергирования имеет величина окружной скорости вращения диска. Введение твердой фазы в систему целесообразно проводить на малых скоростях. При диспергировании скорость вращения фрезы должна быть такой, чтобы образовалась воронка, в основании которой было бы видно основание фрезы.

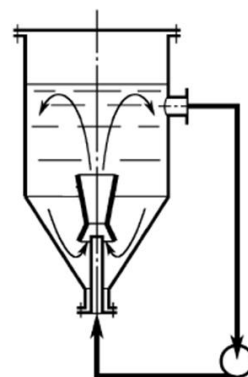


Рисунок 4 – Использование эдуктора для организации циркуляции жидкости

На эффективность процесса при прочих равных условиях (окружная скорость фрезы, наполнение и вязкость суспензии) также значительное влияние оказывают конфигурация и соотношения геометрических размеров всей измельчающей системы. Согласно [4], геометрические пропорции системы диспергирования сопоставляются с диаметром мешалки  $d_m$  следующим образом (рисунок 5):

– диаметр аппарата

$$D = (1,30 \div 3,00)d_m;$$

– оптимальный диаметр аппарата

$$D_{\text{опт}} = (2,00 \div 2,50)d_M;$$

– расстояние от фрезы до дна аппарата

$$h = (0,25 \div 0,50)d_M;$$

– статистическая высота суспензии

$$h_{\text{ст}} = (0,50 \div 1,50)d_M.$$

При выполнении вышеперечисленных кинетико-геометрических условий и обеспечении достаточно высокой вязкости суспензии в диссольвере, двухфазная среда подвергается специальному режиму течения “doughnut” (пончик), при котором среда ускоряется наружу от острия диска диспергатора (рисунок 5). При ударе о стенку сосуда поток делится на две части. Та, что движется вниз, течет обратно к середине диска диспергатора вдоль дна сосуда и снова поднимается, повторно попадая в зону измельчения. В рамках контуров циркуляции масса многократно протекает через зону измельчения фрезы, а находящиеся в ней агломераты подвергаются постепенному измельчению.

При необходимости последовательной обработки нескольких пигментных паст целесообразно использовать поворотные диссольверы.

В стандартном исполнении такой диссольвер способен поворачиваться на 180°, хотя существуют модели для работы с двумя, тремя, четырьмя емкостями, обеспечивающие поворот вала диссольвера на угол до 360°.

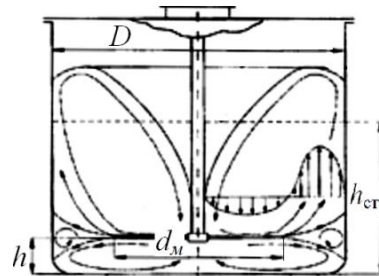


Рисунок 5 – Режим течения жидкости “doughnut” в диссольвере

Стоимость поворотных диссольверов превышает стоимость стационарных аналогов. Однако, при необходимости диспергирования различных реагентов в двух, трех или четырех стационарных емкостях, один поворотный диссольвер обойдется дешевле, нежели несколько стационарных. Кроме того, следует принимать в расчет и экономию производственных площадей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. АТК 24.201.17-90. Мешалки. Типы, параметры, конструкция, основные размеры и технические требования.

2. ГОСТ 20680-2002. Аппараты с механическими перемешивающими устройствами. Общие технические условия.

3. Стренк, Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками: Пер. с польск. / Под ред. И. А. Шупляка. – Л. : Химия, 1975. - 384 с.

4. Рыбин, Н. В. Подбор диспергирующего оборудования для производства пиг-

ментированных лакокрасочных материалов / Н. В. Рыбин. – Текст : электронный // Технология производства ЛКМ. – 2022. – URL: [https://www.himtek-yar.ru/useful/lkm\\_technology/1669/](https://www.himtek-yar.ru/useful/lkm_technology/1669/) (дата обращения: 28.10.2024).

5. Диссольверы / – Текст : электронный // НПО АГРОМАШ. – URL: <https://www.agromash.ru/AGROMASH/PISHEVOE/Dissolver.html?ysclid=m3gwbtflor310556626> (дата обращения 28.10.2024).