

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКОГО ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ПРИ ЛАМИНАРНОМ ПЕРЕМЕШИВАНИИ

С.В. Карпушкин¹, Н.А. Сержантова², В.В. Истомин², И.А. Посысаев¹

Кафедра «Автоматизированное проектирование технологического оборудования», ГОУ ВПО «ТГТУ» (1); кафедра «Информационные технологии и менеджмент в медицинских и биотехнических системах», ГОУ ВПО «Пензенская государственная технологическая академия» (2); г. Пенза; karp@mail.gaps.tstu.ru

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: вертикальные емкостные аппараты; выбор оптимальной конструкции механического перемешивающего устройства; гидродинамическая обстановка; параметры качества перемешивания.

Аннотация: Предложена математическая постановка и метод решения задачи выбора оптимальной конструкции механического перемешивающего устройства вертикального емкостного аппарата с учетом условий обеспечения приемлемой гидродинамической обстановки и требуемого качества перемешивания при ламинарном режиме.

Задача выбора оптимальных параметров механического перемешивающего устройства (МПУ) вертикального емкостного аппарата (реактора, емкости для получения растворов, суспензий, эмульсий) возникает при выборе и реконструкции аппаратного оформления технологических систем химических, фармацевтических, пищевых производств. Эта задача особенно актуальна для многоассортиментных химических производств, например производств синтетических красителей и полупродуктов, так как емкости с МПУ составляют около 70 % парка их основного оборудования, а ассортимент выпускаемой продукции часто меняется, так что в разные периоды эксплуатации эти аппараты могут входить в состав различных технологических систем и использоваться для осуществления разных процессов. Любые изменения параметров реализуемых процессов требуют проведения расчетов, подтверждающих возможность использования аппарата в новых условиях. Одной из основных проблем при этом является оценка пригодности имеющегося перемешивающего устройства для создания необходимой гидродинамической обстановки и обеспечения требуемого качества перемешивания. Математическая постановка, метод и алгоритм решения этой задачи для турбулентного режима перемешивания рассмотрены в [6]. Предполагаемая методика автоматизированного расчета и выбора параметров конструкции МПУ, разработана на базе монографии [1] и документа [2] для ламинарного перемешивания, которое нередко применяется в производствах органического синтеза.

Основными параметрами конструкции МПУ являются:

– тип мешалки, который определяет методику расчета параметров ламинарного перемешивания (якорная, рамная, ленточная или шнековая) и ее диаметр d_M ;

– диаметр d вала перемешивающего устройства и частота его вращения n ;
 – параметры мешалок: число горизонтальных траверс рамной и ленточной мешалок n_T , шаг между траверсами ленточной мешалки l_T и число ее лопастей n_L , высота шнековой мешалки H_M и шаг винтовой линии лопасти t_L .

Задача формулируется следующим образом: выбрать тип, диаметр мешалки, диаметр и частоту вращения вала привода из ряда стандартных значений, параметры мешалки, которые обеспечивают приемлемую гидродинамическую обстановку в аппарате и требуемое качество перемешивания при минимальных приведенных затратах на МПУ.

Для оценки приведенных затрат предлагается использовать сумму амортизации затрат на мешалки, вал и мотор-редуктор, а также затрат на электроэнергию, потребляемую устройством в течение года

$$Z = Ek [s_M + s_B(j_B, d, L_2) + s_P(t_P, n_P, N_P, M_P)] + s_3(T_{П}, N), \quad (1)$$

где s_M – стоимость мешалки (для якорной $s_M = s_M(j_M, d_M)$; для рамной $s_M = s_M(j_M, d_M, n_T)$; для ленточной $s_M = s_M(j_M, d_M, n_L, n_T, l_T)$; для шнековой $s_M = s_M(j_M, d_M, H_M, t_L)$); Ek – нормативный коэффициент окупаемости для оборудования (0,15); j_M – признак материала, из которого изготовлена мешалка (сталь, титановый сплав); $s_B(j_B, d, L_2)$ – зависимость стоимости вала устройства от материала, из которого он изготовлен j_B , его диаметра и длины L_2 , определяемой высотой корпуса аппарата, конструкцией стойки привода [4], и высотой расположения мешалки над днищем; $s_P(t_P, n_P, N_P, M_P)$ – зависимость стоимости мотор-редуктора от его типа t_P , частоты вращения выходного вала n_P , мощности электродвигателя N_P и крутящего момента на выходном валу M_P ; $s_3(T_{П}, N)$ – затраты электроэнергии за время работы перемешивающего устройства в течение года $T_{П}$, которое определяется нормами режима реализации конкретного процесса и календарным планом работы оборудования [5]; N – мощность, необходимая для осуществления перемешивания, расчет которой осуществляется согласно [1, 2].

Необходимо выбрать значения параметров МПУ, при которых функция (1) достигает минимума и выполняются нижеследующие ограничения.

1. На параметры мешалки и гидродинамическую обстановку в аппарате

$$d_M \in Sdm_k, \quad (2)$$

где Sdm_k – множество значений диаметров стандартных мешалок типа k , например, для шнековой: 0,4; 0,56; 0,71; 0,8; 1,0; 1,12; 1,25 м;

$$G_{D*} \leq G_D \leq G_D^*, \quad (3)$$

где G_{D*} , G_D^* – граничные значения критерия гидродинамического подобия (отношения диаметров аппарата и мешалки $G_D = D/d_M$) для мешалки выбранного типа, например, для шнековой $G_{D*} = 1,8$; $G_D^* = 5$:

$$n_T \in \begin{cases} \{2, 3, 4\} & \text{– для рамной мешалки;} \\ \{3, 4, 5\} & \text{– для ленточной мешалки,} \end{cases} \quad (4)$$

$$n_L \in \{1, 2\}; \quad (5)$$

$$H_M \leq H, \quad (6)$$

где H – высота заполнения аппарата; H_M – высота мешалки (для ленточной $H_M = (n_T - 1)l_T$);

$$t_{\text{л}} = \begin{cases} 2L_{\text{T}} - \text{для ленточной мешалки;} \\ k_{\text{ш}} H_{\text{M}} - \text{для шнековой мешалки,} \end{cases} \quad (7)$$

где $k_{\text{ш}} \in [0,25; 0,33; 0,5; 1]$ – возможные значения отношения шага винтовой линии лопасти шнековой мешалки к ее высоте.

2. На частоту вращения вала перемешивающего устройства и его диаметр

$$n \in Sn_{\text{p}}, \quad (8)$$

где Sn_{p} – множество стандартных значений частот вращения выходных валов мотор-редукторов (0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,63; ...; 100; 125; 160; 200; 250; 315, мин^{-1});

$$d \in D_{\text{в}}, \quad (9)$$

где $D_{\text{в}}$ – множество стандартных значений диаметров валов механических перемешивающих устройств: 25, 40, 50, 65, 80, 95, 110, 130 мм [3, 4];

$$d \geq \sqrt{A_1 + \sqrt{A_1^2 + A_2}}, \quad (10)$$

где A_1, A_2 – вспомогательные расчетные комплексы [3];

$$2\pi n / \omega_{\text{кр}}^1 \leq \xi, \quad (11)$$

где $\omega_{\text{кр}}^1$, ξ – первая критическая угловая скорость вала и константа условия его виброустойчивости [3];

$$\Delta_z^Q \leq \Delta_z^{\text{доп}}, \quad (12)$$

где Δ_z^Q , $\Delta_z^{\text{доп}}$ – динамическое смещение вала в опасном по жесткости сечении и его допустимое значение [3];

$$n_{\text{п}} \geq n_{\text{п}}^{\text{доп}}, \quad (13)$$

где $n_{\text{п}}$, $n_{\text{п}}^{\text{доп}}$ – запас прочности в опасном сечении вала по прочности и его допустимое значение [3].

3. На характеристики мотор-редуктора

$$NK_{\text{п}} \leq N_{\text{p}}, \quad (14)$$

где $K_{\text{п}}$ – коэффициент пусковых перегрузок: $K_{\text{п}} = 1,5$ при $G_D > 1,5$ и $K_{\text{п}} = 2$ при $G_D \leq 1,5$;

$$M_{\text{p}} \geq N / (2\pi n); \quad (15)$$

$$n_{\text{p}} \geq n, \quad (16)$$

где $n_{\text{п}}$ – частота вращения выходного вала мотор-редуктора.

4. На время гомогенизации перемешиваемой среды (характеристика качества перемешивания)

$$\tau_{\eta} \leq \tau_{\text{зад}}, \quad (17)$$

где расчетное время гомогенизации τ_{η} определяется с использованием значений параметров циркуляции перемешиваемой среды при ламинарном режиме [1, 2].

Задача (1) – (17) относится к классу задач дискретной оптимизации, поскольку значения определяемых параметров конструкции МПУ выбираются из числа стандартных. Число стандартных значений диаметров валов перемешивающих устройств, параметров конструкций стандартных мешалок и мотор-редукторов невелико, поэтому предлагаемый метод решения задачи основан на стратегии перебора:

а) перебор возможных комбинаций типов мешалок, частот их вращения и стандартных значений параметров их конструкции, для каждой из которых осуществляется проверка выполнения необходимых ограничений из числа (2) – (7), а также ограничения (17);

б) при положительном результате проверки соответствующая комбинация параметров мешалки дополняется минимальным стандартным значением d , удовлетворяющим ограничениям (9) – (13);

в) из всех комбинаций типа мешалки, значений параметров ее конструкции и диаметра вала привода, удовлетворяющих всем ограничениям, выбирается оптимальная – по минимальному значению критерия (1) без учета стоимости мотор-редуктора;

г) для оптимальной комбинации подбирается наименее дорогостоящий из серийно выпускаемых мотор-редукторов, для которых выполняются условия (14) – (16).

Проектные решения, полученные согласно предлагаемой методике выбора оптимальных параметров МПУ при ламинарном перемешивании для реакторов получения клея ПВА в цехе № 19 и сульфаминовой кислоты в цехе № 33 ОАО «Пигмент», г. Тамбов, получили высокую оценку специалистов и внедрены в производство.

Работа выполнена в рамках государственного контракта № 14.740.11.0961 Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы».

Список литературы

1. Брагинский, Л.Н. Перемешивание в жидких средах / Л.Н. Брагинский, В.И. Бегачев, В.М. Барабаш. – Л. : Химия, 1984. – 336 с.
2. Руководящий нормативный документ РД 26-01-90–85. Механические перемешивающие устройства, метод расчета. – Введ. 01.01.1986. – Л. : РТП ЛенНИИХиммаша, 1985. – 257 с.
3. Руководящий технический материал РДРТМ 26-01-72–82. Валы вертикальных аппаратов с перемешивающими устройствами, методы расчета. – Введ. 01.07.1983. – Л. : РТП ЛенНИИХиммаша, 1982. – 140 с.
4. Васильцов, Э.А. Аппараты для перемешивания жидких сред : справ. пособие / Э.А. Васильцов, В.Г. Ушаков. – Л. : Машиностроение, 1979. – 272 с.
5. Малыгин, Е.Н. Календарное планирование работы многоассортиментных производств / Е.Н. Малыгин, Т.А. Фролова, М.Н. Краснянский // Теорет. основы хим. технологии. – 1998. – Т. 32, № 5. – С. 568–576.
6. Малыгин, Е.Н. Выбор конструкции механического перемешивающего устройства вертикального емкостного аппарата / Е.Н. Малыгин, С.В. Карпушкин, Н.Н. Афанасьева // Хим. пром-сть. – 2004. – № 5. – С. 253–259.

The Choice of Optimal Parameters of Mechanical Mixing Devices under Laminar Mixing

S.V. Karpushkin¹, N.A. Serzhantova², V.V. Istomin², I.A. Posysaev¹

*Department "Computer-Aided Design of Technological Equipment, TSTU (1);
Department "Information Technology and Management in Medical and Biotechnical
Systems", Penza State Technological Academy (2), Penza; karp@mail.gaps.tstu.ru*

Key words and phrases: choice of optimal design of a mechanical mixing device; hydro-dynamic environment; quality parameters of mixing; vertical capacitive devices.

Abstract: The paper presents the mathematical formulation and method of solving the problem of choosing the optimal design of mechanical mixing device of a vertical capacitive device to ensure acceptable hydrodynamic environment and the desired quality of mixing in the laminar mode.

Auswahl der optimalen Parameter der mechanischen Mischungsanlage bei der Laminarmischung

Zusammenfassung: Es ist die mathematische Stellung und die Methode der Lösung der Aufgabe der Auswahl der optimalen Konstruktion der mechanischen Mischungsanlage des senkrechten Kapazitätsapparates mit Berücksichtigung der Bedingungen der Gewährleistung hydrodynamischen Umgebung und der Bedarfqualität der Mischung bei dem Laminarregime vorgeschlagen.

Choix des paramètres optimaux du dispositif mécanique mélangeant lors du mélange laminaire

Résumé: Est proposée une mise en problème mathématique et une méthode de la solution du problème du choix de la construction optimale du dispositif mécanique mélangeant de l'appareil capacitif vertical compte tenu des conditions de l'assurance d'une situation hydraulique admissible et de la qualité exigée du mélange laminaire.

Авторы: *Карпушкин Сергей Викторович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования», ГОУ ВПО «ТГТУ»; *Сержантова Наталья Александровна* – старший преподаватель кафедры «Информационные технологии и менеджмент в медицинских и биотехнических системах»; *Истомин Виктор Владимирович* – ассистент кафедры «Информационные технологии и менеджмент в медицинских и биотехнических системах», ГОУ ВПО «ПГТА», г. Пенза; *Посысаев Игорь Анатольевич* – магистрант кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования», ГОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Борщев Вячеслав Яковлевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Техносферная безопасность», ГОУ ВПО «ТГТУ».