

Влияния формы лопаток на эффективность суспендирования быстроходных мешалок

Ing. Dorin Ceres

Vedoucí práce: Prof. Ing. František Rieger DrSc., Doc. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D

Abstrakt

Pro suspendaci se často používají rychloběžná míchadla, která tvoří v míchací nádobě axiální proudění. Cílem této práce je porovnat suspenční účinky různých typů a geometrických konfigurací rychloběžných míchadel (tj. standardizovaných míchadel dle českých oborových norem a míchadel vyvinutých firmou Techmix s.r.o.). Pro identifikaci stavu vznosu pevné fáze byla použita nová objektivnější elektrodifúzní metoda sledování průběhu suspendace, která odstraňuje nedostatky doposud běžně užívaných metod.

Klíčová slova

Michání suspenzí, účinnost míchadel, elektrodifúzní diagnostika

Абстракт

Для суспендирования часто используются быстроходные мешалки, вызывающие в сосуде осевое течение. Цель этой работы сравнить эффективность суспендирования различных видов мешалок, разной геометрической конфигурации, а именно стандартизированных быстроходных мешалок и мешалок, разработанных фирмой Techmix o.o.o. Для идентификации взвешенного состояния была использована нововведенная аппликация электродиффузионной диагностики.

Ключевые слова

Перемешивание суспензии, эффективность мешалок, электродиффузионная диагностика

1. Введение

Перемешивание в жидкой среде одна из самых распространённых операций в химической, пищевой и потребительской промышленности. Цель перемешивания состоит в интенсификации переноса тепла и массы и в приготовлении смесей с заданными свойствами, например суспензий и эмульсий. Одна из самых распространённых операций в промышленности - это перемешивание суспензии, которое часто сопровождается передачей массы и химическими реакциями. Для суспендирования часто используются быстроходные мешалки, вызывающие в сосуде осевое течение.

Для проектирования, эксплуатации, восстановления аппаратов-суспензаторов, а также для гомогенизации суспензий нужно знать критическую частоту вращения и потребляемую мощность мешалок, необходимую для достижения взвешенного состояния твёрдой фазы (т.е. состояние, когда при перемешивании все частицы взвешены в жидкости, и ничего не остается на дне сосуда). На эти проектные и эксплуатационные параметры влияют не только свойства суспензии (физические свойства твёрдой фазы и жидкости, размер и концентрация частиц), см. [1, 2 и 3], но и геометрическая конфигурация аппарата-суспензатора (форма сосуда, форма, тип и количество лопаток мешалки, и их взаимное геометрическое расположение). Цель этой работы сравнить эффективность суспендирования различных видов мешалок, разной

геометрической конфигурации, а именно стандартизированных быстроходных мешалок и мешалок, разработанных фирмой Techmix o.o.o.

2. Описание эксперимента

Суспендирующие эксперименты проводились в цилиндрическом сосуде с эллиптическим днищем, внутренний диаметр сосуда $D = 300$ mm. Внутренние стенки сосуда были оснащены четырьмя стандартными отражательными перегородками с шириной $b = 0,1 \cdot D$. Уровень жидкости был равен внутреннему диаметру сосуда $H = D$. Схема экспериментального аппарата показана на рис. 1.

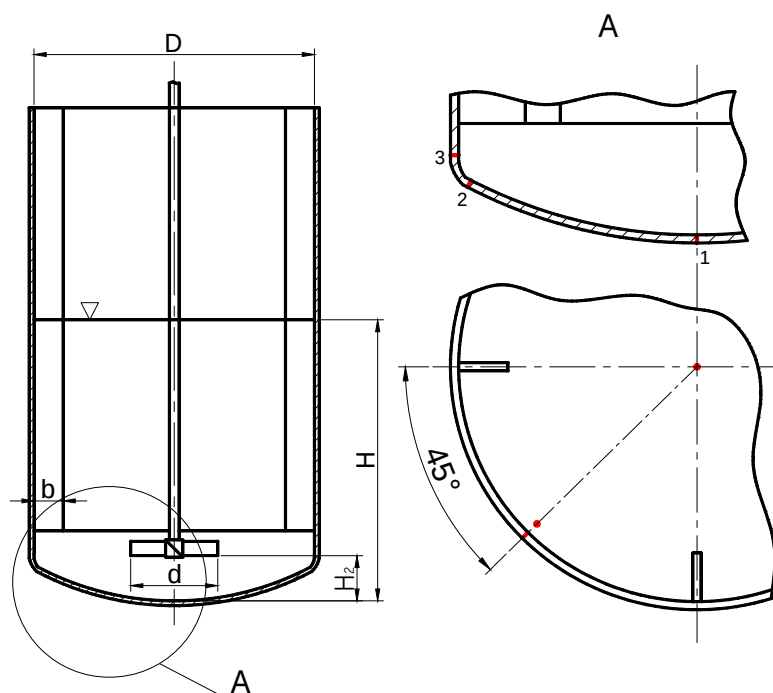


Рис.1. Схема аппарата для проведения эксперимента и размещение электродиффузионных зонд (1,2 и 3)

Таблица 1. – Геометрические параметры аппарата-суспензатора и использованных мешалок

Мешалки	i_L [1]	D [mm]	D/d [1]	h/d [1]	H_2/d [1]
3RLL	3	300	3	0,2	0,5
4RLL	4	300	3	0,2	0,33÷1
TX535	4	300	3		0,33÷1
TX445	4	300	3		0,33÷1
TX335	4	300	3		0,33÷1
4SL45	4	300	3	0,2	0,5
6SL45 $D/d = 4,5$	6	300	4,5	0,2	0,5
6SL45 $D/d = 3$	6	300	3	0,2	0,5
Pf 0,1	3	300	2	0,1	0,1÷0,15
Pf 0,15	3	300	2	0,15	0,1÷0,15

В ходе эксперимента измерялась эффективность суспендирования следующих моделей мешалок:

- Стандартизированные шести и четырех лопастные мешалки с лопатками склоненными под углом 45° (рис. 2а)
- Трехлопастная и четырех лопастная мешалка с ровными ломаными лопатками с профилем лопаток согласно CVS 69 1043 (рис. 2b)
- Лопастные мешалки с криволинейной формой лопаток согласно CVS 69 1027 (рис. 2с)
- Мешалки фирмы Techmix s.r.o. с обозначением TX 335 (рис. 3а), TX 445 (рис. 3b), TX 535 (рис. 3с)

Геометрические параметры испытуемых мешалок показаны в таб. 1. Направление вращения мешалок было выбрано так, чтобы суспензия двигалась к днищу сосуда. Критическая частота оборотов мешалок была установлена при помощи электродиффузионной диагностики, которая устраняет недостатки визуальных методов, см. [4, 5 и 6].

Эллиптическое днище сосуда было оснащено тремя электродиффузионными (ЭД) зондами. Зонды были расположены в центре днища под мешалкой и в переходной части между эллиптическим днищем и корпусом цилиндра сосуда, где взвешенное состояние достигается позднее (рис. 1). В качестве вспомогательного электрода были использованы полированные нержавеющие радиальные отражательные перегородки.

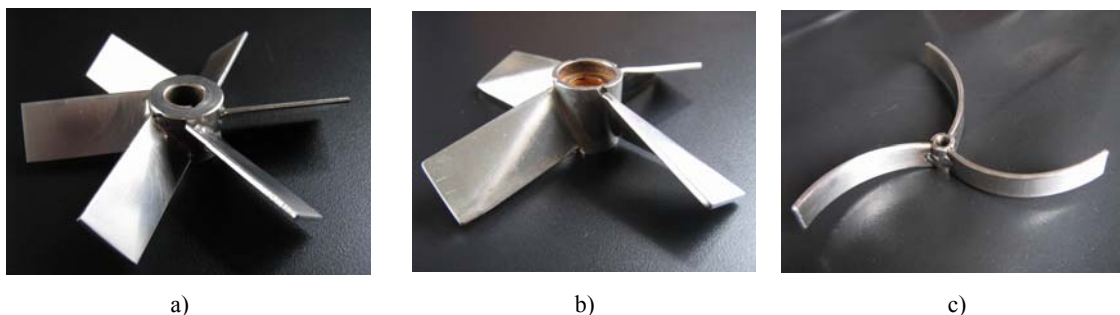


Рис. 2. Стандартные типы мешалок согласно чешским отраслевым нормам: а) шести лопастная мешалка с лопатками под углом 45° , б) четырех лопастная мешалка с ровными ломаными лопатками ($\alpha=67^\circ$, $\beta=25^\circ$, $\gamma=48^\circ$) согласно CVS 69 1043, в) лопастная мешалка с криволинейной формой лопаток согласно CVS 69 1027.

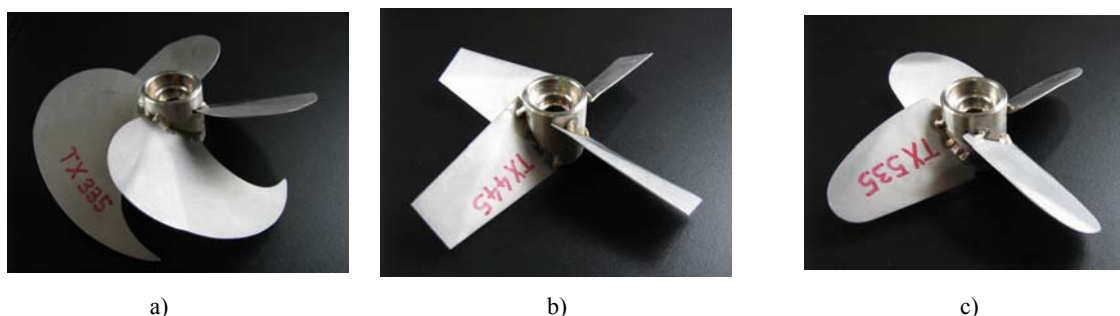


Рис. 3. Мешалки фирмы Techmix o.o.o.: а) TX 335, б) TX 445, в) TX 535.

Модельные суспензии были изготовлены из электролита (водяной раствор 2,5 % массы NaCl) и стеклянных частиц с средним объемным диаметром $d_p = 0,25$ мм и с средней объемной концентрации твердой фазы в диапазоне $c_v = 2,5 \div 30$ %.

3. Анализ измерений

Для идентификации взвешенного состояния была использована нововведенная аппликация электродиффузионной диагностики. Этот метод основан на измерении диффузионного электрического тока, который проходит из рабочей зонды, встроенной в днище сосуда через электролит на коллекторный электрод. Методика определения взвешенного состояния с помощью этого метода показана на рис. 4.

Электродиффузионный метод идентификации взвешенного состояния твердой фазы более подробно описан в [4, 5 и 6].

При расчете привода мешалки (коробка передач, электродвигатель, вал) при заданных оборотах необходимо знать ее мощность. Для расчета мощности используется так называемая характеристика мощности.

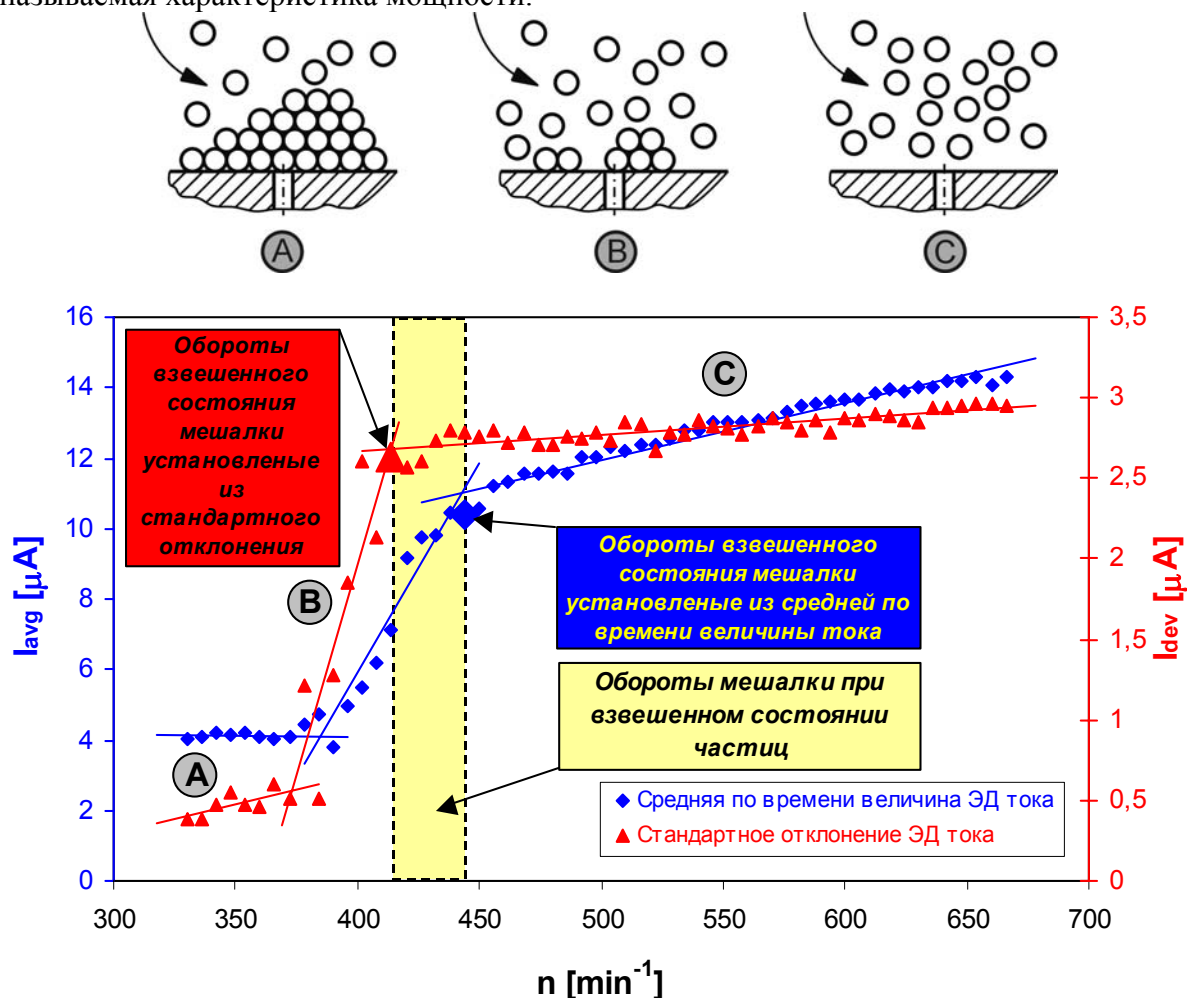


Рис. 4. Методика определения частоты оборотов мешалки необходимой для приведения частиц во взвешенное состояние на наблюдаемой ЭД зонде. В том числе показания зависимости средней по времени величины и стандартного отклонения электродиффузионного тока на частоту оборотов мешалки.

В этой работе была определена характеристика мощности всех мешалок и сравнены их потребляемые мощности для приведения частиц во взвешенное состояние при конкретных условиях. То есть, для конкретной геометрической конфигурации аппарата-суспензатора и для конкретных физических свойств суспензий (объемная концентрация твердой фазы, размер частиц, и т.д.).

Характеристика мощности определяется при помощи вращательного столика. Столик состоит из станины, вращательной тарелки и тензодатчика, который связан с устройством, регистрирующим результаты измерений. Принцип работы столика заключается в процессе перемешивания жидкости в сосуде, что заставляет сосуд вращаться, а в последствии и тарелки, на которой находится сосуд. Тензодатчик, который связан с тарелкой, в последствии дает электрический сигнал. Этот сигнал обрабатывается в регистрирующем устройстве и преобразуется на крутящий момент вала мешалки. Исходя из этого, определяется мощность мешалки a , следовательно, критерий мощности Ro . Измерения производятся с постепенным увеличением частоты оборотов мешалки в турбулентной области течения. С образованием пузырьков в жидкости измерения прекращаются. Из большого количества измерений находится средняя величина критерия мощности.

4. Выводы и заключения

4.1. Эффективность суспендирования мешалок

В ходе суспендирующих экспериментов было выявлено не только влияние отдельных геометрических параметров мешалки (модель, форма и количество лопаток, диаметр), но и влияние расположения мешалки от дна сосуда. Результаты экспериментов были показаны на конференции CHISA 2007, см. [7].

Для некоторых стандартных моделей мешалок уже описано из многих предыдущих экспериментов влияние их расположения от дна сосуда на суспендирующие эффекты, см. в [8]. Для новых экспериментальных мешалок было необходимо наблюдать эту зависимость.

Результаты были обработаны в форме зависимости критической частоты оборотов мешалок от их расположения от дна сосуда. Из этого сравнения, очевидно, что все испытанные мешалки показали максимальное значение критических частот оборотов, при максимальном расстоянии нижней грани мешалки от дна сосуда. Мешалки фирмы Techmix o.o.o. показывают меньшую зависимость высоты размещения от дна сосуда, чем стандартные модели мешалок.

Из сравнения критической частоты оборотов аксиальных мешалок для разных геометрических параметров, очевидно, что при сохранении постоянной высоты мешалок ($H_2 = 0,5 \cdot d$) от дна сосуда снижается величина частоты оборотов мешалок с увеличением количества лопаток и диаметра мешалки. Мешалки с профилированными лопатками не показали большого отклонения в величинах частот оборотов в сравнении со стандартными моделями аксиальных мешалок, однако, при сравнении суспендировочной эффективности нужно учесть и характеристику мощности наблюдаемых мешалок. У мешалок с профилированными лопатками, возможно, наблюдать низкую величину критерия мощности по сравнению со стандартизированными мешалками а следовательно, и большую суспендировочную эффективность. Радиальные мешалки с криволинейной формой лопаток показывают низкие величины критической частоты оборотов по сравнению с аксиальными мешалками. Однако эти радиальные мешалки имеют больший диаметр, чем аксиальные мешалки, что ведет к перепаду энергетической эффективности необходимой для суспендирования.

4.2. Потребляемая мощность мешалок

В этой работе были сравнены потребляемые мощности мешалок для приведения частиц во взвешенное состояние при конкретной геометрической конфигурации аппарата-суспезатора и для конкретных физических свойств суспензии.

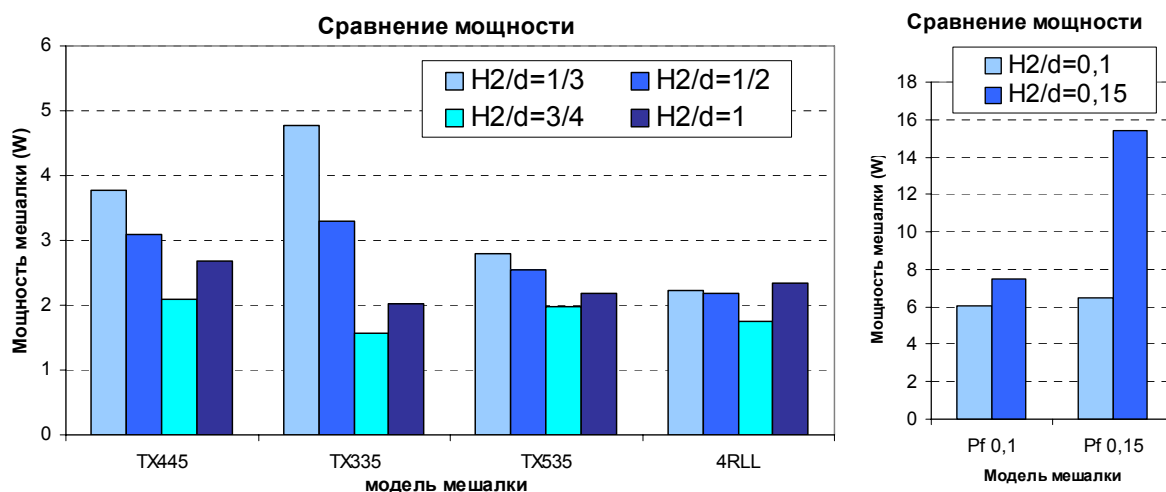


Рис. 5. Влияния расположения мешалок от дна сосуда на величину потребляемой мощности, необходимую для сохранения взвешенного состояния частиц для $d_p = 0,25$ мм и $c_v = 2,5$ %.

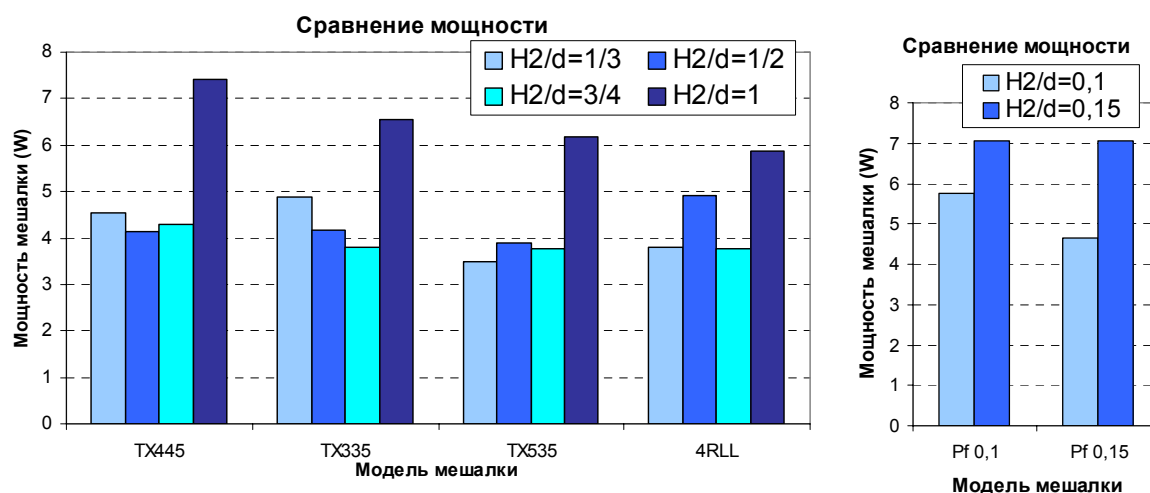


Рис. 6. Влияния расположения мешалок от дна сосуда на величину потребляемой мощности, необходимую для сохранения взвешенного состояния частиц для $d_p = 0,25$ мм и $c_v = 10$ %.

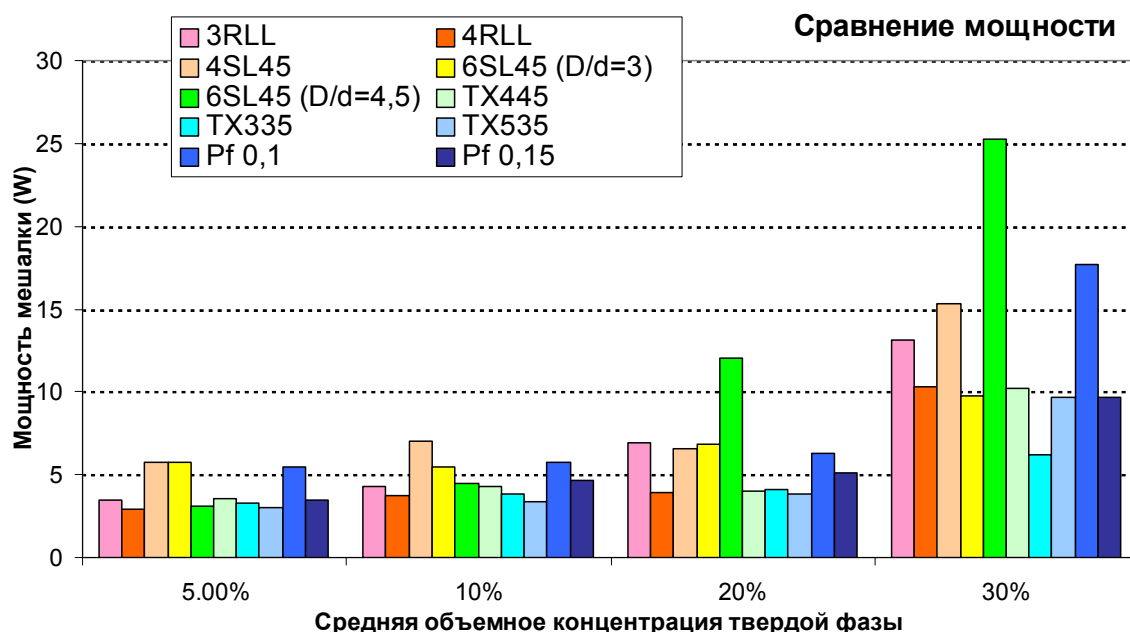


Рис. 7. Потребляемая мощность мешалок необходимая для сохранения взвешенного состояния частиц при оптимальном расстоянии мешалки от дна сосуда, (т.е. для мешалки 3RLL, 4SL45, 6SL45 ($D/d=4,5$), 6SL45 ($D/d=3$) $\Rightarrow H_2/d=1/2$; для Pf0,1 и Pf0,15 $\Rightarrow H_2/d=0,1$; и для 4RLL, TX335, TX445, TX535 $\Rightarrow H_2/d=3/4$), для $d_p = 0,25$ мм и $c_v=5 \div 30\%$.

Результаты экспериментов показаны в рисунках 5, 6 и 7. Из графиков заметим что, у мешалок фирмы Techmix o.o.o. и у четырех лопастной мешалки с ровными ломаными лопатками, почти во всех случаях, оптимальным расстоянием от дна сосуда, с точки зрения потребляемой мощности, является $H_2/d=3/4$. У мешалок типа „Pf“ малая потребляемая мощность отмечается при меньшем расстоянии от дна сосуда. Из сравнения потребляемых мощностей стандартных моделей мешалок (рис. 7), заметим, что лучшая эффективность суспендирования наблюдается у мешалок с ровными ломаными лопатками типа 3RLL и 4RLL.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования, молодёжи и физической культуры ЧР: MSM6840770035

Список символов

b	- ширина отражательных перегородок	[m]
c_v	- средняя объемная концентрация твердой фазы	[1]
D	- диаметр сосуда	[m]
d	- диаметр мешалки	[m]
d_p	- средний объемный диаметр частиц	[m]
H	- высота жидкости	[m]
H_2	- расстояние нижнего края лопатки мешалки от дна аппарата	[m]
h	- ширина лопатки	[m]
I	- электрический ток	[A]

i_L	- количество лопаток	[1]
n	- число оборотов мешалки	$[s^{-1}]$
n_{cr}	- критическое число оборотов мешалки	$[s^{-1}]$
P	- потребляемая мощность	[W]
P_o	- критерий мощности	[1]
α, β, γ	- угол наклона лопаток	$[^\circ]$

Нижние индексы

avg	- Средняя по времени величина ЭД тока
dev	- Стандартное отклонение ЭД тока

Обозначения мешалок

4SL45	- Стандартная четырех лопастная мешалка с лопатками под углом 45°
6SL45	- Стандартная шести лопастная мешалка с лопатками под углом 45°
3RLL	- Трех лопастная мешалка с ровными ломаными лопатками с формой лопаток согласно CVS 69 1043
4RLL	- Четырех лопастная мешалка с ровными ломаными лопатками с формой лопаток согласно CVS 69 1043
Pf	- Лопастная мешалка с криволинейной формой лопаток согласно CVS 69 1027
TX335	- Мешалка фирмы Techmix s.r.o. с обозначением TX 335
TX445	- Мешалка фирмы Techmix s.r.o. с обозначением TX 445
TX535	- Мешалка фирмы Techmix s.r.o. с обозначением TX 535

Список литературы

- [1] Rieger F., Dittl P.: *Suspension of solid particles*. Chem. Eng. Sci., 1994, roč. 49, č. 14, s. 2219-2227.
- [2] Rieger F.: *Effect of particle content on agitator speed for off-bottom suspension*. Chem. Eng. J., 2000, roč. 79, s. 171-175.
- [3] Rieger F.: *Effect of particle content on agitator speed for off-bottom suspension*. Chem. Eng. Proces., 2002, roč. 41, s. 381-384.
- [4] Jirout T., Moravec J., Rieger F.: *Electrochemical Measurement of the Impeller Speed for Off-Bottom Suspension in a Dish-Bottomed Vessel*. In: Inżynieria Chemiczna i Procesowa (Chemical and Process Engineering). 2006, vol. 27, no. 4, p. 1507-1516.
- [5] Jirout T., Moravec J., Rieger F., Sinevič V., Špidla M., Sobolík V., Tihon J.: *Electrochemical Measurement of Impeller Speed for off-Bottom Suspension*. In: Inżynieria Chemiczna i Procesowa (Chemical and Process Engineering). 2005, roč. 26, č. 3, s. 485-497.
- [6] Jirout T., Moravec J., Rieger F.: *Electrochemical Measurement of Impeller Speed for off-Bottom Suspension – Effect of Electrolyte Properties*. In: Proceedings of the 12th European Conference on Mixing. Milano: AIDIC Servizi S.r.l., 2006, s. 423-430.
- [7] Ceres D., Jirout T., Rieger F., Seichter P.: *Vliv tvaru lopatek na suspendační účinky rychloběžných míchadel*. In: 54. konference chemického a procesního inženýrství CHISA 2007 [CD-ROM]. Praha: Česká společnost chemického inženýrství, 2007.
- [8] Kasat G. R., Pandit A. B.: *Review on Mixing Characteristics in Solid-Liquid and Solid-Liquid-Gas Reactor Vessels*. Can. J. Chem. Eng., 2005, roč. 83, s. 618-643.