

УДК 631.363

Девін В.В.
к.т.н., доцент
Ткачук В.С.
к.т.н., доцент

*кафедра фізико-математичних та загальнотехнічних
дисциплін
Інженерно технічний факультет
Подільський державний аграрно-технічний університет
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: dvvkp@rambler.ru
E-mail: twsk@i.ua*

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ ЛОПАТЕВОГО ЗМІШУВАЧА В ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ FLOW VISION

Течії рідин і газів відіграють ключову роль в робочому процесі багатьох сучасних інженерних пристроїв. Проектування цих пристроїв на необхідні параметри роботи неможливо без наойного прогнозування характеристик цих течій. Оскільки більшість сучасних інженерних пристроїв є дорогими і трудомісткими у виготовленні, фізичне моделювання з експериментальним визначенням параметрів їх роботи на різних режимах, як правило, вимагає великих витрат часу і фінансів. Ці фактори обумовлюють зростаючий інтерес до засобів математичного моделювання течій рідин і газів, що дозволяють прогнозувати характеристики течій і параметри роботи пристроїв на стадії їх проектування, до виготовлення в металі. Мета роботи полягає у вдосконаленні методики проектування лопатевих змішувачів за рахунок застосування програмного комплексу Flow Vision.

В статті викладено методику і алгоритм моделювання процесу роботи лопатевого змішувача за допомогою сучасних систем тривимірного моделювання і програмного комплексу Flow Vision. Визначено наступні параметри: рівномірність перемішування, витрати енергії, розподіл швидкостей в продукті, зміна в'язкості потоку в ємності під час перемішування тощо. Комп'ютерне моделювання роботи лопатевої мішалки дозволяє значно розширити знання про процеси, що відбуваються в технологічному обладнанні. Результатом цього є більш точне проектування технологічного обладнання, а отже, і підвищення якості продукції, що випускається.

Ключові слова: лопатева мішалка, комп'ютерне моделювання, Flow Vision.

Вступ. На вітчизняних підприємствах в різних галузях промисловості і сільського господарства налічується безліч найменувань технологічного обладнання, призначеного для приготування різних сумішей. При цьому найбільш часто застосовуються лопатеві змішувачі, які в порівнянні з барабанными, шнековими і іншими характеризуються кращою можливістю управління процесом змішування, універсальністю, високою продуктивністю, швидким і не складним переналагодженням для роботи з різними сипучими матеріалами. Підвищення продуктивності таких змішувачів можливе при збільшенні геометричних параметрів робочої камери (довжини, ширини), при підвищенні швидкості руху виконавчих механізмів, а також при скороченні часу простоїв обладнання з технологічних і технічних причин. Існуючі методики проектування лопатевих змішувачів не враховують вище зазначених факторів, які впливають на техніко-експлуатаційні показники, що призводить до необхідності уточнення цих методик.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Найбільш поширені в даний час апарати з обертовими механічними мішалками різних типів. При перемішуванні такими

мішалками виникає складна тривимірна течія рідини. Первинним в цій течії є тангенціальний рух, який в просторі, обмеженому дном і стінками апарату і вільною поверхнею рідини, викликає радіальні і аксіальні потоки [7, 8].

Оскільки аналітичного опису поля швидкостей в апаратах з мішалками до теперішнього часу отримати не вдалося, то їх характеризують ефективністю і інтенсивністю перемішування, а також витратою енергії на проведення процесу. Ефективність перемішування характеризує технологічний ефект процесу перемішування. Залежно від призначення процесу перемішування цю характеристику виражають по-різному. При використанні перемішування для інтенсифікації тепло- і масообмінних процесів його ефективність можна оцінити співвідношенням кінетичних коефіцієнтів при перемішуванні і без нього. При отриманні суспензій і емульсій ефективність перемішування можна охарактеризувати рівномірністю розподілу дисперсної фази в суцільній.

Інтенсивність перемішування визначається кількістю енергії, що підводиться в одиницю часу N до одиниці об'єму V рідини, що перемішується, або до одиниці маси рідини, що перемішується, $(N/V\rho)$. Інтенсивність перемішування обумовлює характер руху рідини в апараті. Підвищення інтенсивності завжди пов'язане зі збільшенням витрат енергії, а технологічний ефект від збільшення інтенсивності перемішування обмежений строго визначеними межами. Очевидно, що дія мішалки тим ефективніша, чим менша робота витрачається на досягнення необхідного технологічного результату. Потужність, що споживається механічними мішалками, залежить від багатьох чинників. Існуючі методи розрахунку не цілком точно враховують такі чинники, як форма і розміри апаратів і органів, що перемішують, наявність перешкод: змійовиків, гільз, труб, відбивних перегородок тощо.

Розглядаючи рух суміші в апаратах з мішалкою, як окремий випадок руху рідини, для опису процесу при сталому режимі можна скористатися загальним критеріальним рівнянням:

$$Eu = \varphi(Re, Fr, \Gamma_1, \Gamma_2), \quad (1)$$

де Eu - критерій Ейлера, що є мірою співвідношення сил тиску до сил інерції;

$$Eu = \frac{\Delta P}{\rho \cdot w^2} \quad (2)$$

Re - критерій Рейнольдса, який є мірою відношення сил інерції до сил внутрішнього тертя:

$$Re = \frac{w \cdot d \cdot \rho}{\mu} \quad (3)$$

Fr - критерій Фруда, що є мірою відношення сил інерції до сил тяжіння:

$$Fr = \frac{U^2}{q \cdot d} \quad (4)$$

У цих виразах: Γ_1, Γ_2 - симплекси геометричної подібності;

ΔP - втрати тиску, Па;

U - середня швидкість руху потоку, м/с;

d - визначальний лінійний розмір, м;

ρ - питома вага рідини, кг/м³;

μ - в'язкість рідини, Па·с;

q - прискорення вільного падіння, рівне 9,81 м/с².

Для апарата з механічною мішалкою визначальним лінійним розміром доцільно прийняти діаметр мішалки, що обертається d_m . Так як дійсну швидкість руху рідини визначити важко, то цю величину замінюють пропорційною їй величиною - добутком $n \cdot d_m$, а замість величини втрати тиску вводять величину споживаної потужності. Тоді критерії динамічної подібності можуть бути приведені до виду:

$$K_N = \frac{N}{\rho \cdot n^3 \cdot d^5}, \quad (5)$$

що є безрозмірним виразом потужності, що витрачається на перемішування; відцентровий критерій Рейнольдса:

$$Re_u = \frac{\rho \cdot n \cdot d_m^2}{\mu}; \quad (6)$$

відцентровий критерій Фруда:

$$Fr_u = \frac{n^2 \cdot d_m}{g}, \quad (7)$$

де n – частота обертання мішалки, об/с;

N – потужність на валу мішалки, Вт.

За умови геометричної подібності узагальнена залежність для визначення потужності на валу мішалки матиме вигляд:

$$\frac{N}{\rho \cdot n^3 \cdot d_m^5} = C \cdot \left(\frac{\rho \cdot n \cdot d_m}{\mu} \right)^m \cdot \left(\frac{n^2 \cdot d_m}{g} \right) \quad (8)$$

Мета роботи полягає у вдосконаленні методики проектування лопатевих змішувачів за рахунок застосування програмного комплексу Flow Vision [6].

Методологія. Знайти тривимірні поля швидкості і тиску в апараті з мішалкою шляхом аналітичного рішення рівняння руху і нерозривності [1, 2, 3, 4] навіть в стаціонарному однофазному випадку не представляється можливим. У зв'язку з цим для опису перемішування використовується метод фізичного моделювання. Критерії гідродинамічної подібності виходять шляхом перетворення системи диференціальних рівнянь руху і нерозривності [1, 2, 3, 4]. Визначеним критерієм, як правило, є критерій Ейлера, а визначальними - критерії Рейнольдса, Фруда і симплекси геометричної подібності.

В якості характерних величин зазвичай розглядаються: перепад тисків між лобовою і кормовою сторонами лопаті мішалки, що обертається Δp ; величину, пропорційну окружній швидкості мішалки $W_{\text{окр}}$; діаметр мішалки d_m . Тоді модифіковані критерії подібності для апаратів з мішалками, зв'язавши окружну швидкість з частотою обертання мішалки n , будуть мати вид [7, 8]:

$$W_{\text{окр}} = \pi d_m n \sim d_m n, \quad (9)$$

$$Eu_m = \frac{\Delta p}{\rho W_{\text{окр}}^2} = \frac{\Delta p}{\rho (n d_m)^2}, \quad (10)$$

$$Re_m = \frac{d_m W_{\text{окр}} \rho}{\mu} = \frac{n d_m^2 \rho}{\mu}, \quad (11)$$

$$Fr_m = \frac{W_{\text{окр}}^2}{g d_m} = \frac{n^2 d_m}{g}. \quad (12)$$

Симплекси геометричної подібності будуть залежати від конструкції апарату і мішалки. Так, наприклад, для апарату, зображеного на рис. 1, симплекси геометричної подібності будуть визначатись наступним чином:

$$\ell_D^* = \frac{D}{d_M}; \quad \ell_{H_{ж}}^* = \frac{H_{ж}}{d_M}; \quad \ell_{h_M}^* = \frac{h_M}{d_M}; \quad \ell_h^* = \frac{h}{d_M}. \quad (13)$$

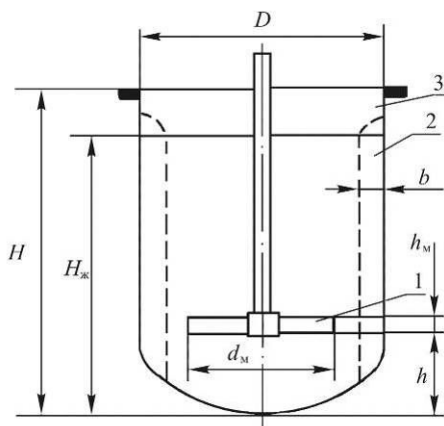


Рис. 1. Лопатева мішалка:

1 - лопать; 2 - відбивна перегородка; 3 – ємність

Тоді критеріальне рівняння, що описує гідродинаміку процесу перемішування, можна записати як:

$$Eu_M = f(Re_M, Fr_M, \ell_D^*, \ell_{H_{ж}}^*, \ell_{h_M}^*, \ell_h^*) \quad (14)$$

Вид критеріального рівняння залежить від конструкції мішалки, режиму руху та знаходиться шляхом узагальнення дослідних даних.

Таким чином, першим етапом розрахунку є вибір нормалізованої мішалки з урахуванням обсягу середовища, що перемішується і визначення для неї з рівнянь типу (10) критерію Рейнольдса. За величиною Re_M можна знайти із (11) число обертів мішалки n . Потім розраховуються критерій Фруда формула (12) і критерій потужності мішалки K_N :

$$K_N = f_1(Re_M, Fr_M, \ell_i^*), \text{ или } K_N = f_2(Re_M, \ell_i^*). \quad (15)$$

Далі визначають потужність, що витрачається на перемішування в стаціонарному режимі N із формули (5).

Якщо потрібно знайти встановлену потужність електродвигуна, то її збільшують в 2 - 3 рази, з огляду на необхідний запас для запуску мішалки (в момент запуску опір лопатей мішалки виявляється значно вищим, внаслідок більшої швидкості руху лопаті щодо нерухомої рідини), а також втрати енергії в самому електродвигуні (к.к.д. менше одиниці).

Для моделювання процесу перемішування був обраний програмний комплекс Flow Vision [6], так як з його допомогою можна досліджувати рух рідин і газів. Автори пропонують наступний алгоритм моделювання роботи лопатевої мішалки:

1. За допомогою сучасних систем автоматизованого проектування, наприклад КОМПАС 3D, в окремих файлах створити тривимірні моделі місткості реактора і перемішуючого пристрою. Зберегти їх у форматі *.wrl (перемішуючий пристрій) і *.stl

(місткість).

2. Запустити програму Flow Vision : Пуск–Програми–Flow Vision.

3. Вибрати режим роботи Файл–Створити і завантажити файл 3D моделі місткості реактора у форматі *.stl. Оскільки розміри в КОМПАС задаються в міліметрах, потрібно масштабувати зображення:

Інструменти –змінити геометрію –масштаб–0,1% (скрізь).

4. Обрати модель, яка буде використана для розв’язання:

На закладці «Препроцесор» розкрити вкладені рівні у дереві побудови, викликати контекстне меню на пункті Підобласть №1, пункт Змінити модель. Обрати модель «Слабостискувана рідина», виділити рівняння швидкості і турбулентності.

5. Задати параметри моделі: на закладці Гідростатика значення густини речовини, яка перемішується, і рівень заповнення місткості.

6. Задати характеристики речовини, яка перемішується, викликавши контекстне меню на рівні Речовина 0, пункт Властивості.

7. Усередині місткості встановити перемішуючий пристрій:

Фільтр –Завантажити – вказати ім’я файлу з геометрією мішалки.

Вказати частоту обертання перемішуючого пристрою (1/с), викликавши контекстне меню на пункті Рухоме тіло в Шаблоні, закладка Обертання, і Початкове його розташування. Якщо можливо, вказати масу і моменти інерції перемішуючого пристрою.

8. Задати граничні умови: рівень Граничні умови – контекстне меню – пункт Створити.

Почергово підсвічувати потрібні поверхні і з допомогою контекстного меню, пункт Властивості, задати умови:

Місткість: Тип границі - стінка; Швидкість, тип граничної умови - стінка, логарифмічний закон, шорсткість 9 мкм;

Мішалка: Тип границі - стінка; Швидкість, тип граничної умови - стінка, логарифмічний закон, шорсткість 9 мкм;

Вихід з реактора: Тип границі - вільний вихід, Швидкість, тип граничної умови - нульовий тиск/вихід.

9. Задати параметри початкової сітки, рівномірно розділивши розрахункову область на 20 частин в напрямках x, y, z.

10. На рівні Загальні параметри задати значення сили земного тяжіння на закладці Гравітація.

11. Запустити задачу на розрахунок, натиснувши кнопку «Почати процес розрахунку».

12. В постпроцесорі Flow Vision переглянути і проаналізувати отримані результати розрахунку.

Результати. В ході роботи були створені моделі лопатевих мішалок з різними конструкціями робочих органів, найбільш поширених в галузі, і визначені наступні параметри: рівномірність перемішування, витрати енергії, розподіл швидкостей в продукті, зміна в’язкості потоку в ємності під час перемішування тощо. Однією з типових конструкцій є лопатева мішалка з робочим органом, виконаним у вигляді вертикального вала, на якому закріплені лопаті різної форми (рис. 2).

Іншим об’єктом досліджень є траєкторії руху частинок рідини. Їх визначення важливо для забезпечення обробки суміші у всіх частинах ємності і ліквідації можливих застійних зон. Для цього можна отримати картину розподілу швидкостей у вигляді векторів (рис. 3).

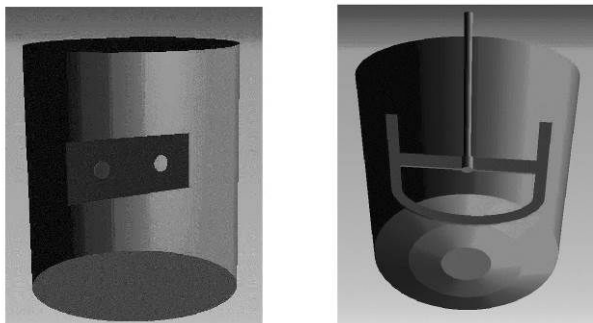


Рис. 2. Моделі лопатевих мішалок різних типів

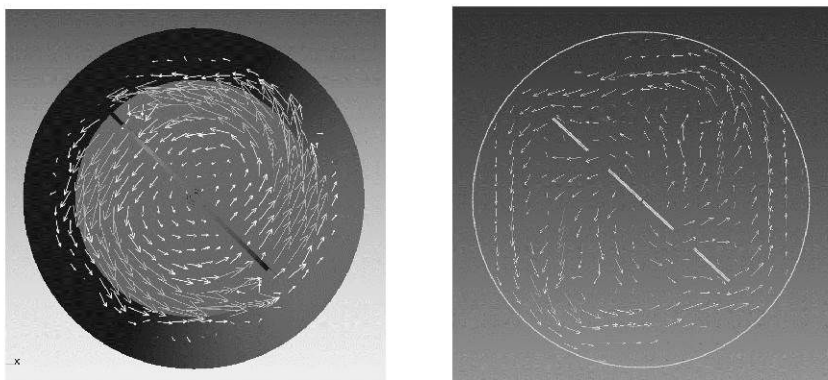


Рис. 3. Розподіл швидкостей в робочій камері лопатевого змішувача

Також були проведені дослідження якості перемішування продукту і енергетичних параметрів процесу на поширених в промисловості лопатевих змішувачах. Вони відрізняються формою робочого органа і швидкісними параметрами. Комп'ютерне моделювання дозволило також візуалізувати енергетичну картину процесу перемішування, а саме процес дисипації кінетичної енергії. Це дозволяє оцінити ефективність впливу робочого органу на продукт (рис. 4).

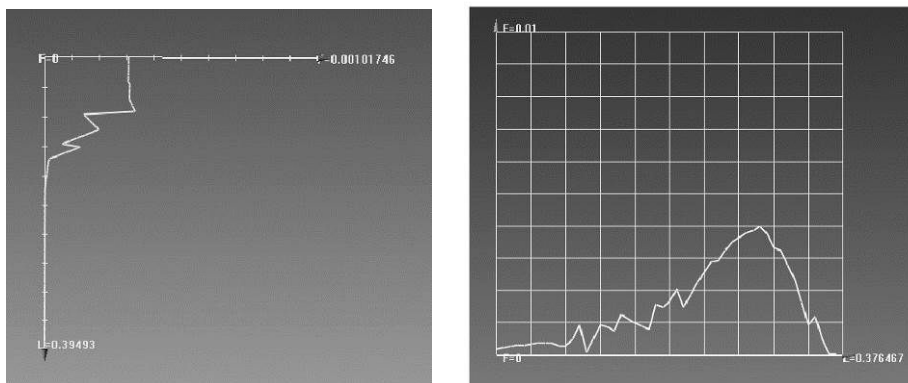


Рис. 4. Розподіл дисипації енергії в робочій камері лопатевого змішувача

Висновки. Аналізуючи представлені результати, можна зробити висновок: комп'ютерне моделювання роботи лопатевої мішалки дозволяє значно розширити знання про процеси, що відбуваються в технологічному обладнанні. Результатом цього є більш точне проектування технологічного обладнання, а отже, і підвищення якості продукції, що випускається.

Список використаних джерел

1. Альтшуль, А.Д. Гидравлика и аэродинамика [Текст] / А.Д. Альтшуль, Л.С. Животовский, Л.П. Иванов. – М.: Стройиздат, 1987. – 414 с.
2. Башта Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы [Текст] : учебник для студ. вузов / Т.М.Башта, С.С.Руднев, Б.Б.Некрасов и др. – 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 2008. – 422 с.
3. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа [Текст] : учебник для вузов / Л.Г.Лойцянский – М.: Дрода, 2003. – 840 с.
4. Емцев, Б. Т. Техническая гидромеханика [Текст] / Б. Т. Емцев . – М.: Машиностроение, 1978 . – 463 с.
5. Литовченко, І. М. Визначення раціональної конструкції тістомісильних машин шляхом комплексного моделювання робочих процесів [Текст] / І. М.Литовченко, М. С. Шпак // Наукові праці НУХТ – 2008. – № 25. – С. 86-87.
6. Система моделювання движения жидкости и газа FlowVision Версия 2.5.4 Руководство пользователя. – М.: "ТЕСИС", 2008. – 285 с.
7. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками [Текст] / Ф.Стренк ; пер. с польск. ; под ред. И.А. Щупляка. – Л.: Химия, – 1975. – 884 с.
8. Брагинский, Л.Н. Перемешивание в жидких средах : Физические основы и инженерные методы расчета [Текст] / Н.Л. Брагинский, В.И. Бегачев, В.М. Барабаш. – Л.: Химия, 1984. – 336 с.

Referenses

1. Al'tshul', A.D., Zhivotovskij, L.S., & Ivanov, L.P. (1987). *Gidravlika i ajerodinamika* [Hydraulics and aerodynamics]. Moscow: Strojizdat [in Russian].
2. Bashta T.M. (2008). *Gidravlika, gidromashiny i gidroprivody* [Hydraulics, hydraulic machines and hydraulic drives]. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
3. Lojczanskij L.G. (2003). *Mehanika zhidkosti i gaza* [Fluid Mechanics]. Moscow: Droda [in Russian].
4. Emcev, B.T. (1978). *Tehnicheskaja gidromehanika* [Technical Hydromechanics]. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
5. Ly`tovchenko, I. M., & Shpak, M. S. (2008). Vy`znachennya racional`noyi konstrukciyi tistomisy`l`ny`x mashy`n shlyaxom kompleksnogo modelyuvannya robochy`x procesiv [Determining rational design kneading machines through integrated simulation workflow]. *Naukovi praci NUXT [Proceedings NUFT]*, 25, 86-87 [in Ukrainian].
6. *Sistema modelirovaniya dvizheniya zhidkosti i gaza FlowVision Versiya 2.5.4 Rukovodstvo pol'zovatelja* (2008). Moscow: TESIS [in Russian].
7. Strenk, F. (1975). *Peremeshivanie i apparaty s meshalkami* [Stirring machines with agitators]. Leningrad [in Russian].
8. Braginskii, L.N., Begachev, V.I., & Barabash, V.M. (1984). *Peremeshivanie v zhidkikh sredakh* [Stirring in liquid media]. Leningrad [in Russian].

Дата надходження статті до редакції : 25.02.16

1 рецензування : 04.03.2016. прийняття в друк : 10.03.2016

Received: 25.02.16 1 review: 04.03.2016 Accepted: 10.03.16

Vladlen Devin

PhD (Eng.)

Associate Professor

Vasiliy Tkachuk

PhD (Eng.)

Associate Professor

Department of Agricultural machines

Engineering Faculty

State Agrarian and Engineering University in Podilya

Kamenets-Podilsky, Ukraine

E-mail: dvvvp@rambler.ru

E-mail: twsk@i.ua

MODELING OF WORK BLADE MIXER IN SOFTWARE COMPLEX FLOWVISION

Purpose is to improve methods blade impeller design through the use of complex software Flow Vision. Flow of liquids and gases play a key role in the workflow of many modern engineering devices. Designing these devices at required parameters cannot work without a reliable prediction of the characteristics of these trends. Since most modern engineering devices are expensive and time consuming to manufacture, physical modeling with experimental determination of parameters of their work in different modes typically require large expenditures of time and finances. These factors lead to growing interest in the assets of mathematical modeling of flows of liquids and gases to predict flow characteristics and parameters of the device at the stage of their design, to manufacturing in metal. In the article the technique and algorithm modeling process of the blade mixer using modern systems and three-dimensional modeling software system Flow Vision is analyzed. The following parameters: mixing uniformity, energy costs, the distribution of velocities in the product, change in viscosity flow in the tank during mixing and more are identified. Computer simulation of blade mixers can significantly expand knowledge about the processes in technological equipment. The result is a more accurate design of technological equipment, and therefore improve the quality of products.

Key words: blade impeller, computer simulation, Flow Vision.

Владлен Девин

к.т.н., доцент

Василий Ткачук

к.т.н., доцент

кафедра физико-математических и общетехнических дисциплин

Инженерно-технический факультет

Подольский аграрно-технический университет

Каменец-Подольский, Украина

E-mail: dvvkr@rambler.ru

E-mail: twsk@i.ua

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАБОТЫ ЛОПАСТНОЙ СМЕСИТЕЛЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ FLOWVISION

Течения жидкостей и газов играют ключевую роль в рабочем процессе многих современных инженерных устройств. Проектирование этих устройств на необходимые параметры работы невозможно без надежного прогнозирования характеристик этих течений. Поскольку большинство современных инженерных устройств являются дорогостоящими и трудоемкими в изготовлении, физическое моделирование с экспериментальным определением параметров их работы на различных режимах, как правило, требует больших затрат времени и финансов. Эти факторы обуславливают растущий интерес к средствам математического моделирования течений жидкостей и газов, позволяющих прогнозировать характеристики течений и параметры работы устройств на стадии их проектирования, до изготовления в металле. Цель работы заключается в совершенствовании методики проектирования лопастных смесителей за счет применения программного комплекса Flow Vision.

В статье изложены методика и алгоритм моделирования процесса работы лопастного смесителя с помощью современных систем трехмерного моделирования и программного комплекса Flow Vision. Были определены следующие параметры: равномерность перемешивания, затраты энергии, распределение скоростей в продукте, изменение вязкости потока в емкости во время перемешивания и др. Компьютерное моделирование работы лопастной мешалки позволяет значительно расширить знания о процессах, происходящих в технологическом оборудовании. Результатом этого является более точное проектирование технологического оборудования, а, следовательно, и повышение качества выпускаемой продукции.

Ключевые слова: лопастная мешалка, компьютерное моделирование, Flow Vision.