

Технічні науки

УДК 66.063.8

Тищенко Катерина Віталіївна

магістрант

Національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Тищенко Катерина Витальевна

магистрант

Национального технического университета Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Tyshchenko Kateryna

Master Student of the

National technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Двойнос Ярослав Григорович

кандидат технічних наук,

старший викладач кафедри МАХНВ

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Двойнос Ярослав Григорьевич

кандидат технических наук,

старший преподаватель кафедры МАХНВ

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Dvoinos Yaroslav

Philosophy Doctor of Technical Sciences, Senior Tutor

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

**РОЗРАХУНОК МІШАЛКИ З ГНУЧКИМИ СПІРАЛЬНИМИ
ЕЛЕМЕНТАМИ**

РАССЧЕТ МЕШАЛКИ С ГИБКИМ СПИРАЛЬНЫМ ЭЛЕМЕНТАМИ

CALCULATION OF THE FLEXIBLE SPIRAL ELEMENTS

***Анотація.** Проведено аналіз існуючих методик розрахунку перемішуючих пристроїв, наведено приклад постановки експерименту для імітаційного експерименту, та обробки його результатів. Узагальнено результати серії таких експериментів у вигляді залежності для визначення критерію потужності мішалки з гнучкими спіральними елементами, запропоновано методика визначення напружень і деформацій в спіральних елементах, що знаходяться у потоці.*

***Ключові слова:** мішалки, спіральні мішалки, критерій потужності.*

***Аннотация.** Проведен анализ существующих методик расчета перемешивающих устройств, приведен пример постановки эксперимента для имитационного эксперимента, и обработки его результатов. Обобщены результаты серии таких экспериментов в виде зависимости для определения критерия мощности мешалки с гибкими спиральными элементами, предложена методика определения напряжений и деформаций в спиральных элементах, находящихся в потоке.*

***Ключевые слова:** мешалки, спиральные мешалки, критерий мощности.*

***Summary.** The analysis of existing methods of calculating mixing devices is carried out, an example of setting up an experiment for a simulation experiment and processing its results is given. The results of a series of such experiments are summarized in the form of dependence for determining the power criterion of a stirrer with flexible helical elements, and a method for determining the stresses and strains in the helical elements in the flow is proposed.*

Key words: mixers, spiral mixers, power criterion.

Постановка проблеми. В хімічних реакторах, апаратах з мішалкою використовують змішувальні пристрої зі спіральними лопатями, через гнучкість конструкції і можливості деформації конструкції без руйнування [1]. Такі переваги конструкції дозволяють використовувати пульсаційний режим роботи перемішуючого пристрою [2] та перенавантажувати пристрій при запуску, якщо він потрапив у гель чи осад. Спіральні елементи при деформації значно міняють розміри, тому використання традиційної залежності для визначення критерію потужності накладає похибку у розрахунки. Оцінити таку похибку, отримати узагальнену залежність для визначення критерію потужності спіральних елементів перемішуючого пристрою є важливою задачею, тому тема роботи є актуальною. Разом з параметричними розрахунками виникають проблеми з визначення втоми матеріалу спіральних елементів – процесу поступового накопичення пошкоджень під дією змінних (циклічних) напруг, що призводить до зміни властивостей матеріалу, утворення тріщин, їх розвитку та руйнування за зазначений час.

Аналіз попередніх досліджень. Відомі залежності для експериментального визначення критерію потужності перемішуючого пристрою [3]:

$$K_N = \frac{N}{\rho n^3 d_m^5},$$

де N – потужність, що споживає перемішуючий пристрій, Вт; ρ – густина рідини, що перемішується, кг/м^3 ; d_m – діаметр мішалки, м.

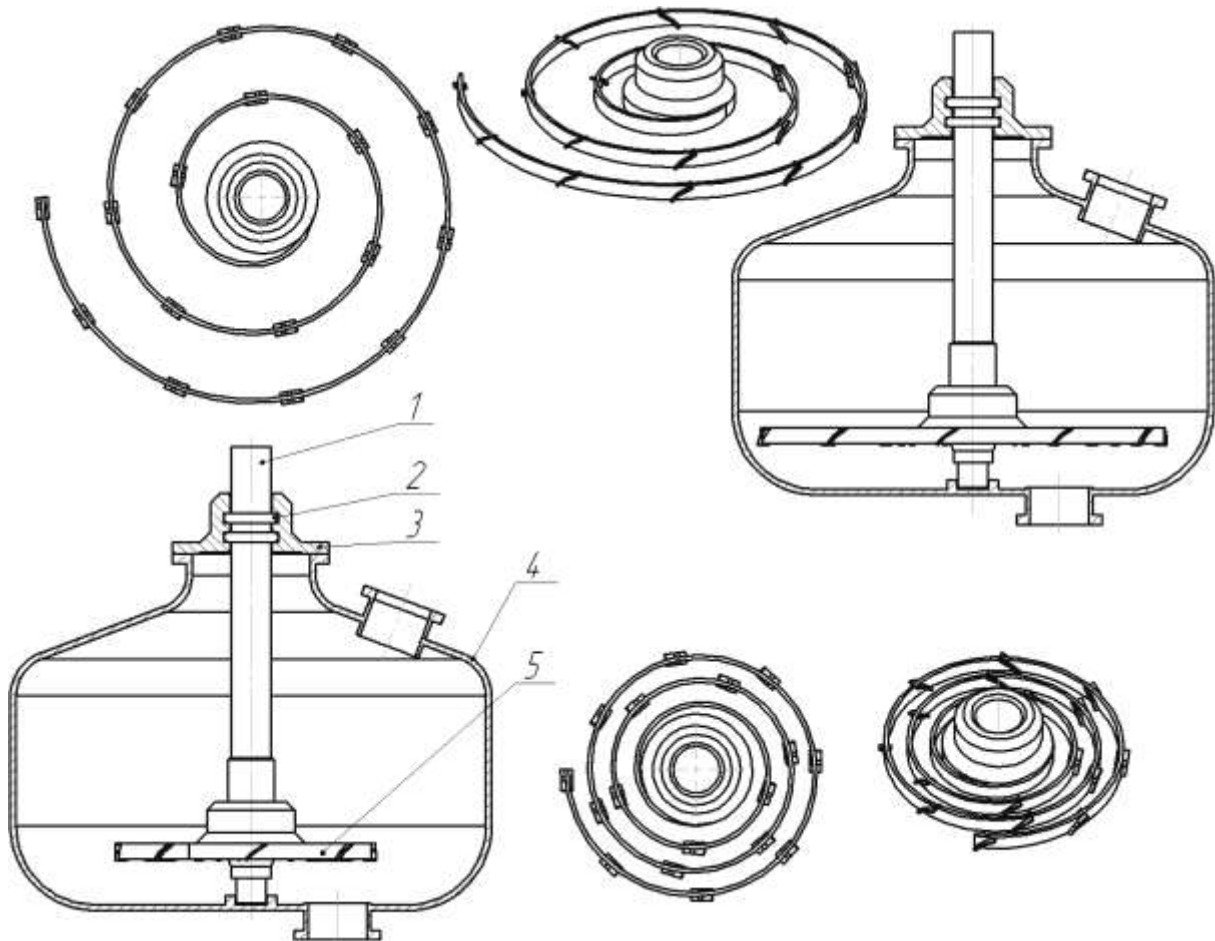
З теорії подібності критерій потужності визначається:

$$K_N = C Re_\sigma^m Fr_\sigma^n,$$

де C – стала, характерна для конструкції перемішуючого пристрою; Re_σ , Fr_σ – критерії Рейнольдса та Фруда стосовно до цього пристрою.

Виклад основного матеріалу. Типову конструкцію перемішуючого пристрою з гнучкими спіральними елементами наведено на рис. 1, [4]. Пе-

реваги конструкції в можливості старту після занурення мішалки під шар осаду, реалізації пульсаційного режиму роботи для підняття осаду та широкому діапазоні робочих швидкостей і відповідно, гідродинамічних режимів роботи.



1 – вал мішалки; 2 – ущільнення; 3 – кришка апарату; 4 – корпус апарату;
5 – мішалка з гнучкими спіральними елементами

Рис. 1. Типова конструкція апарату з мішалкою, що містить гнучкі спіральні елементи

Для аналізу навантажень гнучких елементів мішалки використано метод імітаційного моделювання в середовищі SolidWorks. Конструкцію спрощено, та отримано результат у вигляді дотичних напружень на поверхні елементів мішалки, які виникають внаслідок гідродинамічного руху рідини відносно поверхні, рис. 2. В наведеному прикладі діаметр мішалки у

ненапруженому стані становить 230 мм, а швидкість обертання – 20 радіан за секунду. модельною рідиною є вода за температури +20 град. С.

Отримані результати у вигляді графіка наведено на рис. 3. Дотичні напруження, Па на поверхні спрощеної моделі спіральної мішалки приведено до поточної довжини елемента, причому початок координат знаходиться у крайній точці спірального елемента.

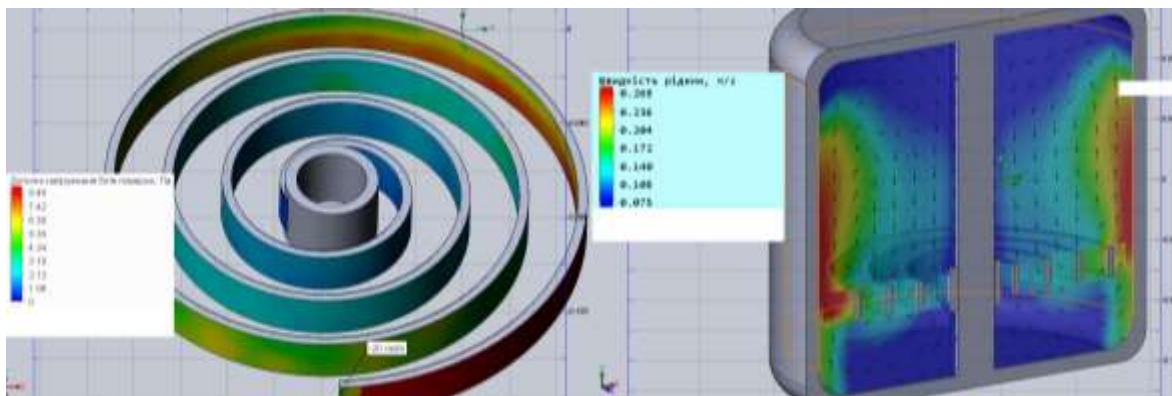


Рис. 2. Результати імітаційного експерименту (дотичне напруження на поверхні мішалки, Па та епюра потоків рідини)

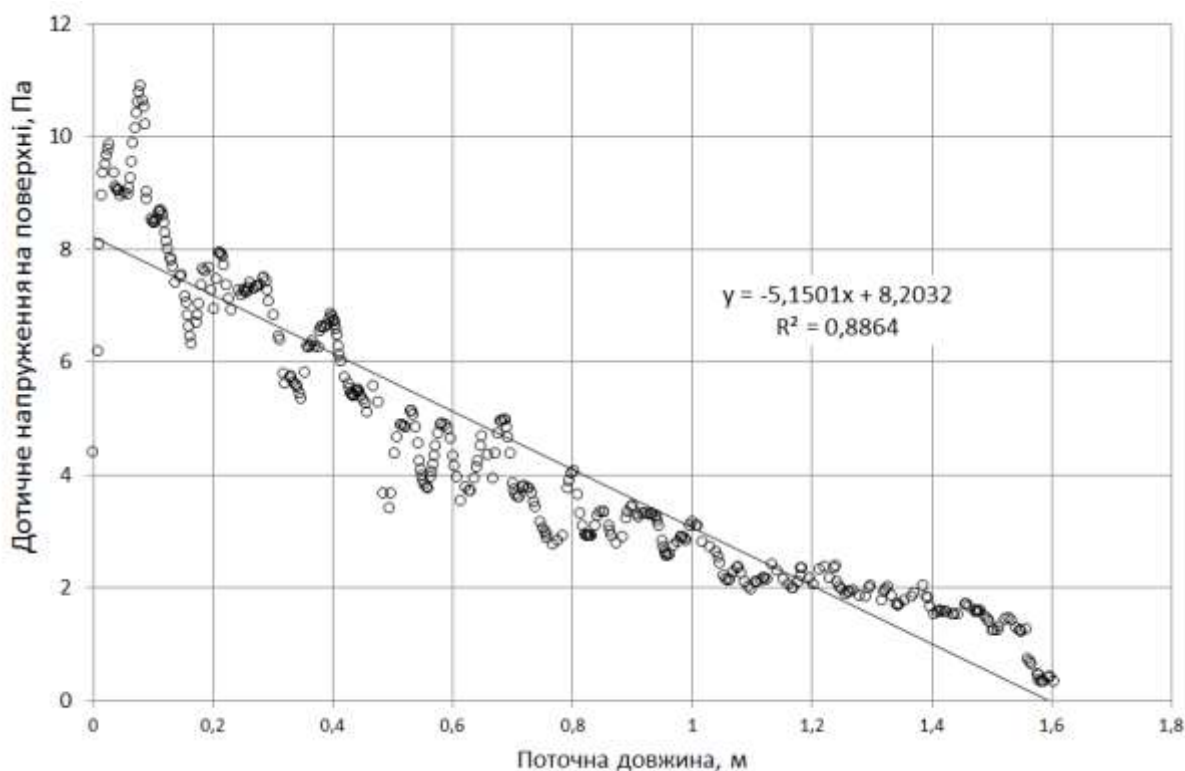


Рис. 3. Результати імітаційного експерименту (залежність дотичного напруження на поверхні мішалки, Па від поточної довжини мішалки, м)

Додаток Flow simulation програми Solidworks дозволяє отримати інтеграційний параметр – крутний момент, він становить для наведеного прикладу $0,024 \text{ Н}\cdot\text{м}$, потужність $N=\omega M=20 \cdot 0,024=0,48 \text{ Вт}$, $K_N=0,023$.

Для визначення товщини спірального елемента використано інший додаток Solidworks – Simulation, в якому конструкцію мішалки навантажено тиском, відповідно до дотичних напружень на поверхні елемента, які отримано у додатку Flow simulation. Після вибору матеріалу елемента, та його товщини отримано (метод нелінійного аналізу) деформацію і визначено напруження в матеріалі спірального елемента, рис. 4.

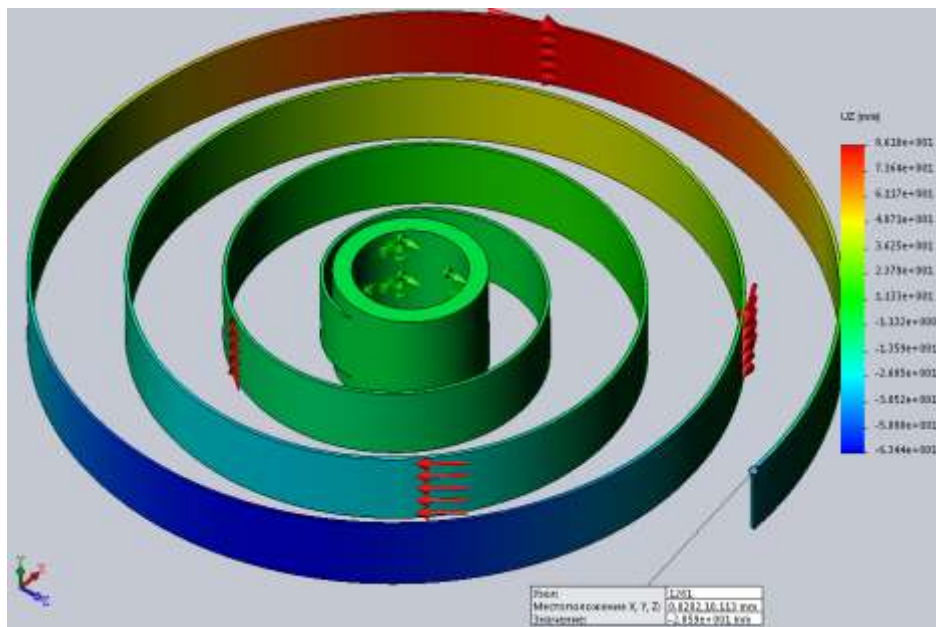


Рис. 4. Результати імітаційного експерименту (деформація спірального елемента товщиною 1 мм, з легованої сталі, швидкість обертання – 100 рад/с, максимальне дотичне напруження – 200 Па становить 28,59 мм в радіальному напрямку)

Таким чином, наведена в прикладі мішалка діаметром 0,23 м, високою 0,02 м при обертах 100 рад/с споживає крутний момент $0,574 \text{ Н}\cdot\text{м}$, потужність $N=\omega M=100 \cdot 0,574=57,4 \text{ Вт}$. Спротив рідкого середовища викликає деформацію конструкції, наприклад, при товщині елементів 1 мм діаметр зменшується на 57,18 мм (до 173 мм) $K_N=0,0246$.

Серія імітаційних експериментів дозволила визначити для наведеного прикладу конструкції і умов нову залежність критерію потужності для діапазону кутової швидкості від 20 до 200 рад/с:

$$K_N = K_{N0} \left[1 - \frac{\omega}{1000} \right],$$

де K_{N0} відповідає критерію потужності мішалки, що працює на режимах, які не викликають суттєвої деформації конструкції.

Висновки. Запропоновано методику визначення залежності для критерію потужності мішалки з гнучкими спіральними елементами методом імітаційного моделювання.

Література

1. Лучейко І. І., Т. М. Вітенько. Розробка змішувальних пристроїв зі спіральними лопатями мішалки // Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 16-17 листопада 2017 року. Т. : ТНТУ, 2017. Том 1. С. 136. (Сучасні технології в будівництві, машино- та приладобудуванні).
2. Штербачек З., Тауск П.. Перемешивание в химической промышленности. Л., Ленинградское отделение Госхимиздата, пер. чешского, под ред. И.С. Павлушенко, 1963 г., 416 с.
3. Рішення від 29.08.19 про видачу патенту України. МПК (2006.01) МПК C03B 5/18. Спіральна мішалка. / Тищенко К.В., Двойнос Я.Г.; заявник і патентовласник вони же. № u201904935; заявл. 04.06.19.