

Технічні науки

УДК 66.063.8

Семінський Олександр Олегович

*кандидат технічних наук, доцент кафедри
машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

Семинский Александр Олегович

*кандидат технических наук, доцент кафедры
машин и аппаратов химических и нефтеперерабатывающих производств
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

Seminskyi Oleksandr

*Candidate of Engineering, Associate Professor of the Department of
Machines and Apparatus for Chemical and Oil Refining Production
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

Онищенко Дмитро Миколайович

*магістрант кафедри
машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

Онищенко Дмитрий Николаевич

*магистрант кафедры
машин и аппаратов химических и нефтеперерабатывающих производств
Национального технического университета Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

Onyshchenko Dmytro

*Master Degree Student of the Department of
Machines and Apparatus for Chemical and Oil Refining Production of the
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

**ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ РОТОРНО-
ПУЛЬСАЦІЙНИХ АПАРАТІВ У ПРОМИСЛОВИХ ЛІНІЯХ
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
РОТОРНО-ПУЛЬСАЦИОННЫХ АППАРАТОВ В
ПРОМЫШЛЕННЫХ ЛИНИЯХ
ANALYSIS OF SPECIFICS OF INDUSTRIAL APPLICATIONS OF
ROTOR-STATOR MIXERS**

***Анотація.** За результатами аналізу варіантів встановлення роторно-пульсаційних апаратів у промислових лініях виявлено, що їх раціональне комбонування з іншим технологічним обладнанням дозволяє суттєво підвищити ефективність виробництва як у напрямі інтенсифікації, так і у напрямі покращення якості продукції. Визначено, вплив способу включення роторно-пульсаційних апаратів у промислових лініях на ефективність проведення процесів та якість продукції. Описано варіанти підключення роторно-пульсаційних апаратів, у залежності від їх типу, робочого середовища та технологічного призначення. Встановлено сучасні тенденції впровадження роторно-пульсаційних апаратів у виробництво.*

***Ключові слова:** роторно-пульсаційний апарат, диспергування, гомогенізація, емульсія, суспензія.*

Аннотация. По результатам анализа вариантов установки роторно-пульсационных аппаратов в промышленных линиях обнаружено, что их рациональная компоновка с другим технологическим оборудованием позволяет существенно повысить эффективность производства как в направлении интенсификации, так и в направлении улучшения качества продукции. Определено, влияние способа включения роторно-пульсационных аппаратов в промышленных линиях на эффективность проведения процессов и качество продукции. Описаны варианты подключения роторно-пульсационных аппаратов, в зависимости от их типа, рабочей среды и технологического назначения. Установлены современные тенденции внедрения роторно-пульсационных аппаратов в производство.

Ключевые слова: роторно-пульсационный аппарат, диспергирование, гомогенизация, эмульсия, суспензия.

Summary. According to the research results of the installation types of rotor-stator mixers in the industrial lines, it has been revealed that their combination with other technological equipment can significantly improve the efficiency of production both related to the process intensification and to the products quality. The influence of the method of the rotor-stator mixers inclusion in the industrial lines on the processes efficiency and the products quality has been determined. The authors and discuss the types of the rotor-stator mixers connection, depending on their type, working environment and technological purpose. The authors conclude on the modern tendencies of manufacturing application of the rotor-stator mixers.

Key words: rotor-stator mixer, dispersing, homogenization, emulsion, suspension.

Постановка проблеми. Підвищення ефективності хіміко-технологічного обладнання є актуальним напрямом розвитку науки і техніки, якому приділяється значна увага в Україні і світі. Один із прогресивних методів інтенсифікації процесів у рідких середовищах полягає у проведенні їх у роторно-пульсаційних апаратах, в яких обробка рідин здійснюється внаслідок комплексної дії механічних (удар, зсув) і гідродинамічних (тертя, пульсації тиску, кавітація та ін.) впливів.

При дослідженні РПА основна увага приділяється модифікаціям їх конструкцій [1], впливу конструкційних та режимних параметрів на характеристики течії середовищ в апаратах [2] і методам розрахунку робочих органів [3]. Але на ефективність протікання процесів і кінцеву якість продукції, окрім зазначених аспектів, впливає і спосіб включення РПА у промислові лінії. Тематичний огляд джерел інформації вказує на недостатню вивченість цього питання.

Мета даного дослідження полягає в узагальненні результатів пошуку варіантів компонування РПА в промислових лініях і визначенні області їх ефективного використання.

Результати дослідження. При проведенні процесів у рідинах у періодичному режимі набули поширення РПА, інтегровані з ємкісним обладнанням. За способом встановлення РПА такі агрегати поділяються на зануреного (рис. 1а, 1б) [4; 5] і вмонтованого (рис. 1в, у нижній частині) [6] типів.

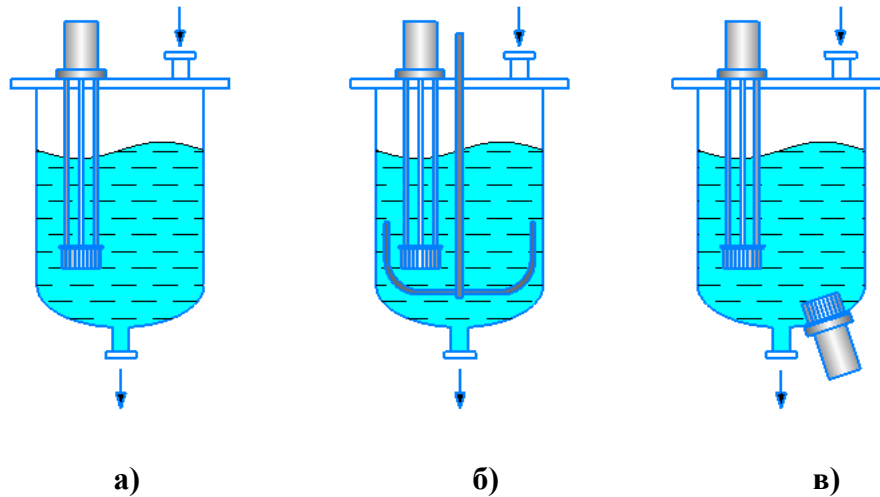


Рис. 1. Схеми РПА, інтегрованих з ємкісним обладнанням

Обробка рідкого середовища у обладнанні з РПА зануреного типу (рис. 1а) відбувається шляхом його циклічного прокачування крізь робочі органи РПА, що викликано обертанням ротора з високою швидкістю, внаслідок чого рідке середовище піддається впливу сукупності гідромеханічних ефектів змінної інтенсивності. Підвищення ефективності обладнання може бути досягнуто поєднанням дії РПА зануреного типу і перемішуючого пристрою (рис. 1б) або РПА зануреного і вмонтованого типів (рис. 1в). Також вказані варіанти компоновання дозволяють покращити циркуляцію рідин у ємкісних апаратах великих об'ємів шляхом усунення застійних областей.

Поєднання у апаратах перемішувальних пристроїв з РПА дозволяє змішувати компоненти високої в'язкості та отримувати тонкі дисперсні системи. Наприклад, у косметичній галузі промисловості даний спосіб використовується для отримання високоякісних емульсій, таких як креми, лосьйони, шампуні, кондиціонери для волосся [7; 8], аналогічним чином у харчовій галузі промисловості змішуються смакові домішки для отримання соусів [9; 10], а у хімічній – фарби [11].

Обробка рідин в ємкісних апаратах з РПА може проводитись як за атмосферного тиску (при виробництві біодизелю або змащувальних масл

[12;13], концентрованих емульсій медичного призначення [14; 15], добрив у вигляді суспензійних концентратів [16] та ін.), так і в умовах розрідження (найчастіше у фармацевтиці та при виробництві косметики, наприклад, для отримання багатокомпонентних сумішей, таких як зубна паста, креми та мазі [17; 18]).

У потокових лініях або в установках із зовнішньою рециркуляцією використовуються РПА проточного типу, в яких робочі органи розміщені у компактному роз'ємному корпусі з входним і вихідним патрубками [19; 20].

У РПА проточного типу в лініях з однократним пропусканням рідини через апарат для забезпечення рівномірності обробки особливої важливості набуває однорідність розподілення вихідних компонентів у рідині, що подається в пульсаційний вузол. Для її досягнення застосовуються трубопроводи з багатокомпонентним введенням (рис. 2а), а також попередня обробка у статичних змішувачах (рис. 2б) [19-21].

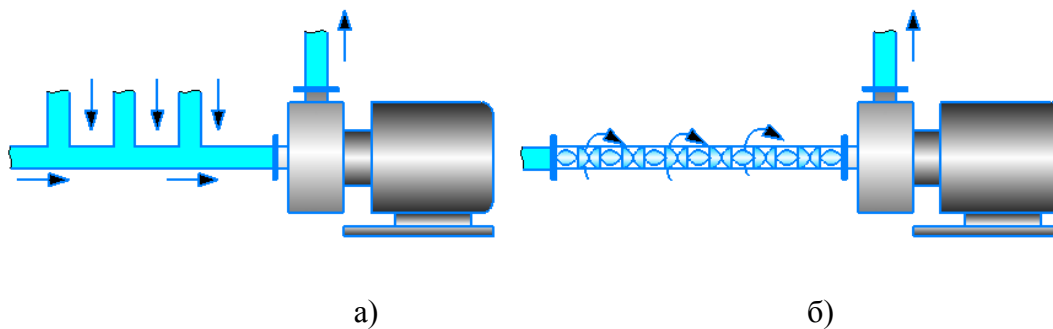


Рис. 2. Багатокомпонентне змішування в РПА проточного типу

При обробці малов'язких рідин циркуляція через РПА відбувається внаслідок його власної насосної дії, але при обробці високов'язких рідин та рідин зі значним вмістом твердої фази, для забезпечення рівномірної подачі оброблюваного середовища, перед РПА встановлюють додатковий насос, або застосовують РПА зі шнеком, встановленим на вході у пульсаційний вузол [22; 23].

При отриманні стійких емульсій застосовуються РПА робоча камера якого містить пристрій для введення контактуючих фаз у вигляді інжекційного вузла для перемішування, сопло якого розташоване в робочій камері апарата. Така конструкція дозволяє підвищити однорідність отриманої емульсії при одночасному забезпеченні високого ступеня її дисперсності [24].

Для приготування водо-вугільних суспензій, тонкодисперсного подрібнення гірських порід, знезараження та стерилізації продуктів, приготування рідких кормів, злаків та ін. застосовуються РПА проточного типу, що працюють у кавітаційному режимі [25]. У таких апаратах, за рахунок кавітації і супроводжуваного нею підвищення температури рідини, що піддається обробці, відбувається знищення патогенної мікрофлори, інтенсифікується утворення стійких емульсій та суспензій і т. ін.

В окремих випадках для підвищення ступеня диспергування, а також продуктивності процесів емульгування та диспергування, наприклад, при подрібненні твердих залишків піролізу зношених шин з метою повторного використання їх як технічного вуглецю, на вхідному патрубку РПА встановлюють пристрій для створення додаткових пульсацій у формі трубки Вентурі, на вході якої встановлено корпус, що містить шток, з вершиною у вигляді конуса, який спрямований в бік критичного перерізу трубки Вентурі, при цьому шток виконано з можливістю осевого переміщення [26].

Набули поширення технологічні схеми, в яких відбувається багатократна зовнішня рециркуляція рідкого середовища через робочі органи проточного РПА (рис. 3а). При малому об'ємі рециркуляційної ємкості в ній забезпечується ефективно перемішування внаслідок турбулізації потоку, але при великих об'ємах цього не достатньо, тому рекомендується встановлення додаткового перемішуючого пристрою (рис.

Зб), зануреного або вмонтованого РПА (рис. 3в). Занурювані РПА працюють замість мішалок, забезпечуючи високу ефективність перемішування. Такі технологічні схеми застосовуються для приготування дисперсних систем (емульсій, суспензій, паст та ін.), розчинення твердих тіл та екстрагування. Рециркуляційний спосіб підключення використовується в хімічній промисловості при приготуванні наповнювачів на целюлозно-паперових виробництвах [27], для змішування нагрітих до високої температури високов'язких сумішей, для отримання суспензій дрібних частинок порошку та смол з різними хімічними компонентами [29]. Спосіб також ефективний при отриманні емульсій в системі «вода–масло» [30]. При змішуванні паливних компонентів з водою рециркуляційний спосіб запобігає утворенню флокул, також він використовується для змішування багатоконпонентних систем типу «вода–кислоти–полімер–солі» [31]. Крім того, цей спосіб дозволяє одержувати високоякісні водо вугільні суміші [28]. На фармацевтичних виробництвах за допомогою рециркуляційного способу отримують вакцини і лікарські сиропи та окремі види м'яких лікарських форм [32]. Рециркуляційний спосіб дозволяє ефективно розчиняти цукри і активні речовини за температури навколишнього середовища [3].

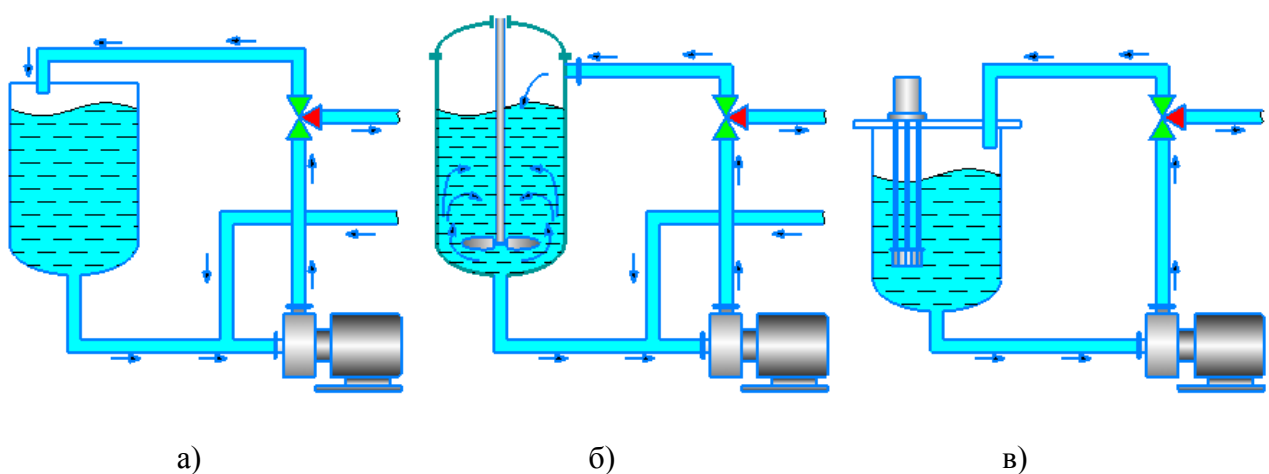


Рис. 3. Варіанти рециркуляційних схем обробки рідин з використанням РПА

Однак, описаний спосіб має вагомий недолік – неоднакові умови обробки окремих малих об'ємів середовища, оскільки кратність їх проходів через пульсаційний вузол різна. Це викликає велику розбіжність ступеня диспергування та однорідності кінцевого продукту. З метою усунення вказаних недоліків може використовуватися спосіб обробки дисперсних систем, що полягає у перевантаженні через РПА робочого середовища з одного резервуару в інший та назад (рис. 4). У цьому випадку схема має додаткову ємність та систему трубопроводів, які дозволяють виконувати перевантаження через РПА робочого середовища. При цьому забезпечуються однакові умови обробки для кожного елементарного об'єму робочого середовища [1; 33; 34].

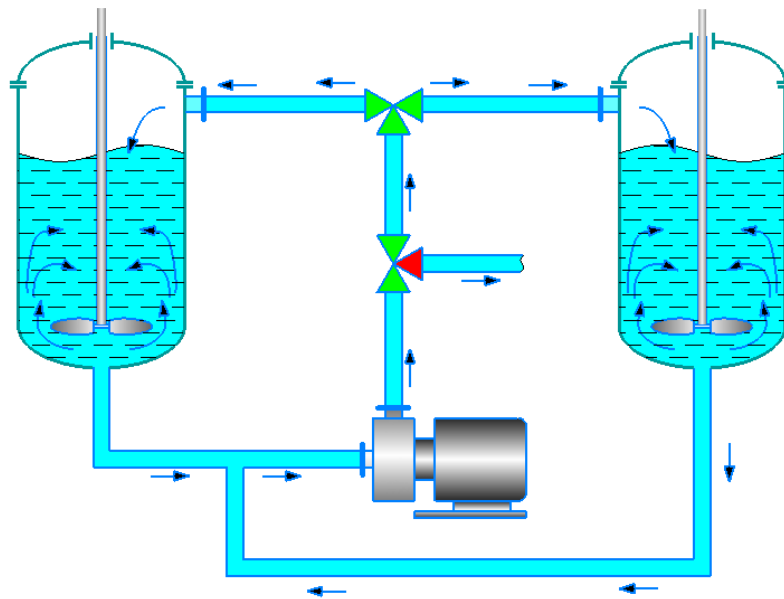


Рис. 4. Рециркуляційний спосіб обробки рідин з перевантаженням

Ефективність рециркуляційного способу та способу перевантажень через РПА в процесах приготування тонкодисперсних систем може бути підвищена шляхом встановлення гідроциклону в додатковому циркуляційному контурі замкнутому на РПА (рис. 5).

Застосування гідроциклонів в процесі приготування лікарських засобів з тонко-дисперсною фазою дозволяють отримати продукцію з

заданим розміром дисперсних частинок [1]. На схемі (рис. 5а) гідроциклон розділяє отриману в РПА суспензію на тонкодисперсний продукт та крупну фракцію, що повертається в РПА з новою суспензією. У цьому випадку суспензія класифікується після обробки в РПА. У способі з попередньою класифікацією (рис. 5б) суспензія подається до першого циклону, де розділяється на тонкодисперсний продукт та крупну фракцію. Після цього крупна фракція потрапляє до РПА та до другого циклону. Такі схеми виключають надлишкову обробку в РПА тонкодисперсних фракцій, що знаходяться у початковій суспензії.

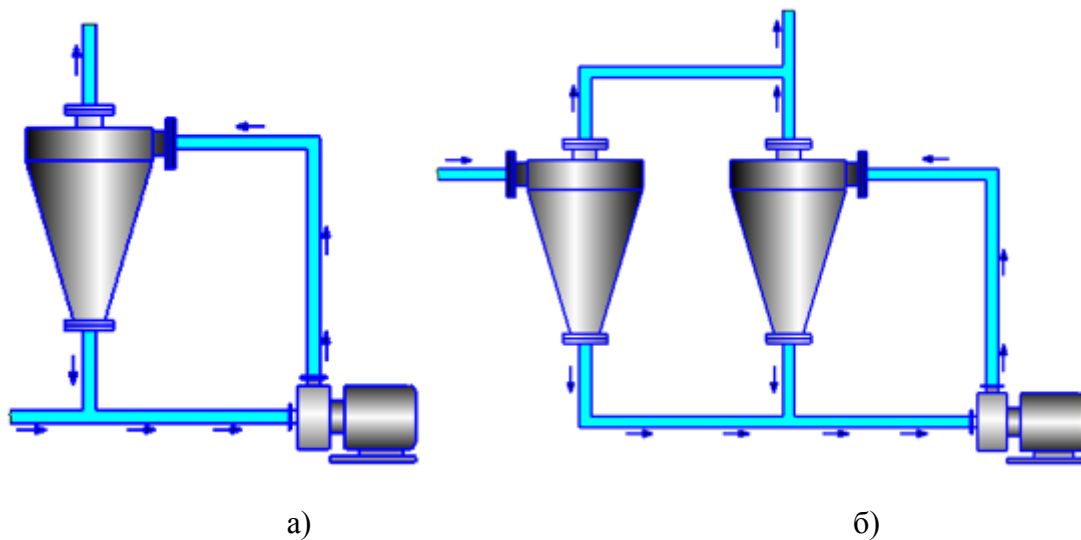


Рис. 5. Способи обробки рідини з використання гідроциклонів

У харчових і хімічних виробництвах часто виникає потреба в одержанні рідких сумішей, до складу яких входять тонкодисперсні сипучі матеріали, завантаження яких безпосередньо у ємкість з рідиною призводить до агломерації частинок, утворення флокул або налипання компонентів на стінках обладнання, забруднення повітря пилом. Для запобігання цим негативним явищам застосовують рециркуляційні схеми з додатковим резервуаром для сипучих речовин, який встановлюється перед входом в робочу камеру проточного РПА (рис. 6) [35]. Частици сипучої речовини засмоктуються завдяки розрідженню, що створюється на вході в

апарат його ротором, перемішуються з рідиною в пульсаційному вузлі, після чого суміш перекачується до ємкості, обладнаної зануреним РПА.

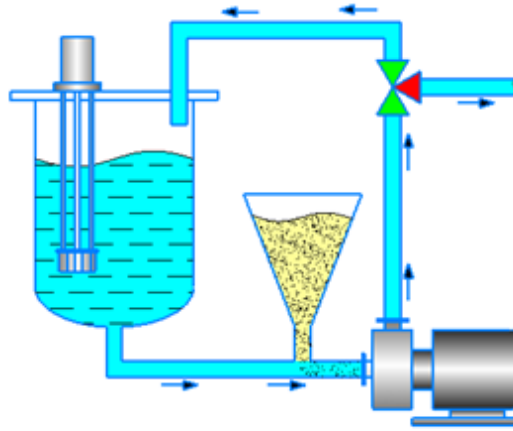


Рис. 6. Схеми обробки рідини з використання резервуару для сипучих речовин

Схема з додатковим резервуаром для сипучих речовин застосовується при отриманні напоїв, виробництві молочних продуктів, хімічних засобів та ін. Вона дозволяє суттєво зменшити час виробничого циклу, забезпечити повне використання і рівномірне розподілення дисперсної фази в рідині [36-40].

Висновки. За результатами аналізу варіантів встановлення РПА в промислових лініях виявлено, що раціональне компонування роторно-пульсаційних апаратів з іншим технологічним обладнанням дозволяє суттєво підвищити ефективність виробництва як у напрямі інтенсифікації, так і у напрямі покращення якості продукції.

Серед сучасних тенденцій технологічного використання РПА слід виділити: 1) схеми з використанням ємкісного обладнання і двох РПА (схема з поєднанням в одну установку ємкості та встановлених у ній РПА зануреного і вбудованого типів, а також варіанти схеми з рециркуляцією рідини по контуру «ємкість – РПА проточного типу», наприклад, з проміжним завантаженням компонентів, з ємкістю, оснащеною зануреним

РПА тощо); 2) поєднання РПА з апаратами інших типів такими як статичні змішувачі, сопла, кавітатори та ін.

Потенціал РПА, як високоефективного обладнання залишається невичерпаним, що актуалізує розробки нових технологічних рішень з їх використанням.

Література

1. Балабудкин М.А. Роторно-пульсационные аппараты в химико-фармацевтической промышленности / М.А. Балабудкин. – М.: Медицина, 1983. – 160 с.
2. Гидродинамика, теплообмен и эффекты дробления во вращательно-пульсирующих потоках / Б.І. Басок, Б.В. Давиденко, А.О. Авраменко, І.А. Пироженко. – Київ: Експрес, 2012. – 296 с.
3. Богданов, В. В. Эффективные малообъемные смесители /В. В. Богданов, Е. И. Христофоров, Б. А. Клоцунг. – Л. : Химия, 1989. –224 с.
4. Batch mixers [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.silverson.com/images/uploads/documents/US_Brochure_Batch.pdf
5. What’s New In High Shear Mixers [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.mixers.com/articles/pharmaonline_article.pdf
6. Bottom entry mixers [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.silverson.com/images/uploads/documents/US_Brochure_BottomEntry.pdf
7. Shampoo Mixing [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dynamifluid.com/portfolio-items/shampoo-mixing/?portfolioID=1150>.

8. Cream/lotion Mixing [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dynamifluid.com/portfolio-items/cream-lotion-mixing/?portfolioID=1150>
9. Manufacture of Tomato Sauces and Ketchups [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.silverson.com/images/uploads/documents/F_Tomato_Ketchups_2016_US.pdf
10. Preparation of Mustards [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.silverson.com/images/uploads/documents/F_Mustard_2016_US.pdf.
11. Solvent-based Paint Mixing [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dynamifluid.com/portfolio-items/solvent-based-paint-mixing/?portfolioID=1147>
12. Biodiesel Mixing [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dynamifluid.com/portfolio-items/biodiesel-mixing>
13. Lube Oil Mixing [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dynamifluid.com/portfolio-items/lube-oil-mixing>
14. Vaccine Emulsifying [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dynamifluid.com/portfolio-items/vaccine-emulsifying/?portfolioID=1156>
15. Injection Emulsion Emulsifying [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dynamifluid.com/portfolio-items/injection-emulsion-emulsifying/?portfolioID=1156>
16. Agrochemical EW Manufacture [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dynamifluid.com/portfolio-items/agrochemical-ew-manufacture/?portfolioID=1147>
17. Toothpaste Mixing [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dynamifluid.com/portfolio-items/toothpaste-mixing/?portfolioID=1150>

18. Creams & Ointments Mixing [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dynamifluid.com/portfolio-items/creams-ointments-mixing/?portfolioID=1156>
19. In-Line mixers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.silverson.com/images/uploads/documents/US_Brochure_InLine.pdf
20. High shear in-line mixers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sideris-industrial.com/images/silverson-hellas/silverson%20brochures%20pdf/in-line.pdf>
21. Inline mixing of gases and liquids [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.mixers.com/insights/mti_70.pdf
22. Пат. 5042726 United States. Apparatus and method for conjoint adjustment of both the inner and outer grinding spaces of pulp defibrating apparatus / Rolf, Reinhall, Bellevue, Wash; заявитель и патентообладатель Sunds Defibrator — опубл. 27.08.91.
23. Пат. 2257948 Российская Федерация, МПК В01F 7/00. Пульсационный аппарат роторного типа / Понькин В.Н.; заявитель и патентообладатель ООО «Авиамотор». — 2003136323/15; заявл. 09.12.03; опубл. 10.08.05, Бюл. №22.
24. Пат. 2299091 Российская Федерация, МПК В01F 3/08, В01F 7/28. Роторно – пульсационный аппарат для получения преимущественно систем «Жидкость - жидкость» / Сакович Г.В.; заявитель и патентообладатель Ин-т проблем химико – энергетических технологий СО. —
25. Пат. 2357791 Российская Федерация, МПК В01F 7/00. Роторный гидродинамический кавитационный аппарат / Петраков А.Д.; заявитель и патентообладатель Петраков А.Д., Радченко С.М., Яковлев О.П. — 2007143408/15; заявл. 22.11.2007; опубл. 10.06.2009, Бюл. №1.

26. Пат. 200805667 Україна, МПК В01F 7/00, В06В 1/18. Роторно-пульсаційний апарат/ Виноградов Б.В.; заявитель и патентообладатель Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет». — 200805667/15; заявл. 30.04.08.
27. Preparation of Paper Coatings [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.silverson.com/images/uploads/documents/C_Paper_Clay_Slurry_2016_US.pdf
28. Coal Water Slurry Mixing [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dynamifluid.com/portfolio-items/coal-water-slurry-mixing/?portfolioID=1147>
29. Graphene Mixing [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dynamifluid.com/portfolio-items/graphene-mixing/?portfolioID=1147>
30. Manufacture of Water-In-Oil Emulsified Vaccines [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.silverson.com/images/uploads/documents/SEPPIC_Vaccines_US.pdf
31. High Speed Dispersion of Bentonite [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.silverson.com/images/uploads/documents/C_Bentonite_Dispersion_2016_US.pdf
32. Pharmaceutical Syrup Mixing [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dynamifluid.com/portfolio-items/pharmaceutical-syrup-mixing/?portfolioID=1156>
33. Production of Margarine and Low Fat Spreads [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.silverson.com/images/uploads/documents/F_Margarine_2016_US.pdf

34. Production of Flavor Emulsions [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
http://www.silverson.com/images/uploads/documents/F_Flavour_Emulsions_2016_US.pdf
35. Silverson powder/liquid mixers [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
http://www.silverson.com/images/uploads/documents/US_Brochure_Flash_mix.pdf
36. Manufacture of Baby Milk and Infant Formula [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.silverson.com/us/resource-library/application-reports/manufacture-of-baby-milk-and-infant-formula>
37. Industrial Dairy Mixing [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://www.dynamifluid.com/portfolio-items/industrial-dairy-mixing/?portfolioID=1153>
38. Pharmaceutical Suspension Mixing [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dynamifluid.com/portfolio-items/pharmaceutical-suspension-mixing/?portfolioID=1156>
39. Beverage Mixing [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://www.dynamifluid.com/portfolio-items/beverage-mixing/?portfolioID=1153>
40. Fumed Silica Dispersion [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://www.dynamifluid.com/portfolio-items/fumed-silica-dispersion/?portfolioID=1147>