

УДК 622.7

В.С. БІЛЕЦЬКИЙ, д-р техн. наук,

Ю.С. МІЩУК

(Україна, Полтава, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка)

ЗАСТОСУВАННЯ МОДУЛЯ FLOW SIMULATION ПРОГРАМНОГО СЕРЕДОВИЩА SOLIDWORKS ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ І ПРОЕКТУВАННЯ ГІДРО- ТА АЕРОМЕХАНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ (НА ПРИКЛАДІ ПЕРЕМІШУВАЧА "ТУРБОТРОН")

Постановка проблеми. Комп'ютерна система Flow Simulation програмного середовища SolidWorks істотно змінила практику дослідження і моделювання гідро- та аеромеханічних пристроїв, зокрема, широко застосовуваних при переробці корисних копалин.

SolidWorks є конструкторською системою твердотілого параметричного моделювання машинобудівельних конструкцій, що надає можливість побудови комплексу автоматизації конструкторських та технологічних робіт. Вбудовані аналітичні функції підтримують роботу програмних інструментів і рішень SolidWorks Simulation, дозволяючи конструкторам та інженерам моделювати і аналізувати роботу продукту. Все це дає можливість швидко і легко користуватися методами моделювання для оптимізації роботи на етапі проектування, а також уникнути витрат на дорогі прототипи, виправлення, доопрацювання, зекономити час та витрати на розробку пристроїв [1].

Пропонована стаття стосується методики застосування комп'ютерної системи Flow Simulation в практиці дослідження і проектування гідро- та аеромеханічної техніки.

Мета статті – на прикладі перемішувача "Турботрон" поширити досвід застосування модуля Flow Simulation програмного середовища SolidWorks для вирішення дослідницьких і проектувальних задач моделювання гідро- та аеромеханічних пристроїв.

Виклад основного матеріалу

Модуль Flow Simulation програмного середовища SolidWorks дає можливість моделювання процесів: – стаціонарні і нестаціонарні течії; – стискувані і нестискувані (рідина або газ) течії, включаючи до-, транс– і надзвукові режими; – ідеальні і реальні гази; – ньютонівські рідини; – одно і багатоконпонентні течії без хімічних взаємодій і розділення фаз; – спільні розрахунки течії рідини або газу та теплопередачі всередині твердого тіла без наявності границі розділення газ – рідина; – ламінарні і турбулентні течії, враховуючи ламінарний/турбулентний перехід; – "заморожування" течій для розділення "швидких" і "повільних" процесів; – течії в пористих середовищах з урахуванням теплоп-

ровідності стінок; – урахування шорсткості стінок; – зовнішні і/або внутрішні течії; – конвекційний теплообмін, вільна, вимушена або змішана конвекція; – радіаційний теплообмін з управлінням прозорістю стінок і розділенням властивостей стінок для теплообміну випромінюванням і сонячною радіацією; – розрахунок траєкторій твердих частинок і крапель в потоці та ін.

Початковими і граничними умовами можуть задаватися наступні вихідні параметри:

- швидкість, тиск (статичний, динамічний, оточуючого середовища), масові та об'ємні витрати;
- температура, концентрація компонентів, параметри турбулентності;
- витратно-напірні характеристики віртуальних вентиляторів;
- різноманітні типи стінок, включаючи шорсткість, коефіцієнт тепловіддачі і параметри умовного середовища на стінках, що не межують з реальним текучим середовищем;
- джерела тепла (об'ємні і поверхневі), віртуальні тепло вентилятори;
- можливості вказати залежність граничних умов та параметрів від часу та координат;
- симетрія відносно базових площин і періодична симетрія.

Результати дослідів виводяться у вікні SolidWorks. Існує можливість виводу функції на будь-якій площині у вигляді кольорових епюр, векторів та ізоліній, відображення результатів за допомогою ізоповерхонь. За результатами розрахунків можна створювати трирівневі траєкторії; виводити характеристики розрахунків, розподіл будь-якої характеристикою вздовж будь-якої кривої в MS Excel.

Проведемо дослідження за допомогою модуля Flow Simulation програмного середовища SolidWorks на прикладі лопатевої мішалки типу "Турботрон" (рис. 1), яка застосована, зокрема, в процесі масляної флотації "Оліфлок" [3].

В першу чергу побудуємо 3D модель мішалки з використанням для дослідів різні конструкції:

- установки додаткових пластин;
- зміна кута повороту пластин;
- зміна конструкції лопатей.

Задаємо розрахункову область у вигляді прямокутного паралелепіпеда (рис. 2). Вихідними фізичними характеристиками вказуємо типи потоку – ламінарний і турбулентний, адіабатний процес.

Для лопатей вказуємо області обертання з кутовою швидкістю 150 об/хв. Через вхідний патрубок здійснюється подача пульпи (наприклад, бурового розчину, водо-вугільної суспензії тощо) густиною 1250 кг/м^3 зі швидкістю 10 л/с. Для вихідного патрубка термодинамічним параметром вказуємо статичний тиск 101325 Па (1 атм).

Розрахуємо поле швидкостей у робочій зоні лопатевої мішалки типу "Турботрон". При цьому виберемо декілька варіантів конструкції "Турботрона":

1 – турботрон оснащено додатковими обертовими пластинами, конструкція імелера – базова з вертикальними лопатями (досліди 1-4);

Гравітаційна сепарація

2 – турботрон без додаткової обертової пластини, конструкція імелера – базова (дослід 5);

3 – турботрон без додаткової обертової пластини (базовий варіант), конструкція імелера – модернізована, пропелерного типу (дослід 6);

4 – турботрон без додаткової обертової пластини, конструкція імелера – модернізована, з дворядними вертикальними лопатями (дослід 7).

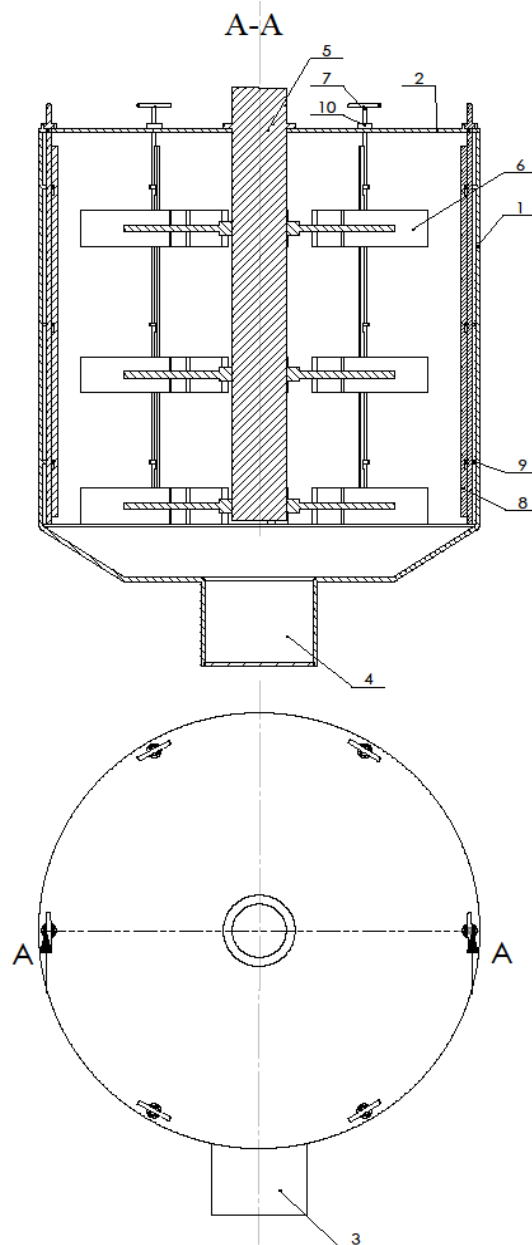


Рис. 1. Лопатева мішалка. Загальний вид:

- 1 – корпус; 2 – кришка; 3 – ввідний патрубок; 4 – вивідний патрубок;
5 – вертикальний обертовий вал; 6 – лопатевий робочий орган; 7 – стержень;
8 – обертова пластина; 9 – кріпильні вушка; 10 – фіксатор

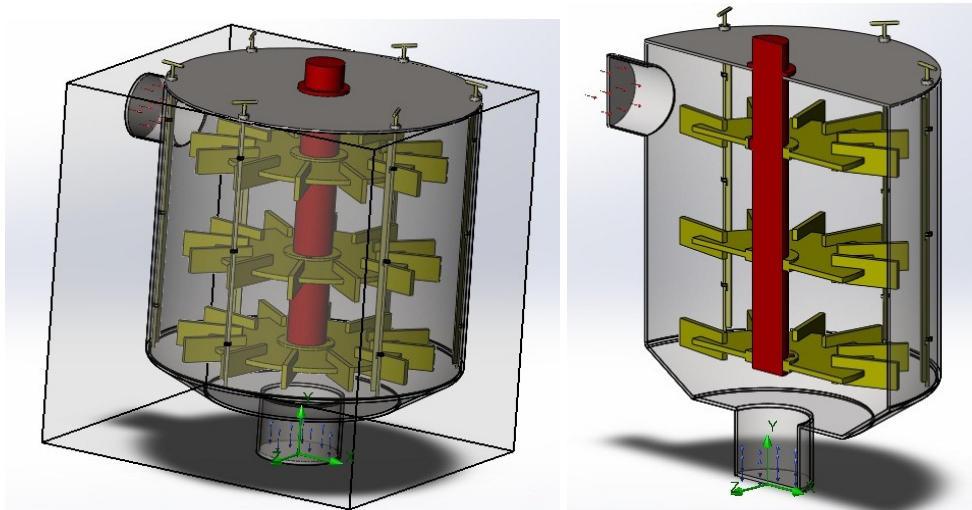
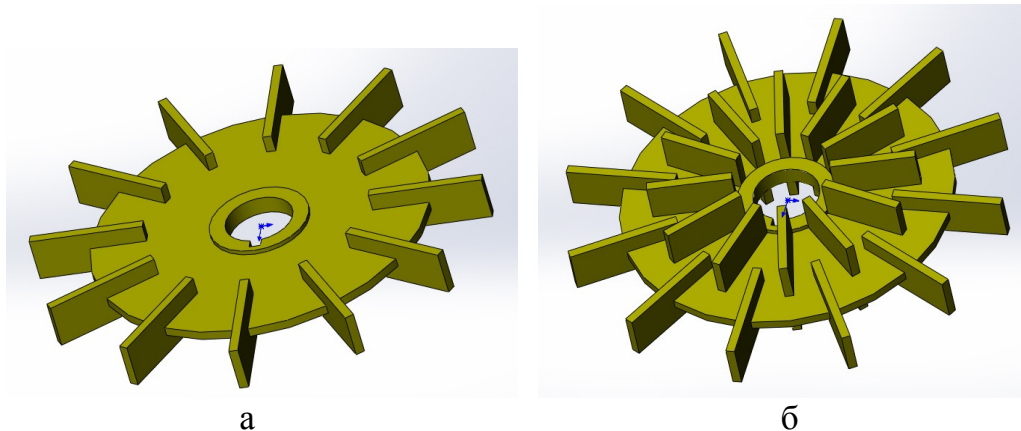


Рис. 2. 3D-модель розрахункової області для задання вихідних даних при моделюванні лопатевої мішалки типу "Турботрон" Flow Simulation

Конструкція "Турботрона" з додатковою обертовою пластиною запатентована в Україні (рис. 1) [2]. Суть корисної моделі полягає в тому, що всередині циліндричного корпусу на його стінках діаметрально протилежно по висоті твірної циліндра встановлюють обертові пластини, котрі жорстко прикріплюють до стержня, який поміщують у вушка, закріплені на стінках корпусу, на кришці корпусу на кожній пластині встановлюють фіксатори кута її відхилення. У робочому режимі фіксаторами забезпечують однаковий кут відхилення діаметрально розташованих пластин.

При перемішуванні суспензії пластини встановлюють під однаковим кутом до дотичної циліндричного корпусу і фіксують це положення. За наявності пластини поле турбулентностей стає рівномірним по робочому об'єму мішалки. Це унеможливує осідання твердих частинок на стінках і дні, забезпечує рівномірну гомогенізацію суспензії (гідросуміші).

На рис. 3 подано 3D-моделі застосованих в досліді імперелерів.



Гравітаційна сепарація

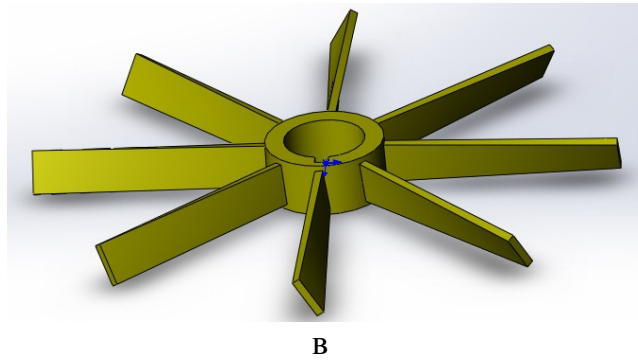


Рис. 3. 3D-моделі імпелерів:
 а – базова конструкція; б – модернізована, пропелерного типу;
 в – модернізована, з дворядними вертикальними лопатями

Одержані результати досліджень зведені в таблицю 1.

Аналіз одержаних моделей поля швидкості та відповідних графіків зміни швидкостей відносно твірної циліндра (криві $v(l)$) показує, що за наявності обертових пластин (досліди 1-4) крива швидкості має плавний характер, а без цих пластин (досліди 5-7) спостерігаються характерні сходинкоподібні ділянки кривої $v(l)$ зі зменшеним градієнтом зміни швидкості по твірній.

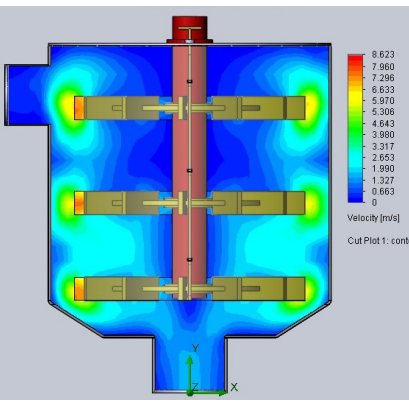
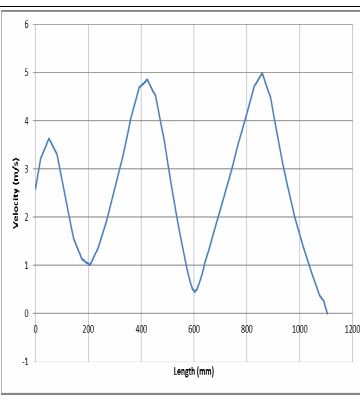
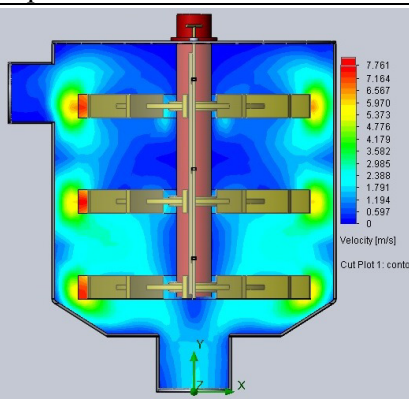
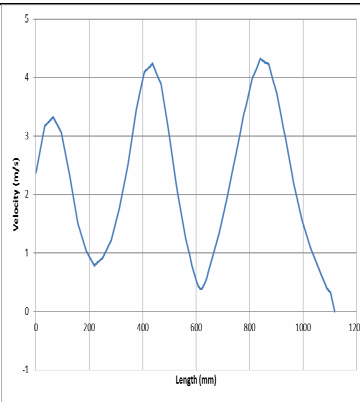
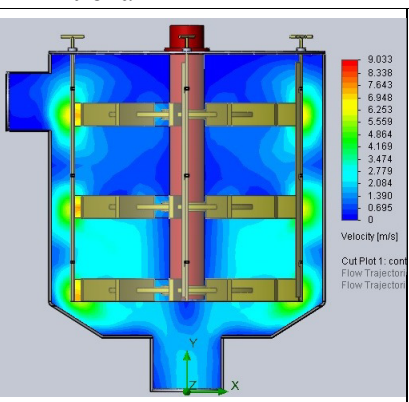
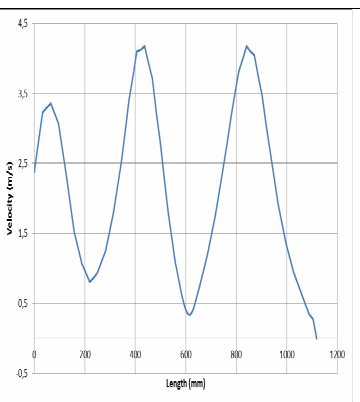
Завихреність рідини значно більша в положенні пластин проти потоку (досліди 3 і 4) та в досліді з використанням модернізованого імпелера з дворядними вертикальними лопатями (дослід 7).

Таблиця 1

Результати моделювання лопатевої мішалки типу "Турботрон" Flow Simulation					
№ досліду	Модель поля швидкостей мішалки, м/с	Графік зміни швидкостей v (м/с) відносно твірної l (мм), (криві $v(l)$)	Показник	Мін значення	Мак значення
	Опис конструкції				
1	2	3	4	5	6
1			Тиск, Па	97019,74	190396,7
			Температура, К	293,18	348,81
			Густина, кг/м ³	1250,00	1250,00
			Швидкість, м/с	0	9,064
Турботрон оснащено двома діаметрально встановленими додатковими обертовими пластинами, кут відхилення 65° за потоком, конструкція імпелера – базова з вертикальними лопатями			Завихреність, 1/с	0.635	191,684

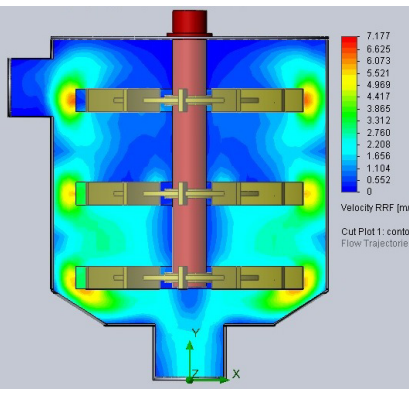
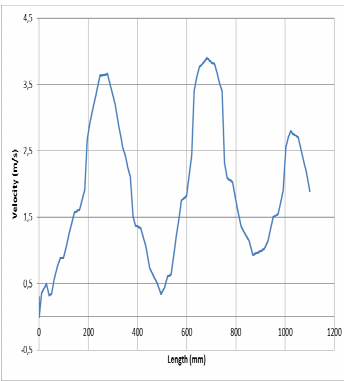
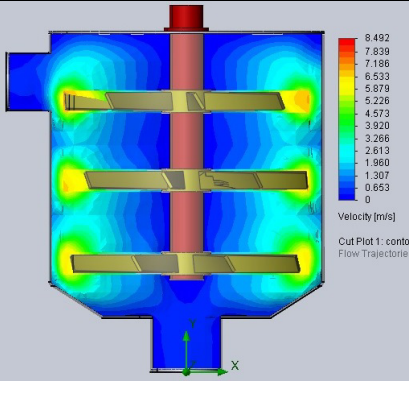
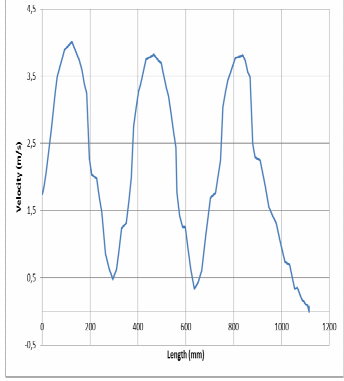
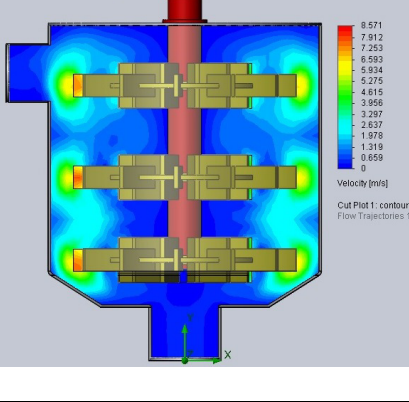
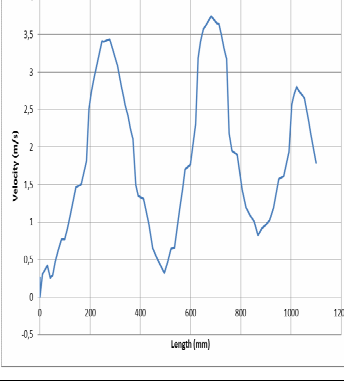
Гравітаційна сепарація

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6
2			Тиск, Па	89331,85	186771,5
			Температура, К	293,20	348,41
3			Тиск, Па	84943,26	468694,8
			Температура, К	293,19	350,16
4			Тиск, Па	89719,11	199458,5
			Температура, К	293,16	353,86
2	<p>Турботрон оснащено двома діаметрально встановленими додатковими обертовими пластинами, кут відхилення 90° (перпендикулярно потоку), конструкція імпелера – базова з вертикальними лопатями</p>		Густина, кг/м ³	1250,00	1250,00
			Швидкість, м/с	0	8,623
3	<p>Турботрон оснащено двома діаметрально встановленими додатковими обертовими пластинами, кут відхилення 65° проти потоку, конструкція імпелера – базова з вертикальними лопатями</p>		Завихреність, 1/с	0,310	185,433
			Тиск, Па	84943,26	468694,8
4	<p>Турботрон оснащено шістьма діаметрально встановленими додатковими обертовими пластинами, кут відхилення 65° проти потоку, конструкція імпелера – базова з вертикальними лопатями</p>		Температура, К	293,19	350,16
			Густина, кг/м ³	1250,00	1250,00
2			Швидкість, м/с	0	13,412
			Завихреність, 1/с	0,298	359,180
3			Тиск, Па	89719,11	199458,5
			Температура, К	293,16	353,86
4			Густина, кг/м ³	1250,00	1250,00
			Швидкість, м/с	0	9,033
2			Завихреність, 1/с	0,490	284,920
			Тиск, Па	89331,85	186771,5

Гравітаційна сепарація

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5	6
5			Тиск, Па	91224,93	210122,4
			Температура, К	293,22	352,11
			Густина, кг/м ³	1250,00	1250,00
			Швидкість, м/с	0	9,032
Базовий варіант турботрона (без додаткових обертових пластин), конструкція імелера – базова з вертикальними лопатями			Завихреність, 1/с	0,422	192,677
6			Тиск, Па	77612,79	145601,80
			Температура, К	293,19	351,91
			Густина, кг/м ³	1250,00	1250,00
			Швидкість, м/с	0	8,492
Базовий варіант турботрона (без додаткових обертових пластин), конструкція імелера – модернізована, пропелерного типу			Завихреність, 1/с	0	6,983
7			Тиск, Па	77174,81	794146,3
			Температура, К	293,20	354,54
			Густина, кг/м ³	1250,00	1250,00
			Швидкість, м/с	0	8,571
Базовий варіант турботрона (без додаткових обертових пластин), конструкція імелера модернізована, з дворядними вертикальними лопатями			Завихреність, 1/с	0,368	239,038

У дослідях 3-5 модель поля швидкостей більш однорідна – спостерігається проникнення швидкісних потоків в область поблизу вала. У досліді з викорис-

танням лопатей пропелерного типу спостерігається найкраще вирівнювання поля швидкостей в пристінній зоні, але швидкісні потоки значно менше відкидаються в центр турботрона (область вала).

Максимальна швидкість потоку рідини досягається у досліді 3, з використанням двох діаметрально розташованих обертових пластин, з кутом відхилення 65° проти потоку.

Перепад температури у всіх дослідях майже однаковий. Разом з тим, тиск пульпи при різних конструкціях турботрона суттєво змінюється: максимальне значення тиску у дослідях 3 (у 2 рази) та 7 (3,5-4 рази) більше ніж в інших. Цей ефект може бути пояснений зміною динамічного тиску і потребує додаткового дослідження (на моделях поля тисків).

Із проаналізованих варіантів найбільш ефективними за параметрами є, на нашу думку, варіанти 3 і 4. Для них максимальна швидкість пульпи 9-13 м/с, завихреність $359-285 \text{ с}^{-1}$, крива швидкості має плавний характер. Цікавим також є варіант 5: максимальна швидкість пульпи 9 м/с, завихреність 193 с^{-1} . У дослідях 3-5 спостерігається проникнення швидкісних потоків в область поблизу вала, модель поля швидкостей більш однорідна.

Висновки

1. Використання модуля Flow Simulation програмного середовища SolidWorks дає можливість виконувати цілий ряд операцій, необхідних для проектування і дозволяє оцінити результати в зручній для користувача формі.

2. Зокрема, модуль Flow Simulation дозволяє оптимізувати конструкцію мішалки за полем швидкостей, тиску, завихреністю.

3. Ресурс Flow Simulation програмного середовища SolidWorks відкриває якісно нові можливості аналізу варіантів конструкції мішалок, гомогенізаторів, апаратів для гравітаційного збагачення, зневоднення, згущення та ін. і їх оптимізації.

Список літератури

1. Darin Grosser. The Future of SolidWorks Has 'Always' Been. 2011. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://blog.dasisolutions.com/2011/09/27/the-future-of-solidworks-has-always-been-in-your-hands/>

2. Патент на корисну модель №109125 Україна, МПК B01F7/18. Лопатева мішалка / Білецький В.С. (UA), Міщук Ю.С. (UA), Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка (UA). № у 2016 01985; заявл. 29.02.2016; опубл. 10.08.2016, Бюл. №15.

3. Bogenschneider B. Die betriebliche Erprobung des Oliflok-verfahrens bei der Ruhrkohle A. G. / B. Bogenschneider, W. Erdman // Aufbereitungs – Technik. – 1981. – № 4. – S. 188-198.

4. SOLIDWORKS Flow Simulation. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://www.solidworks.com/sw/products/simulation/flow-simulation.htm>

© Білецький В.С., Міщук Ю.С., 2017

Надійшла до редколегії 14.01.2017 р.

Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим