

КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ЗМІНИ ШВИДКОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЇ ПЕРЕДАЧІ ЧЕРЕЗ СОНЯЧНЕ ЗУБЧАСТЕ КОЛЕСО

Розглянутий процес керування змінами швидкості за допомогою диференціальної передачі з замкнутою гідросистемою, коли ведучою ланкою є епіцикл, а веденою – водило, або навпаки. Керуючою ланкою є сонячне зубчасте колесо зв'язане з замкнутою гідросистемою, яка складається з гідронасоса, трубопроводів і регулювального дроселя. Коли регульовальний дросель відкритий, маємо те, що сонячне зубчасте колесо через зубчасту передачу приводить у рух гідронасос, який перекачує рідину в замкнутій гідросистемі. Якщо регульовальний дросель закритий, тоді замкнута гідросистема закрита, тобто гідронасос зупинений і, при цьому, сонячне зубчасте колесо зупинене. Таким чином, в залежності від пропускної здатності регулювального дроселя, швидкість сонячного зубчастого колеса змінюється і, при цьому, змінюється швидкість веденої ланки. За допомогою комп'ютерного моделювання отримані графічні залежності між швидкостями ведучої, керуючої та веденої ланок.

Ключові слова: керування швидкістю, диференціальна передача, сонячне зубчасте колесо, епіцикл, водило, замкнута гідросистема.

O.R. STRILETS

National University of Water Management And Nature Resources Use, Rivne

MANAGEMENT OF THE SPEED CHANGE VIA DIFFERENTIAL GEAR THROUGH SOLAR GEAR

Abstract – The article considers processes of speed change management via differential transmission with a closed hydrosystem when the driving element is an epicycle and the driven – is carrier or vice versa.

The aim of the research is to describe the structure and principle of speed change by differential transmission with a closed hydrosystem, to investigate the kinematics of the process.

The control element here is solar gear connected to closed hydrosystem. When the driving element is the epicycle, driven – is carrier and the management of carrier's speed is performed by changing the speed of solar gear, we have that solar gear drives the hydraulic pump that pumps fluid in a closed hydrosystem consisting of pipes and regulating throttle – when regulating throttle is opened. When regulating throttle is closed, then hydrosystem is immovable, hydraulic pump is stopped and so is solar gear.

Thus, depending on the bandwidth of regulating throttle, speed of solar gear changes, while changing the speed of the carrier. We received graphic dependences between velocities between driving and driven elements by means of computer programming.

Key words: speed management, differential gear, sun gear, epicycle, carrier, closed hydrosystem.

Постановка проблеми

При виконанні робіт у різних галузях промисловості і забезпечення різних технологічних процесів виникає необхідність керування процесами зміни швидкості у техніці за величиною та напрямком її виконавчих механізмів. У вітчизняній і зарубіжній техніці широко відомі способи і пристрої сходового та безсходового керування швидкістю за величиною та напрямком у вигляді сходових та безсходових коробок передач. Відомі способи керування змінами швидкості мають багато недоліків. Основними недоліками сходового керування швидкістю є складність конструкції пристроїв, їх велика матеріаломісткість, великі динамічні навантаження, які виникають при переході з однієї швидкості на іншу, навіть з використанням синхронізаторів. Основним недоліком безсходового керування швидкістю можна назвати велике спрацювання деталей через використання фрикційних зв'язків, як правило, фрикційних гальм та блокувальних фрикційних муфт. Внаслідок цього зменшується довговічність і надійність деталей приводів і машин в цілому. Тому виникають задачі створення нових способів і пристроїв керування змінами швидкості, які усувають згадані недоліки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Останнім часом виконані огляди і проведений широкий аналіз способів і пристроїв для керування процесом зміни швидкості [1-5], запропонована їх класифікація [6], обґрунтована можливість керування змінами швидкості за допомогою диференціальних передач [8], розроблені нові пристрої на рівні патентів [8-13] для безсходового керування змінами швидкості за допомогою диференціальних передач з замкнутою гідросистемою. Однак теоретичні та експериментальні дослідження для нового способу і пристроїв не проведені.

Мета роботи

Метою роботи є теоретично-комп'ютерне дослідження залежності зміни швидкості за допомогою диференціальної передачі з замкнутою гідросистемою між ведучою ланкою (епіцикл) і веденою (водило), або навпаки, коли керування виконується через сонячне зубчасте колесо.

Реалізація роботи

Одна із схем диференціального механізму з пристроєм для керування змінами швидкості, показана на рисунку 1, складається з сонячного зубчастого колеса 1, сателітів 2, опорного зубчастого колеса – епіцикла 3 і водила 4 розміщених у корпусі 5. На корпусі 5 розміщена замкнута гідросистема 6 і зв'язана з водилом 4 зубчастою передачею 7. Замкнута гідросистема 6 складається з гідронасоса 8, трубопроводів 9, регулювального дроселя 10, зворотного клапана 11 і ємності для рідини 12.

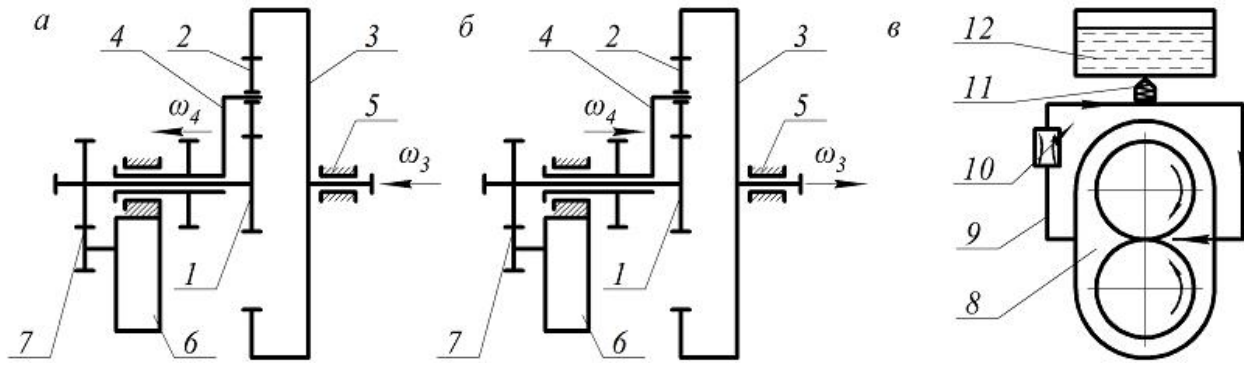


Рис. 1. Схеми: а, б – зубчастої диференціальної передачі з керуванням через сонячне зубчасте колесо та ведучою ланкою, відповідно, епіциклом та водилом; в – замкнутої гідросистеми

Розглянемо випадок коли ведучою ланкою буде зубчасте колесо – епіцикл 3, а веденою – водило 4. Керування зміною веденої ланки – водила 4 здійснюється через сонячне зубчасте колесо 1. Якщо прийняти кутову швидкість ведучої ланки (епіцикла 3) $\omega_3 = const$, тоді за рахунок зміни швидкості сонячного зубчастого колеса 1 ($\omega_1 = var$) за допомогою замкнутої гідросистеми б можна плавно змінювати швидкість веденої ланки – водила 4 (ω_4). Тобто, маємо те, що сонячне зубчасте колесо 1 через зубчасту передачу 7 приводить у рух гідронасос 8, який перекачує рідину в замкнутій гідросистемі б складеній з трубопроводів 9 і регульовального дроселя 10 – коли регульовальний дросель 10 відкритий. Якщо регульовальний дросель 10 закритий, тоді замкнута гідросистема б закрита, тобто шестеренчастий гідронасос 8 зупинений і, при цьому, зупинено сонячне зубчасте колесо 1 ($\omega_1 = 0$). Таким чином, в залежності від пропускної здатності регульовального дроселя 10, швидкість сонячного зубчастого колеса 1 ω_1 змінюється від 0 до ω_{1max} і, при цьому, змінюється швидкість водила 4 (ω_4). Зв'язок між швидкостями в такій передачі описується відомим аналітичним виразом [14]

$$w_4 = \frac{w_1 - u_{13}^{(4)} w_3}{1 - u_{13}^{(4)}}, \quad (1)$$

де $u_{13}^{(4)}$ – передаточне число механізму від сонячного зубчастого колеса 1 до епіцикла 3 при зупиненому водилі 4 (для схем на рис. 1 $u_{13}^{(4)} = -(z_3 / z_1)$), де z_1 – число зубців сонячного зубчастого колеса; z_3 – число зубців епіцикла. Знак (–) тому, що у визначенні передаточного числа є одне зовнішнє (колеса 1-2) зачеплення. З врахуванням, що передаточне число величина від'ємна, вираз (1) має остаточний вигляд

$$w_4 = \frac{w_1 + u_{13}^{(4)} w_3}{1 + u_{13}^{(4)}}. \quad (2)$$

Для того щоб більш наочно показати характер зміни швидкості через диференціальну передачу з пристроєм у вигляді замкнутої гідросистеми, формула (2) запрограмована та отримані графічні залежності $w_4 = f(w_1, w_3, u_{13}^{(4)})$, при передаточних числах $u_{13}^{(4)} = 1 \dots 10$, та кутовій швидкості ведучої ланки $\omega_3 = 100 \text{ рад/с}$. Отримані графічні залежності показані на рисунку 2 а.

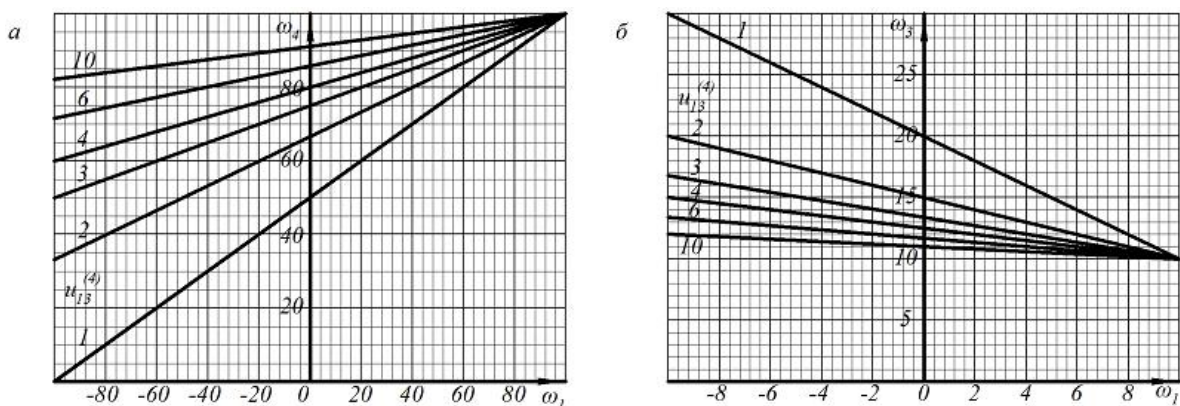


Рис. 2. Залежності між швидкостями керуючої та веденої ланок:

а – при $\omega_3 = 100 \text{ рад/с}$ для схеми на рис. 1 а; б – при $\omega_4 = 10 \text{ рад/с}$ для схеми на рис. 1 б

Якщо прийняти водило 4 за ведучу ланку з куговою швидкістю $\omega_4 = const$, тоді за рахунок зміни швидкості сонячного зубчастого колеса 1, $\omega_1 = var$ за допомогою замкнутої гідросистеми б можна плавно змінювати швидкість веденої ланки, зубчастого колеса – епіцикла 3. Принцип роботи такого механізму аналогічний описаному вище. Тобто, в залежності від пропускної здатності регульовального дроселя 10, швидкість сонячного зубчастого колеса 1 ω_1 змінюватиметься від 0 до ω_{1max} і, при цьому, буде мінятися

швидкість зубчастого колеса - епіцикла 3 (ω_3).

Аналітична залежність між швидкостями для цього випадку отримується із (2) і має вид:

$$w_3 = \frac{w_4(1 + u_{13}^{(4)}) - w_1}{u_{13}^{(4)}} \quad (3)$$

Із (3) засобами комп'ютерного моделювання отримані графічні залежності $w_3 = f(w_1, w_4, u_{13}^{(4)})$, при різних передаточних відношеннях $u_{13}^{(4)} = 1 \dots 10$, та кутовій швидкості ведучої ланки $\omega_4 = 10 \text{ рад/с}$. Отримані графічні залежності показані на рисунку 2 б.

Розглянемо приклади з не рядними диференціальними передачами. На рисунку 3 показані не рядні диференціальні передачі в яких сателіт 2 виконаний із двох паралельних зубчастих коліс з числом зубів z_2 і z_2' . При цьому сонячне зубчасте колесо 1 (z_1) з сателітом 2 (z_2) утворює зовнішнє зачеплення, а сателіт 2 (z_2') з епіциклом 3 (z_3) – внутрішнє. Тоді передаточне відношення $u_{13}^{(4)} = -\frac{z_2 z_3}{z_1 z_2'}$. Для аналізу зміни швидкості

таких механізмів можна використати аналітичні вирази (2) і (3) та графічні залежності показані на рисунках 2 а і б.

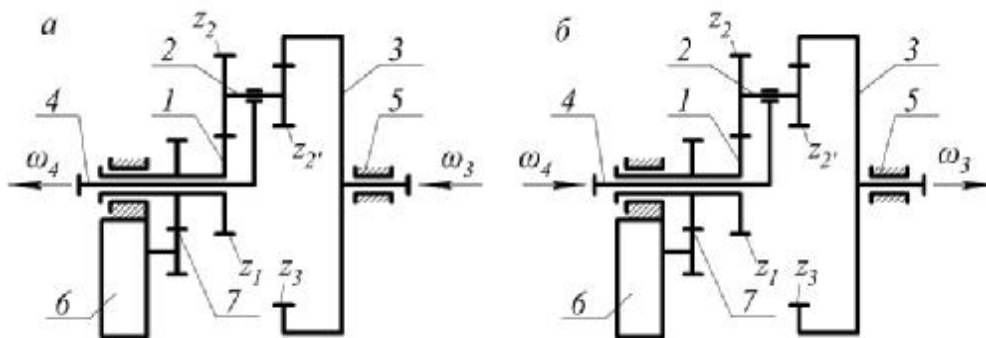


Рис. 3. Схеми не рядних зубчастих диференціальних передач з замкнутими гідросистемами: а – ведуче зубчасте колесо - епіцикл; б – ведуче водило

На рисунку 4 показані не рядні диференціальні передачі в яких сателіт 2 виконаний із двох паралельних зубчастих коліс з числом зубів z_2 і z_2' . При цьому сонячне зубчасте колесо 1 (z_1) з сателітом 2 (z_2) і сателіт 2 (z_2') з епіциклом 3 (z_3) – утворюють зовнішні зачеплення. Тоді передаточне відношення

$$u_{13}^{(4)} = \frac{z_2 z_3}{z_1 z_2'}$$

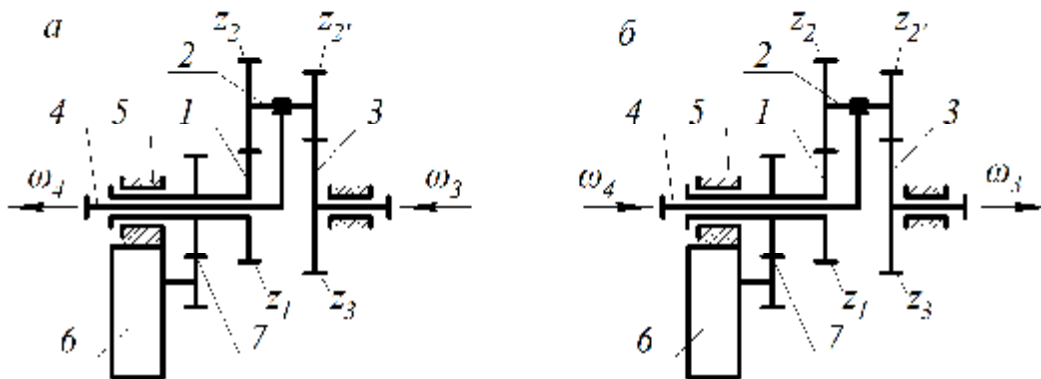


Рис. 4. Схеми не рядних зубчастих диференціальних передач з замкнутими гідросистемами: а – ведуче сонячне зубчасте колесо; б – ведуче водило

Для аналізу зміни швидкості не рядного диференціального механізму, показаного на рисунку 4 а, необхідно використати аналітичний вираз (1), так як тепер передаточне число додатне. Запрограмувавши (1) отримаємо графічні залежності $w_4 = f(w_3, w_1, u_{13}^{(4)})$, для умов описаних вище. Такі графічні залежності показані на рисунку 5 а.

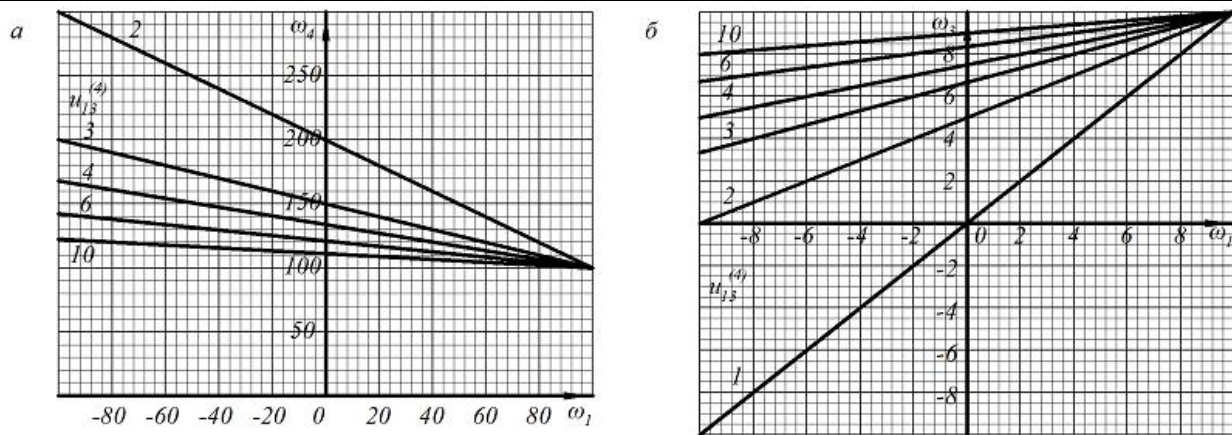


Рис. 5 - Залежності між швидкостями керуючої та веденої ланок:

a – при $\omega_3 = 100 \text{ рад/с}$ для схеми на рис. 4 *a*; *б* – при $\omega_4 = 10 \text{ рад/с}$ для схеми на рис. 4 *б*

Для аналізу зміни швидкості не рядного диференціального механізму, показаного на рисунку 4 *б*, необхідно використати аналітичний вираз (1) і вирішити його відносно (ω_3).

$$w_3 = \frac{w_1 - w_4(1 - u_{13}^{(4)})}{u_{13}^{(4)}} \quad (4)$$

Графічні залежності програмно отримані із (4), для умов описаних вище, показані на рисунку 5 *б*.

Вирази (1) і (4) та графічні залежності показані на рисунку 5 справедливі також для не рядних диференціальних передач, в яких сателіти виконані із двох паралельних зубчастих коліс, що утворюють з сонячним зубчастим колесом та епіциклом внутрішнє зачеплення.

Висновки

1. Отримані графічні залежності швидкості між ведучою і веденою ланками (епіциклом і водилом або навпаки) у диференціальних передачах з замкнутою гідросистемою за допомогою засобів комп'ютерного моделювання, подані на рисунках 2 і 5, наочно підтверджують можливість керування змінами швидкості між ведучою і веденою ланками при зміні швидкості сонячного зубчастого колеса.

2. Запропонована методика теоретично-комп'ютерного дослідження залежності між швидкостями в диференціальній передачі з замкнутою гідросистемою між ведучою (епіциклом) і веденою (водилом) ланками або навпаки, коли керування виконується через сонячне зубчасте колесо може бути застосована для різноманітних схем диференціальних передач.

3. Отримані графічні залежності швидкості між ланками в диференціальній передачі можна використовувати при проектуванні нових пристроїв для керування змінами швидкості за допомогою диференціальних передач з замкнутою гідросистемою, та може бути підґрунтям для подальших досліджень механічних засобів машинознавства.

Література

1. Стрілець О. Комп'ютерне моделювання диференціальних передач з пристроєм для керування швидкістю / О.Стрілець // «Машинознавство». Всеукраїнський наук.-техн. і виробн. журнал. – 2009. – № 12 (150). – С. 39 – 43.
2. Стрілець О.Р. Способи керування змінами швидкості у техніці / О.Р. Стрілець // Збірник тез. VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Інтегровані інтелектуальні роботи технічні комплекси ІРТК-2015» – Київ : 18-19 травня 2015 року. – С. 220 – 221.
3. Стрілець О.Р. Огляд і аналіз способів керування змінами швидкості у техніці / О.Р. Стрілець // 12-й Міжнародний симпозиум українських інженерів-механіків у Львові: тези. – Львів : КІНПАТРИ ЛТД, 2015. 28-29 травня 2015 року. – С. 152 – 153.
4. Малащенко В.О. Огляд та аналіз способів і пристроїв сходиноквого керування змінами швидкості у техніці / В.О. Малащенко, О.Р. Стрілець, В.М. Стрілець // Вісник національного університету водного господарства та природокористування (Рівне : НУВГП). – 2015. – №70. – С. 243 – 252.
5. Стрілець О.Р. Огляд та аналіз способів і пристроїв безсходиноквого і комбінованого керування змінами швидкості у техніці / О.Р. Стрілець // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування (Рівне ,НУВГП). – 2015. – №70. – С. 351 – 360.
6. Малащенко В.О. Класифікація способів і пристроїв керування процесом зміни швидкості у техніці/ В.О. Малащенко, О.Р. Стрілець, В.М. Стрілець // Підйомно-транспортна техніка(Одеса). – 2015. – №1. – С. 70 – 78.
7. Стрілець О.Р. Обґрунтування можливості керування змінами швидкості за допомогою

диференціальних передач / О.Р. Стрілець // Вісник Інженерної академії України (Київ, НАУ). – 2015. – №2. – С. 177 – 181.

8. Пат. 7328 Україна, МПК F16 H 48/20. Зубчастий диференціал з пристроєм для керування змінами швидкості / В.М. Стрілець, І.П. Ріло, О.Р. Стрілець; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u №20041109781; заявл. 29.11.2004; опубл. 15.06.2005, Бюл. №6, 2005р.

9. Пат. 11121 Україна, МПК F16 H 1/28. Зубчастий диференціал з пристроєм для керування змінами швидкості / В. М. Стрілець, І. П. Ріло, О. Р. Стрілець, В. П. Поліщук; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u№200504847; заявл. 23.05.2005; опубл. 15.12.2005, Бюл. №12, 2005р.

10. Пат. 18514 Україна, МПК F16 H 48/00. Зубчастий диференціал з пристроєм для керування змінами швидкості / В.М. Стрілець, І.П. Ріло, І.Т. Шинкаренко, О.Р. Стрілець; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u№200604863; заявл. 03.05.2006; опубл. 15.11.2006, Бюл. №11, 2006р.

11. Пат. 18587 Україна, МПК F16 H 48/00. Зубчастий диференціал з пристроєм для керування змінами швидкості / О.Р. Стрілець, В.М. Стрілець, І.Т. Шинкаренко; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u№200605205; заявл. 12.05.2006; опубл. 15.11.2006, Бюл. №11, 2006р.

12. Пат. 28489 Україна, МПК В 60 К 17/06. Планетарна коробка передач [Текст] / О.Р. Стрілець; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u№2007 09132; заявл. 09.08.07; опубл. 10.12.07, Бюл. №20, 2007р.

13. Пат. 48608 Україна, МПК F16 H 48/00. Зубчастий диференціал з пристроєм для керування змінами швидкості / О.Р. Стрілець, В.М. Стрілець; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u№200910172; заявл. 07.10.2009; опубл. 25.03.2010, Бюл. №6., 2010р.

14. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин: Підруч. / Я.Т. Кіницький; НАН України. – К. : «Наук. Думка», 2002. – 660с.

Рецензія/Peer review : 22.10.2015 р.

Надрукована/Printed : 1.11.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Кравець С.В.

УДК 66-9: 66-011

С.А. РУСАНОВ, Ю.Г. РОЗОВ, Ю.М. БАРДАЧОВ, Д.О. ДМИТРИЄВ
Херсонський національний технічний університет

ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ЕТАЛОННОГО СИПКОГО МАТЕРІАЛУ У ВІБРОКИПЛЯЧОМУ ШАРІ

Розглянуті питання, пов'язані з оцінками точності прогнозування параметрів руху сипких матеріалів у віброкиплячому шарі. Наведено результати співставлення розрахункових даних, отриманих у програмному продукті «Віброслой 1.0» та експериментальних випробувань для еталонних матеріалів.

Ключові слова: сипкі матеріали, віброкипіння, моделювання

S.A. RUSANOV, YU.G. ROZOV, YU. N. BARDACHOV, D.O. DMYTRIEV
Kherson national technical university

EVALUATION OF ACCURACY OF MOTION PARAMETERS OF REFERENCE DRY MATERIAL AT VIBROFLUIDIZED PROCESS

The problems associated with the estimates of the parameters prediction accuracy of movement vibrofluidized bed of dry substances are considerate. The results of comparing the calculated data obtained at the software "Vibrosloy 1.x" and experimental tests of reference materials are discussed. The data of calculating the relative error at the software product in a range of parameters of vibration overload showed sufficient accuracy of calculations. Best results were obtained for the medium intensity vibration processes. However, for low and high intensity process is also observed sufficient accuracy. Thus, the program "Vibrosloy 1.x" allows with sufficient accuracy for technical needs calculate basic parameters of vibrofluidized bed of dry substances, such us flow rate, and pre-select equipment with adjustable parameters (frequency and amplitude of vibration, angle of vibration, etc.)

Keywords: dry materials, vibrofluidized, modeling

Вступ. Застосування вібрації в технологічних процесах на сьогодні є відомою практикою, оскільки вібраційні зовнішні впливи значно прискорюють швидкість протікання багатьох обмінних процесів, хімічних реакцій [1]. Контроль за транспортними операціями, просте регулювання параметрів руху – також є однією з переваг вібраційного спонукання. Це обумовлює крім того, широкі галузі застосування вібраційних технологій.

Рух поодиноких частинок, штучних продуктів – на сьогодні можна вважати вирішеною проблемою, – прогнозування параметрів руху для різноманітних режимів можна проводити за допомогою існуючих