

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 «Виброслой 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

аналітичних залежностей, табульованих даних та ін. [2]. Основні проблеми сконцентровані в галузі прогнозування руху частинок у шарі – такі задачі потребують врахування багатьох додаткових внутрішніх та зовнішніх зусиль, суттєвий вплив граничних та початкових умов, фільтруючого середовища тощо. Крім того, поведінка частинок в шарі буде суттєво залежна від параметрів вібрації – при низькій вібраційній інтенсивності шар знаходиться в стані віброзрідження, при подальшому збільшенні вібраційних впливів – шар переходить у стан віброкипіння [1,2]. Гідродинаміка шарів у вказаних станах різко відрізняється [3].

Існує багато математичних моделей поведінки шару сипкого матеріалу на віброуючих поверхнях [2]. Усі моделі є достатньо складними і не мають аналітичних рішень, тому проблема моделювання поведінки віброшарів сипких матеріалів лежить у галузі чисельних розрахунків за тими чи іншими математичними моделями.

Постановка завдання. В роботах [4, 5] була розвинута математична модель, у відповідності до якої віброшар сипкого матеріалу представлено як суцільне середовище з особливою реологією (обумовленою наявністю фільтруючого середовища, за більшості випадків – газу), в якому, за рахунок підведеної зовнішньої вібрації, поширюються нелінійні хвилі деформації. За допомогою цієї моделі було вирішено багато характерних задач віброкипіння, отримані результати, що відображають деякі особливості, що властиві тільки віброшарам [6]. На основі вказаної моделі було розроблено систему автоматизованого моделювання гідродинаміки віброшарів «Виброслой 1.0» (на сьогодні існує декілька оновлених версій програми) [7]. У вказаній програмі проводилися моделювання багатьох задач віброкипіння, в тому числі і зазначених вище. Вирішувалась задача взаємодії віброшару з несучими поверхнями [8], було показано, що віброкиплячий шар із позицій віброреології відноситься до псевдопластичних рідин [9].

В даній статті ми проведемо оцінку точності прогнозування параметрів руху еталонного матеріалу у віброкиплячому шарі в програмному середовищі «Виброслой» на прикладі моделювання руху еталонного матеріалу (дослідження проводяться в рамках щорічного Гранту Президента на 2015 рік для докторів наук).

Виклад основного матеріалу. Для співставлення результатів роботи системи «Виброслой 1.0» з відомими експериментальними даними була проведена серія комп'ютерних моделювань, результати яких наведені нижче.

Були проведені моделювання руху насипного продукту з коефіцієнтом транспортабельності $k_{тр} = 1$ (пісок товщиною шару $H = 50$ мм при горизонтальному розташуванні вібромашини та куті вібрації $\beta = 20^\circ$, що рухається на достатньо широкому лотку). Матеріал з такими параметрами вважається еталонним [10]. Для цього матеріалу у [2,10] наведені графіки залежності швидкості транспортування від параметрів режиму при прямолінійних гармонічних коливаннях отримані з експерименту. У програмі «Виброслой 1.0» були проведені аналогічні дослідження й отримані результати, що добре співпадають з відомими (порядок роботи та опис програми наведені в [11]). Результати наведені у таблиці 1 та на рисунку 1.

Як видно з результатів співставлення, дані, що отримані за допомогою розрахунку в середовищі створеної системи, добре співпадають з відомими експериментальними даними. Особливо важливо те, що вказаний збіг отриманий для еталонної задачі, при цьому результати одержані без врахування зусиль, що виникають внаслідок взаємодії частинок матеріалу в розпушеному стані. Задовільні для технічних потреб результати (рис.1) отримані для усього діапазону параметра перевантаження [1-3,10] (характеризує інтенсивність вібровпливів), та який для випадку, що розглядається, має вигляд $\Gamma = A\omega^2 \sin(\beta) / g$, де A – амплітуда вібрації, м, ω – кругова частота коливань, с^{-1} , β – кут вібрації, рад, g – прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{с}^2$. Найліпша відповідність до натурних даних отримана в області віброкипіння середньої інтенсивності. Прогнозування в області віброзрідження та в області розвинутого віброкипіння дає більшу помилку, що пов'язано з обмеженнями, що закладені в реалізовану модель [4,5].

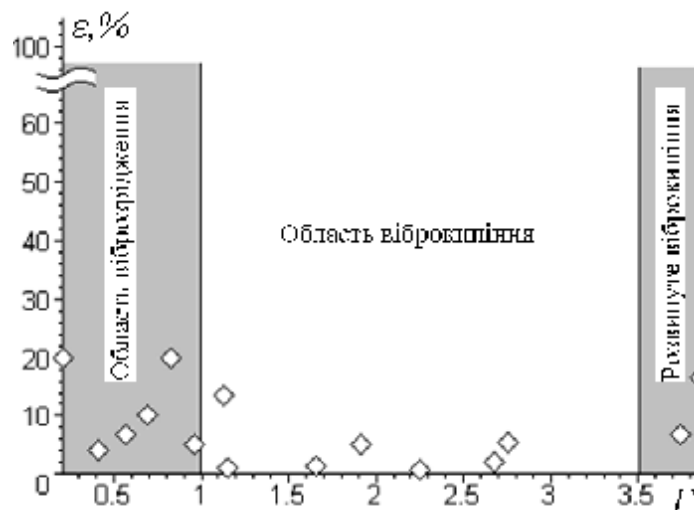


Рис. 1. Відносні похибки результатів моделювання руху еталонного матеріалу в програмі «Виброслой 1.0» в залежності від параметру перевантаження

Співставлення результатів моделювання руху еталонного матеріалу з відомими даними

Амплітуда, мм	Частота вібрації, хв ⁻¹	Швидкість шару матеріалу за моделюванням, м/с	Дослідна швидкість шару матеріалу, м/с	Відносна похибка, %
1,5	1400	0,121	0,14	13,5
1,5	1200	0,080	0,10	20,0
1,5	1000	0,056	0,06	6,6
1,5	600	0,012	0,01	20,0
3	1400	0,278	0,28	0,7
3	1200	0,223	0,22	1,3
3	1000	0,158	0,16	1,3
3	600	0,048	0,05	4,0
5	1400	0,556	0,52	6,9
5	1200	0,453	0,43	5,3
5	1000	0,313	0,33	5,2
5	600	0,108	0,12	10,0
7	1200	0,700	0,60	16,7
7	1000	0,490	0,48	2,1
7	600	0,200	0,19	5,3

Нижче наведені (рис. 2, 3) додаткові розраховані параметри, що отримані при рішенні вказаної задачі для $A = 3$ мм, $n = 1200$ кол/хв (що відповідає коефіцієнту перевантаження $\Gamma = (A\omega^2 \sin \beta)/g = 1,65$, та відповідає віброкиплячому стану матеріалу [1, 2]).

Як видно із результатів моделювання, при зазначеній висоті шару матеріал фактично рухається як одне ціле. Рух частинки уздовж вантажонесучої поверхні розпадається на дві стадії: стадія руху у відриві від несучої поверхні, стадія проковзування відносно несучої поверхні. Третьою можливою стадією (руху в контакт з поверхнею без проковзування) для даного прикладу не реалізується. Треба зазначити, що транспортування матеріалу з подібними вхідними параметрами зустрічається для багатьох вібраційних транспортуючих пристроїв, тому досить точне вирішення подібної задачі має значну актуальність [12].

Висновки. Таким чином, програма «Виброслой 1.0» дозволяє з достатньою для технічних потреб точністю розрахувати основні параметри віброкипіння, визначити об'ємну або масову витрату проектованого обладнання та наперед вибрати регульовані параметри обладнання (частоту та амплітуду вібрації, кут нахилу, кут вібрації тощо). Окрім того, треба зазначити, що достатній збіг з експериментом наявний і для області віброзрідження (нижня частина на рис.1), що дозволяє використовувати систему «Виброслой» для процесів у вказаному стані.

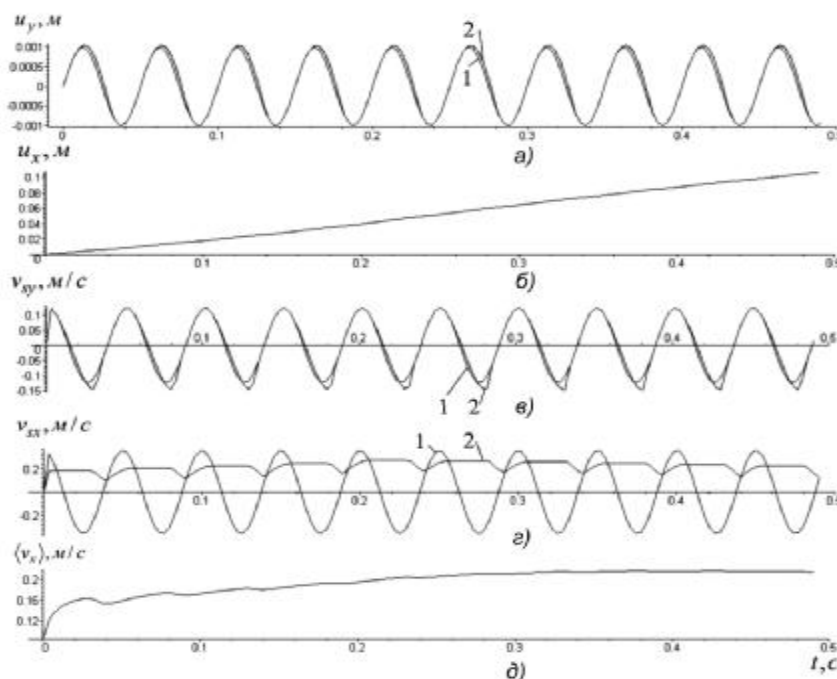


Рис. 2. Вертикальна (а) та горизонтальна (б) складові вектора переміщень, вертикальна (в) та горизонтальна (г) складові вектора швидкостей, та середня швидкість руху віброкиплячого шару (д) – розподіл у часі. 1 – рух вантажонесучої поверхні; 2 – всередині шару

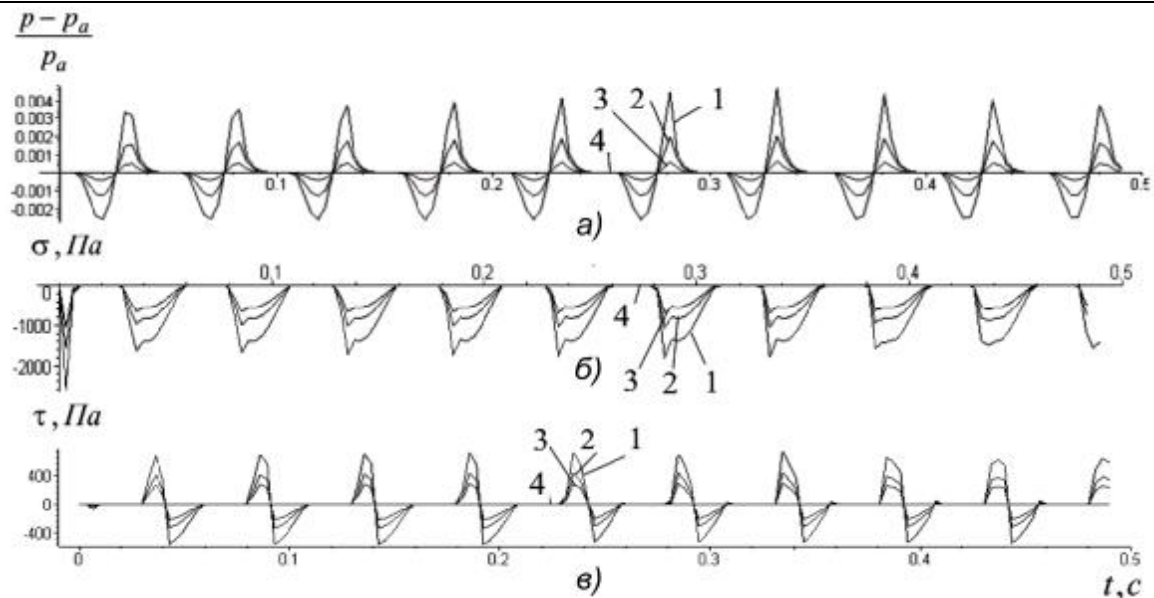


Рис. 3. Розподіл тисків (а), нормальних (б) та дотичних напруг (в) по висоті шару у часі.
1 – 0 мм; 2 – 16,7 мм; 3 – 33,3 мм; 4 – 50 мм

Література

1. Членов В.А. Виброкипящий слой / А.А. Членов, Н.В. Михайлов. – М.: Наука, 1972. – 344с.
2. Вибрации в технике. Справочник: в 6 т. Т. 4. – М.: Машиностроение, 1981. – 509 с.
3. Катыльмов А.В., Любартович В.А. Дозирование сыпучих и вязких материалов / А.В. Катыльмов, В.А. Любартович. – Л.: Химия, 1990. – 240 с.
4. Русанов С. Математичне моделювання процесу віброкипіння сипких середовищ / С. Русанов, К. Луняка, В. Карманов // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2006. – № 1 (17). – С. 32 – 40.
5. Русанов С.А.. Особливості процесу віброкипіння шару сипкого матеріалу на вертикально віброуючих поверхнях / С.А. Русанов., К.В.Луняка, Г.А. Чумаков // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2006. – №3(26). – С. 131 – 135.
6. Русанов С.А. Дослідження процесу фільтрування газу крізь шар сипкого матеріалу в процесі віброкипіння / С.А. Русанов, К.В. Луняка., Г.М. Глухов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2008. – № 3. – С. 63 – 68.
7. Система автоматизованого моделювання гідродинаміки віброкиплячих шарів “Виброслой 1.0”. Свідectво про реєстрацію авторського права на твір №25051. / С.А.Русанов. – №24961: Заявл. 14.04.2008; Опубл. 24.07.2008.
8. Русанов С.А. Взаємодія віброкиплячого шару з несучими поверхнями / С.А. Русанов, К.В. Луняка, О.І. Ключев, Г.М. Глухов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2009. №5/5 (41).– С.9 –14.
9. Русанов С.А. Виброреологическая модель виброкипящего слоя сыпучей среды / С.А. Русанов, К.В. Луняка, Г.В. Никитенко // Инженерно-физический журнал. – 2012. Том 85, №6. – С. 1183 – 1188.
10. Гончаревич И.Ф. Теория вибрационной техники и технологи / И.Ф. Гончаревич, К.В. Фролов. – М.: Наука, 1981. – 320 с.
11. Русанов С.А. Математичне моделювання робочого процесу в апаратах з віброкиплячим шаром та розробка систем автоматизованого моделювання гідродинаміки киплячих шарів / С.А. Русанов, К.В. Луняка, О.І. Ключев, Г.М. Глухов // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 1 (23). – С. 15 – 24.
12. Варсанюфьев В.Д. Вибрационная техника в химической промышленности / В.Д. Варсанюфьев, Э.Э. Кольман-Иванов. – М.: Химия, 1981. – 240 с.

Рецензія/Peer review : 8.10.2015 р.

Надрукована/Printed : 1.11.2015 р.
Рецензент: д. т. н., проф. Клевцов К.М.