

**Півень М. В.**

к.т.н., доцент

**Харківський
національний технічний
університет сільського
господарства імені
Петра Василенка**

УДК 621.928.13

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОКУ СИПКОЇ СУМІШІ НА ВІБРОРЕШЕТІ

У статті представлені результати досліджень характеристик потоку сипкої суміші на похилому плоскому вібраційному решеті з боковими стінками. Отримані закономірності товщини шару, поздовжньої та поперечної складових швидкості, щільності сипкої суміші та питомого завантаження на всій площі поверхні вібраційного решета. Встановлено, що рух потоку сипкої суміші має суттєвий просторовий характер, а розподіл щільності, швидкості та питомого завантаження на поверхні решета неоднорідний.

Ключові слова: вібрація, решето, сипка суміш, щільність, швидкість, питома завантаження.

Вступ. Живлення зернових сепараторів, включаючи подачу і розподіл оброблюваного матеріалу на поверхні решета, є одним із чинників, що забезпечують якість і продуктивність процесу сепарування. Існуючі машини не забезпечують рівномірного розподілу зернової суміші по робочій поверхні, відхилення від середнього значення подачі суміші досягає 30%, а наявність ділянок перевантаження або недовантаження приводить до зниження якості та продуктивності процесу сепарування. Виникнення таких ділянок обумовлюється товщиною шару, швидкістю та щільністю потоку суміші на робочій поверхні решета. Для вирішення цієї проблеми необхідно дослідити вказані характеристики потоку сипкої суміші на решеті.

Аналіз досліджень і публікацій. Розподіл зернового матеріалу по ширині робочих органів і вплив нерівномірності цього розподілу на ефективність сепарування досліджений в роботах [1, 2].

Для покращення завантаження ряд дослідників вдалися до зміни форми поверхні решета. А.Н. Зюлін [3, 4] визначив криволінійну форму плоского решета, що забезпечує рівномірний розподіл матеріалу по його робочій поверхні. Зміна місцевого завантаження решета забезпечувалась змінним кутом нахилу до горизонту його ділянок.

Є.С. Гончаровим [5] досліджений характер нестійкого руху суміші на ділянці

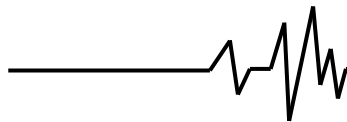
завантаження решета. Він розробив рекомендації по зниженню впливу нестійкого руху суміші на процес завантаження решіт.

В.П. Ольшанський [6] досліджував закономірності змінювання швидкості потоку суміші по довжині решета при нерівномірній подачі. Встановлено, що при гармонічних пульсаціях подачі, довжина області нерівномірного руху зростає зі зменшенням частоти і збільшенням амплітуди коливань швидкості подачі суміші на решето.

Завантаження робочої поверхні решета характеризується розподілом матеріалу по всій його площі, що вимагає розгляду просторового руху ЗС. Проте у відомих роботах рух суміші розглянутий тільки в поздовжній вертикальній площині.

Мета досліджень – дослідження характеристик потоку сипкої суміші по всій площі поверхні решета.

Результати досліджень. У роботі [7] для дослідження динаміки потоку сипкої суміші розроблена математична модель просторового руху на віброрешеті. Однак, отримана система рівнянь досить складна, а готових алгоритмів її розв'язання не має. Враховуючи, що глибина шару мала у порівнянні з лінійними розмірами в площині потоку, була застосована теорія мілкої води в дослідженні руху сипкої суміші. Система рівнянь планового руху потоку сипкої суміші на віброрешеті одержана в роботі [8], має вид:



$$\frac{\partial}{\partial t} \gamma + u \frac{\partial}{\partial x} \gamma + v \frac{\partial}{\partial y} \gamma + \gamma \frac{\partial}{\partial x} u + \gamma \frac{\partial}{\partial y} v = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} u + u \frac{\partial}{\partial x} u + v \frac{\partial}{\partial y} u + \frac{g \cos \theta}{2} \frac{\partial}{\partial x} h + \frac{hg \cos \theta}{2\gamma} \frac{\partial}{\partial x} \gamma - \frac{2\mu h}{\gamma} \frac{\partial^2}{\partial x^2} u - \frac{\mu h}{\gamma} \frac{\partial^2}{\partial y^2} u -$$

$$- \frac{2\mu}{\gamma} \frac{\partial}{\partial x} h \frac{\partial}{\partial x} u - \frac{\mu}{\gamma} \frac{\partial}{\partial y} h \frac{\partial}{\partial y} u - \frac{\mu}{\gamma} \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\partial}{\partial x} v \right) + \frac{C_s}{\gamma} u - g \sin \theta = 0,$$

$$\frac{\partial}{\partial t} v + u \frac{\partial}{\partial x} v + v \frac{\partial}{\partial y} v + \frac{g \cos \theta}{2} \frac{\partial}{\partial y} h + \frac{hg \cos \theta}{2\gamma} \frac{\partial}{\partial y} \gamma - \frac{\mu h}{\gamma} \frac{\partial^2}{\partial x^2} v - \frac{2\mu h}{\gamma} \frac{\partial^2}{\partial y^2} v -$$

$$- \frac{\mu}{\gamma} \frac{\partial}{\partial x} h \frac{\partial}{\partial x} v - \frac{2\mu}{\gamma} \frac{\partial}{\partial y} h \frac{\partial}{\partial y} v - \frac{\mu}{\gamma} \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial}{\partial y} u \right) + \frac{C_s}{\gamma} v = 0, \quad (3)$$

де x, y - поточне значення координати в декартовій системі; u, v - проекції швидкості частинки на осі декартової системи координат; γ - поверхнева щільність суміші; g - прискорення вільного падіння; θ - кут нахилу решета; h - товщина шару, відлічена вздовж нормалі до дна лотка до вільної поверхні; t - час; μ - динамічний коефіцієнт зсувної в'язкості; C_s - феноменологічний коефіцієнт, аналогічний коефіцієнту Шезі.

Три рівняння (1-3) містять чотири невідомі функції h, γ, u, v . Для замикання цієї системи рівнянь прийнята кінематична гранична умова на вільній поверхні шару:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0. \quad (4)$$

На межі L_3 задаються розподіли:

$$\begin{aligned} h(t, 0, y) &= H^0(t, y), & \gamma(t, 0, y) &= G^0(t, y), \\ u(t, 0, y) &= U^0(t, y), & v(t, 0, y) &= V^0(t, y). \end{aligned} \quad (5)$$

На лініях L_1, L_2 виконуються умови:

$$v(t, x, -l_1/2) = 0, \quad \left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{y=-l_1/2} - \frac{C_s}{\mu} u \Big|_{y=-l_1/2} = 0, \quad (6)$$

$$v(t, x, l_1/2) = 0, \quad \left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{y=l_1/2} + \frac{C_s}{\mu} u \Big|_{y=l_1/2} = 0. \quad (7)$$

Чисельне розв'язання рівнянь виконано скінченно-різницеvim методом [9].
Початкові умови:



$$h(0, x, y) = H^{(0)}(y) \exp(-\kappa x / l),$$

$$\gamma(0, x, y) = G^{(0)}(y) \exp(-\kappa x / l),$$

$$u(0, x, y) = U^{(0)}(y) \exp(-\kappa x / l),$$

$$v(0, x, y) = V^{(0)}(y) \exp(-\kappa x / l),$$

містять параметр κ , що визначає швидкість спадання відповідної величини зі змінюванням x (при $\kappa = 0$ початкові дані не залежать від x). В подальшому приймаємо величини $H^{(0)}, G^{(0)}, U^{(0)}$ сталими, причому $U^{(0)}$, зв'яжемо з секундною об'ємною витратою Q співвідношенням $Q = U^{(0)} l_1$. Величина $V^{(0)}$ визначає поперечну до осі лотка складову швидкості. Її значення оберемо у вигляді функціональної залежності

$$V^{(0)}(y) = V_0^0 \left[\frac{64}{3} \left(\frac{y}{l_1} \right)^3 - \frac{16}{3} \frac{y}{l_1} \right]$$

При $V_0^0 > 0$ потік прагне до звуження, а при $V_0^0 < 0$ - до розширення всередині лотка.

Питоме завантаження лотка $q = q(x, y)$

$$\begin{aligned} q(x, y) &= \lim_{\Delta x \rightarrow 0, \Delta y \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta x \Delta y} \int_x^{x+\Delta x} \int_y^{y+\Delta y} \int_0^{h(x,y)} \rho(x', y', z) u(x', y', z) dz dx' dy' = \\ &= \lim_{\Delta x \rightarrow 0, \Delta y \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta x \Delta y} \int_x^{x+\Delta x} \int_y^{y+\Delta y} \gamma(x', y') u(x', y', z) dx' dy' = \gamma(x, y) u(x, y). \end{aligned}$$

Таким чином, $q(x, y) = \gamma(x, y) u(x, y)$.

Для проведення чисельних розрахунків приймаємо наступні параметри процесу: щільність сипкої суміші 800 кг/м^3 ; завантаження на вході решета 12000 кг/год ; поперечна до осі лотка складова швидкості суміші $V_0^0 = 0 \text{ м/с}$; тиск на поверхні шару суміші $P_0 = 20 \text{ кг/м} \cdot \text{с}^2$; довжина решета $l = 0,8-3 \text{ м}$; ширина решета $l_1 = 0,8-1,6 \text{ м}$; кут нахилу решета до горизонту $\theta = 10$ град; емпіричний коефіцієнт $\kappa = 0$; коефіцієнт зсувної в'язкості $\mu = 0,15 \text{ кг/м} \cdot \text{с}$, феноменологічний коефіцієнт, аналогічний коефіцієнту Шезі $C_s = 10 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$. Зернова суміш потрапляє на решето з бункера і швидкість на вході решета змінюється по ширині. Представимо залежність швидкості від ширини на вході решета рівнянням $u(y) = 0,8 - 2y^2$.

На рис.1-3 представлені характеристики потоку сипкої суміші на плоскому похилому віброрешеті з боковими стінками: а) - товщина шару, б) - поверхнева щільність суміші, в), г) -

поздовжня та поперечна складові швидкості, д) – питоме завантаження решета.

Товщина шару сипкої суміші залишається незмінною на всій поверхні решета, а її величина залежить від питомого завантаження (рис.1 а – 3 а). При зменшенні питомого завантаження товщина шару зменшується. Біля бокових стінок вихідного перерізу потоку спостерігається незначне зменшення товщини шару (рис.3 а).

Поверхнева щільність біля вхідного перерізу потоку (рис.1 б - 3 б) різко зменшується, а далі, по мірі просування суміші вздовж решета зменшується незначно. Спостерігається ущільнення шару біля поздовжньої осі решета. Зі збільшенням довжини решета (рис.2 б) поверхнева щільність вирівнюється по ширині ближче до вихідного перерізу потоку. Зменшення питомого завантаження, за рахунок збільшення ширини решета, приводить до зменшення поверхневої щільності, але біля поздовжньої осі щільність більша ніж біля бокових стінок решета. (рис. 3 б).

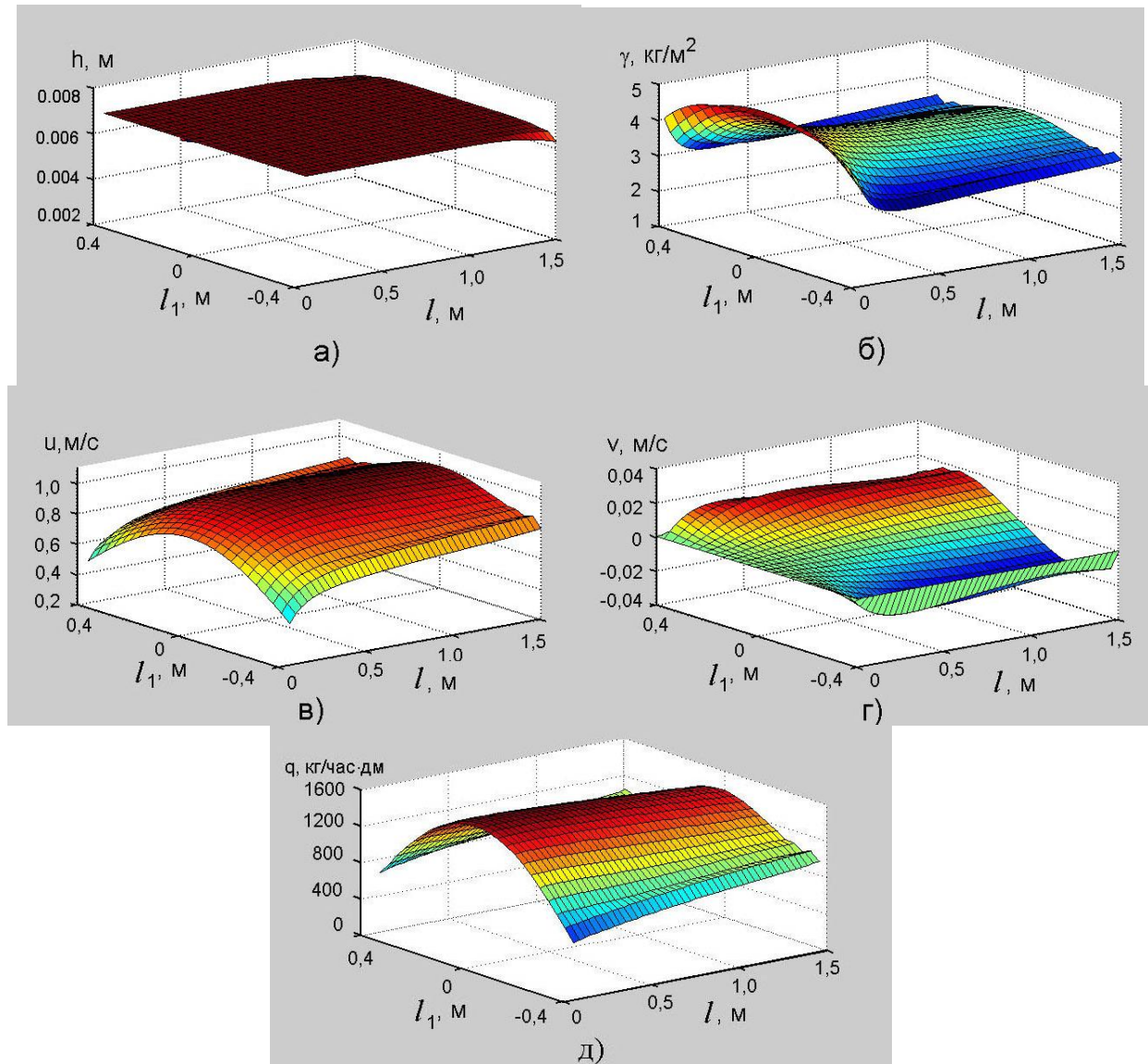


Рис. 1. Характеристики потоку сипкої суміші на плоскому похилому віброрешеті: а) - товщина шару; б) - поверхнева щільність суміші; в), г) - поздовжня та поперечна складові швидкості; д) – питоме завантаження решета; $l_1=0,8$ м; $l=1,5$ м

Поздовжня складова швидкості суміші біля вхідного перерізу потоку (рис.1 в – 3 в) збільшується, а далі по мірі просування суміші вздовж решета, мало змінюється. Спостерігається збільшення швидкості біля поздовжньої осі решета, що обумовлено характером швидкості на вході решета та незначним впливом бокових стінок. Зі збільшенням довжини решета поздовжня складова швидкості суміші вирівнюється по ширині (рис.2 в). Зменшення питомого завантаження, за рахунок збільшення ширини решета (рис.3 в), приводить до зменшення цієї складової швидкості, але біля поздовжньої осі швидкість більша ніж біля бокових стінок решета.

Поперечна складова швидкості суміші (рис. 1 г - 3 г) дуже мала за величиною в порівнянні з поздовжньою. Характер зміни поперечної складової швидкості такий, що приводить до ущільнення потоку ближче до поздовжньої осі решета. Це обумовлено зміною поздовжньої складової швидкості по ширині решета. Частинки суміші, біля поздовжньої осі решета, рухаються швидше і захоплюють частинки з країв, які рухаються з меншою швидкістю, що приводить до ущільнення шару вздовж осі решета. Зі збільшенням довжини решета, біля вихідного перерізу потоку, поздовжня складова швидкості вирівнюється по ширині (рис. 2 в), що приводить до зменшення поперечної складової швидкості (рис. 2 г).

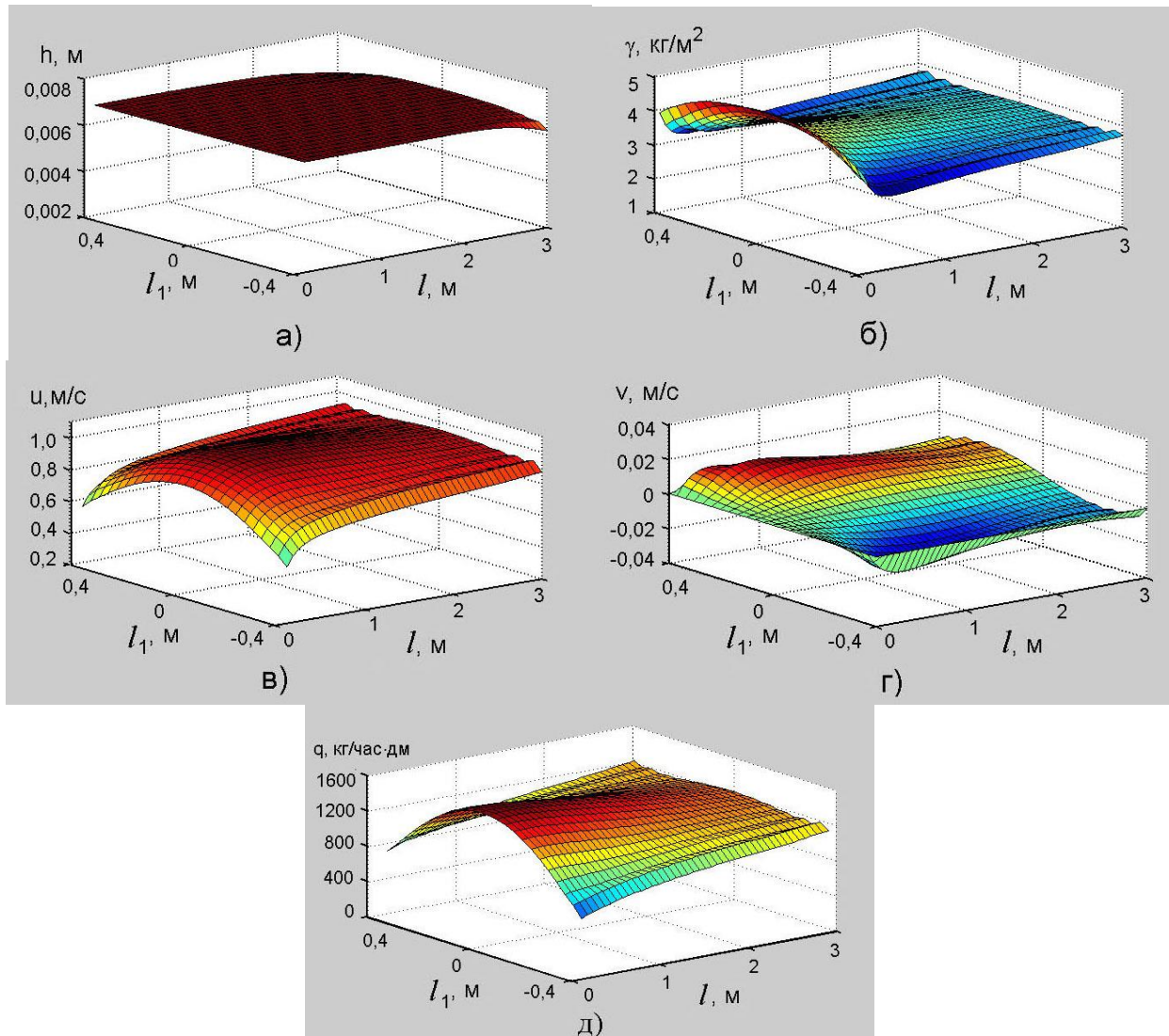


Рис. 2. Характеристики потоку сипкої суміші на плоскому похилому віброрешеті:
а) - товщина шару; б) - поверхнева щільність суміші; в), г) - поздовжня та поперечна
складові швидкості; д) – питоме завантаження решета; $l_1=0,8$ м; $l=3$ м

Питоме завантаження решета змінюється по всій його поверхні (рис.1 д - 3 д). Це зумовлено зміною поздовжньої швидкості та щільності суміші. Найбільші відхилення питомого завантаження від середнього значення мають місце біля вхідного перерізу потоку. Вздовж осі решета відхилення більші за середнє значення, що свідчить про перевантаження цієї ділянки, а вздовж країв – менші, що вказує на недовантаження. Зі збільшенням довжини решета відхилення питомого завантаження від середнього значення зменшуються (рис.2д).

Таким чином, рух потоку сипкої суміші на плоскому похилому віброрешеті має суттєвий просторовий характер. Розподіл швидкості, щільності та питомого завантаження по поверхні решета неоднорідний.

Висновок. Проведеним аналізом результатів досліджень характеристик потоку сипкої суміші встановлено: товщина шару залишається незмінною на всій поверхні решета; поздовжня складова швидкості на вході решета збільшується а поверхнева щільність зменшується; біля поздовжньої осі решета суміш ущільнюється і збільшується швидкість її руху; зі збільшенням довжини решета поздовжня складова швидкості та поверхнева щільність вирівнюються по ширині; поперечна складова швидкості суміші значно менша у порівнянні з поздовжньою і сприяє ущільненню потоку біля поздовжньої осі решета; питоме завантаження решета змінюється по всій його поверхні, а найбільші відхилення від середнього значення мають місце біля вхідного перерізу потоку.

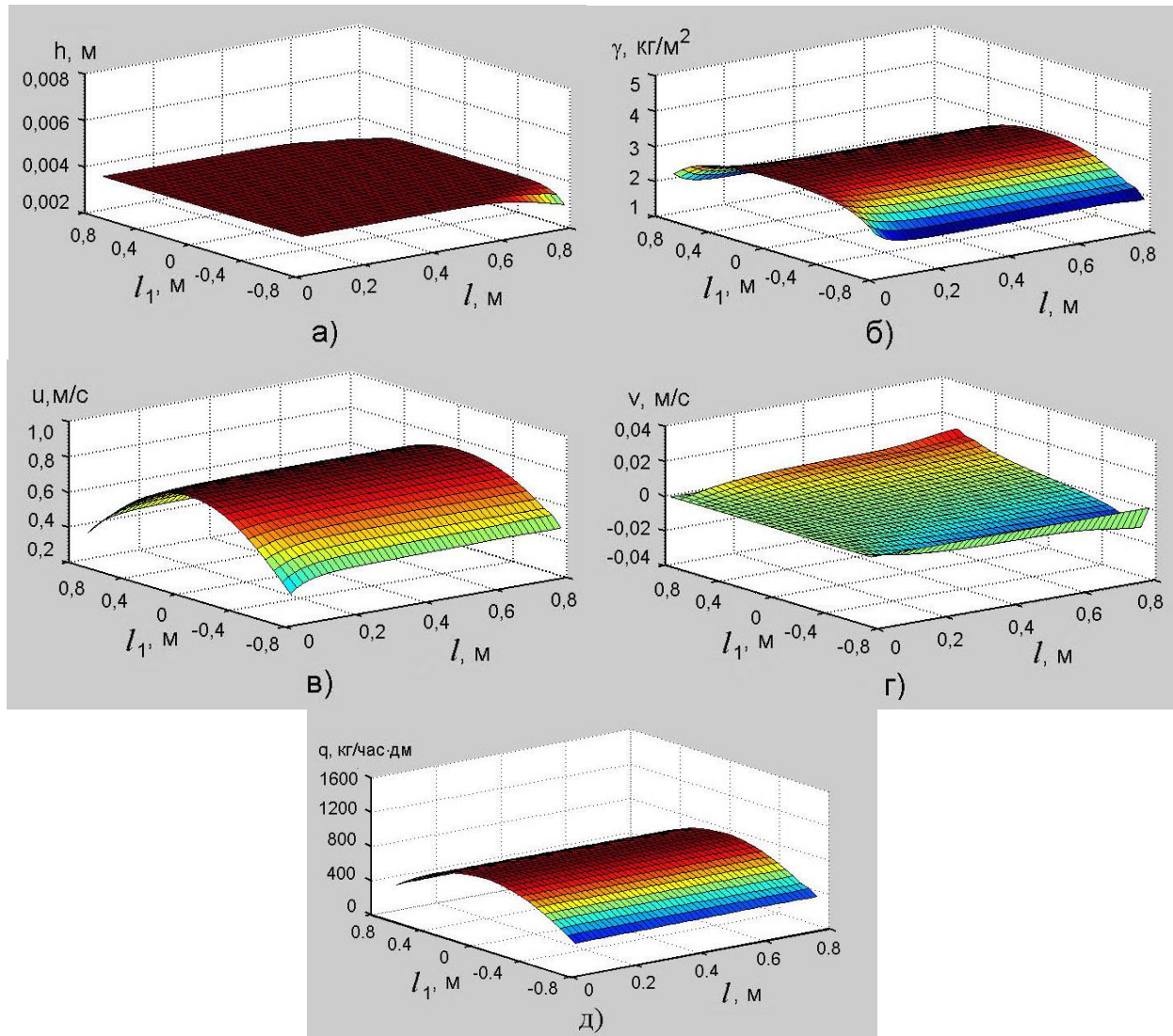


Рис.3. Характеристики потоку сипкої суміші на плоскому похилому віброрешеті: а) - товщина шару; б) - поверхнева щільність суміші; в), г) - поздовжня та поперечна складові швидкості; д) – питоме завантаження решета; $l_1 = 1,6$ м; $l = 0,8$ м

Список використаних джерел

1. Кацева Р.З. Исследование способа регулирования нагрузки зерноочистительных машин. / Р.З. Кацева, А.У. Власов // Труды ВИМ, 1974. –Т.65, Ч.2. – М. – С. 83 - 92.

2. Кубышев В.А. Технология процесса питания зерноочистительных машин поточных линий / В.А. Кубышев, Р.З. Кацева // Труды ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1973. – Вып. 62. – С. 108 - 114.

3. Зюлин А.Н. Исследование процесса сепарации в условиях равномерного распределения материала по поверхности решета / А.Н. Зюлин // Труды ВИМ, 1971. – Т.55. – С 146 - 153.

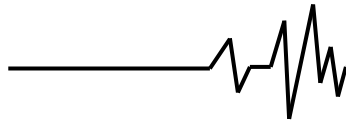
4. Зюли А.Н. Исследование процесса сепарации зерновых смесей на решетках:

автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Зюлин А.Н. – ВАСХНИЛ. – М., 1972. – 27 с.

5. Гончаров Е.С. Теория неустойчивого движения зерна по поверхности вертикальных цилиндрических центробежновибрационных решет / Е.С. Гончаров // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – К.: Урожай, 1973. - Вып.25. -С.39 – 44.

6. Тищенко Л.Н. Определение закономерностей скорости потока зерновой смеси на виброрешете при неравномерной подаче / Л.Н.Тищенко, С.В. Ольшанський, В.П. Ольшанський // Вісник ХНТУСГ “Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв”. – Харків: ХНТУСГ. – 2009. – Вып. 88. – С 5 - 11.

7. Piven M. Grain flow dynamics on vibrating flat sieve of finite width / M. Piven //



TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin. – 2015. – P. 113 - 119.

8. M. Piven. Equation of the planned flow of granular grain mixture. // TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture. Lublin, – Vol.16, №4, 2016 – P. 63-72.

9. Ковеня В.М. Метод расщепления в задачах газовой динамики / В.М. Ковеня, Н.Н. Яненко. – Новосибирск: Наука, 1981. – 304 с.

Список джерел в транслітерації

1. Katseva R.Z. Issledovanie sposoba regulirovaniya nagruzki zernoochistitelnykh mashin. / R.Z. Katseva, A.U. Vlasov // Trudy VIM, 1974. –T.65, Ch.2. – М. – S. 83 - 92.

2. Kubyishev V.A. Tehnologiya protsessa pitaniya zernoochistitelnykh mashin potochnykh liniy / V.A. Kubyishev, R.Z. Katseva // Trudy ChIMESH. – Chelyabinsk, 1973.

3. Zyulin A.N. Issledovanie protsessa separatsii v usloviyah ravnomernogo raspredeleniya materiala po poverhnosti resheta / A.N. Zyulin // Trudy VIM, 1971. – T.55. – S 146 - 153.

4. Zyulin A.N. Issledovanie protsessa separatsii zernovykh smesey na reshetah: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.20.01 / Zyulin A.N. – VASHNIL. – М., 1972. – 27 s.

5. Goncharov E.S. Teoriya neustoychivogo dvizheniya zerna po poverhnosti vertikalnykh tsilindricheskikh tsentrobezhnovibratsionnykh reshet / E.S. Goncharov // Mehanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo hozyaystva. – K.: Urozhay, 1973. - Vyip.25. -S.39 – 44.

6. Tischenko L.N. Opredelenie zakonornostey skorosti potoka zernovoy smesi na vibroreshete pri neravnomernoy podache / L.N. Tischenko, S.V. Olshanskiy, V.P. Olshanskiy // VIsnik HNTUSG “Suchasni napryamki tehnologiyi ta mehanizatsiyi protsesiv pererobnih i harchovih virobnitstv”. – Harkiv: HNTUSG. – 2009. – Vip. 88. – S 5 - 11.

7. Piven M. Grain flow dynamics on vibrating flat sieve of finite width / M. Piven // TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin. – 2015. – P. 113 - 119.

8. M. Piven. Equation of the planned flow of granular grain mixture. // TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture. Lublin, – Vol.16, №4, 2016 – P. 63-72.

9. Kovenya V.M. Metod rasschepleniya v zadachah gazovoy dinamiki / V.M. Kovenya, N.N. Yanenko. – Novosibirsk: Nauka, 1981. – 304 s.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОКА СЫПУЧЕЙ СМЕСИ НА ВИБРОРЕШЕТЕ

Аннотация. В статье представлены результаты исследований характеристик потока сыпучей смеси на наклонном плоском вибрационном решете с боковыми стенками. Получены закономерности толщины слоя, продольной и поперечной составляющих скорости, плотности сыпучей смеси и удельной загрузки на всей площади поверхности вибрационного решета. Установлено, что движение потока сыпучей смеси имеет существенный пространственный характер, а распределение плотности, скорости и удельной загрузки на поверхности решета неоднородное.

Ключевые слова: вибрация, решето, сыпучая смесь, плотность, скорость, удельная загрузка.

DESCRIPTIONS OF FRIABLE MIXTURE STREAM ON A VIBROSIEVE

Annotation. The article presents the results of research of descriptions of friable mixture stream on a sloping flat vibrating sieve with lateral walls. The dependencies of layer thickness, longitudinal and transversal speeds, density of the mixture and specific loading on all area of vibrating sieve surface have been established. It is set that stream motion of friable mixture has substantial spatial character, and distribution of density, speed and specific loading on the surface of sieve are heterogeneous.

Key words: vibration, sieve, friable mixtures, density, speed, specific loading.

Відомості про авторів

Півень Михайло Вікторович. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри фізики і теоретичної механіки Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка (вул. Алчевських 44, м. Харків, Україна, 61002, e-mail: m.v.piven@gmail.com).

Пивень Михаил Викторович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры физики и теоретической механики Харьковского национального технического университета сельского хозяйства имени Петра Василенка (ул. Алчевских 44, г. Харьков, Украина, 61002, e-mail: m.v.piven@gmail.com).

Piven Mikhail – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of physics and theoretical mechanics of Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture (44 Alchevskyyh str., Kharkiv, Ukraine, 61002 e-mail: m.v.piven@gmail.com).