

4. Закон України "Про альтернативні види палива" { Назва Закону в редакції Закону № 1391-VI (1391-17) від 21.05.2009 } // Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2000. – № 12, с. 94).

5. Лісове господарство України. – К. : Вид-во "Держком. лісового господарства України". – 2009. – 71 с.

6. Пристая А.Д. Совершенствование транспортной инфраструктуры в лесах Украинских Карпат / А.Д. Пристая, В.Л. Коржов // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2008. – № 5. – С. 76-78.

### **Пристая О.Д. Регуляторные предпосылки, ресурсный потенциал и технико-экономические перспективы энергетического использования древесины и ее отходов в Украине**

Описаны ресурсные возможности, экономические, технико-технологические, транспортные и потребительские перспективы использования отходов переработки древесины, как энергетического источника в производстве щепы и брикетов. Установлено, что при последующих благоприятных государственных подходах и выполнении задекларированных властью решений, в течение ближайших лет в Украине может быть осуществлено ощутимое строительство лесных дорог, и производство всего перечня оборудования для комплексной лесозаготовки и переработки древесины и на этой основе внедрено комплексное использование древесины для получения готовой продукции, а ее отходов – в качестве восстанавливаемого источника энергии.

**Ключевые слова:** отходы лесопиления, лесные дороги, топливная щепа, древесные топливные гранулы.

### **Prystaya O.D. Regulator pre-conditions, resource potential, technical and economic perspectives of using wood and sawmill waste as energy resources in Ukraine**

It is described resource possibilities, economic, technical, technological, transport and consumer prospects of utilization of wastes of redoing of wood, as a power source in the production of wood chips and preforms. It is set that in the case of subsequent assistance of the state and implementation of the decisions declared power, during the nearest years in Ukraine it can be adjusted building of forest roads, the production of all list of equipment for complex лесозаготовки and redoing of wood It will give possibility complex to use wood for the receipt of the prepared products, and its wastes – as a refurbishable energy source

**Keywords:** sawmill waste, forest roads, fuel chips, fuel wood pellets.

УДК 674.047 Проф. І.М. Озарків, д-р техн. наук; доц. І.А. Соколовський, канд. техн. наук; доц. Н.Д. Довга, канд. фіз.-мат. наук; доц. М.С. Кобринович, канд. фіз.-мат. наук – НЛТУ України, м. Львів

### **ОСНОВНІ ЗАСАДИ СУШІННЯ ПОДРІБНЕНОЇ ДЕРЕВИНИ У ВІБРОКИПЛЯЧОМУ ШАРІ**

Розглянуто основні рівняння, що відображають особливості сушіння подрібнених матеріалів у віброкиплячому шарі. Наведено відповідні графічні залежності. Встановлено, що внаслідок впливу повітряного потоку для досягнення режиму із безперервним підкидуванням величина пришвидшення вібрацій може бути трохи заниженою, що позитивно впливає на довговічність роботи приводу віброустановки. Під час оброблення подрібнених матеріалів на коливній решітці із одночасною подачею газу (підігрітого повітря) пришвидшення вібрації, швидше за все повинно бути нижчим за величину ( $3,296 \cdot g$ ,  $m/s^2$ ).

Відомо, що шар подрібненого матеріалу можна довести до псевдорозрідженого стану внаслідок впливу вібраційних коливань на цей шар. Зазначимо, що вібраційні коливання робочої поверхні сушильної установки або всього корпусу її може здійснюватися механічно-інерційними, пневматичними, гідравлічними, електромагнітними вібраторами.

Важливою характеристикою будь-якої віброустановки, що має відчутний вплив на матеріал, є амплітуда ( $A$ ) коливань.

Вібросушіння може здійснюватися без примусової подачі нагрітого повітря внаслідок кондуктивного або терморадіаційного підведення тепла або безпосереднього подавання підігрітого повітря, тобто конвективного підведення теплоти. Тоді, в першому випадку, такий шар подрібненого матеріалу називають віброкиплячим, а в другому, коли використовується конвекція – віброаерокиплячим.

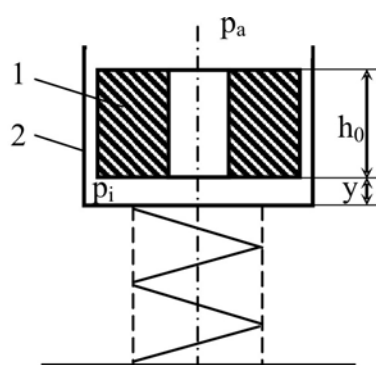


**Рис. 1. Механічна модель віброкиплячого шару:** 1 – поршень, 2 – циліндр

Внаслідок періодичного руху матеріалу ("вперед-назад" або "вгору-вниз"), що перебуває на вібрувальній машині, між шаром подрібненого матеріалу і площиною (сіткою) виникає знакозмінний ("+" на "-" і, навпаки) аеродинамічний тиск. Інакше кажучи, під час підкидування подрібненого матеріалу в цій зоні створюється певне розрідження. Своєю чергою, під час подання цього матеріалу створюється відповідне підвищення тиску.

Для аналітичного опису гідродинаміки віброшару В. Кроль запропонував модель (рис. 1), яка представляє собою поршень із отвором посередині. Сам поршень, своєю чергою, рухається в циліндрі, що здійснює вертикальні гармонічні коливання. При цьому допускається, що порізність шару матеріалу в процесі його піднімання і падіння не змінюється. Інакше кажучи, шар подрібненого матеріалу розглядають як тверде пористе тіло, тобто поршень із отвором.

Ця модель описується системою таких диференціальних рівнянь:

а) рівнянням сил, що діють на шар подрібненого матеріалу під час його піднімання, тобто

$$M \cdot \left[ \frac{\partial^2 y}{\partial \tau^2} + \frac{\partial^2 (\Delta y)}{\partial \tau^2} \right] + M \cdot g + (p_a - p_i) \cdot F = 0, \quad (1)$$

де  $M$  – маса подрібненого матеріалу, що висушується;  $y$  – віддаль між шаром та сіткою сушарки;  $\Delta y$  – шлях переміщення шару;  $g$  – пришвидження земного тяжіння;  $P_i$  – зусилля, що здійснює повітря на шар;  $F$  – площа перерізу шару подрібненого матеріалу.

Питомий парціальний тиск визначають за формулою

$$p_i = \frac{P_i}{F}. \quad (2)$$

б) рівнянням стану повітря, яке перебуває між шаром подрібненого матеріалу та сіткою (піддоном)

$$p_i \cdot V_i = G \cdot R \cdot T, \quad (3)$$

де  $G$  – маса повітря, що перебуває під шаром у момент часу  $\tau$ ;  $R$  – універсальна газова стала;  $T$  – абсолютна температура повітря, К;

в) рівняння, що визначає об'єм повітря, яке проникло за одиницю часу через шар внаслідок різниці тисків ( $p_a - p_i$ ), тобто

$$\frac{\partial G_F}{\partial \tau} = K \cdot \frac{p_a - p_i}{p_a}, \quad (4)$$

де  $G_F$  – маса повітря, віднесена до одиниці площі,  $G_F = G/F$ ;

$K$  – коефіцієнт, що характеризує газопроникність шару, кг/(м<sup>2</sup>·с);

Ввівши позначення

$$p = \frac{p_a - p_i}{p_a} \text{ і } \varepsilon = \frac{p_a}{M}, \quad (5)$$

та виразивши об'єм газу ( $V$ ) через

$$V = y \cdot F, \quad (6)$$

і, замінивши  $(T \cdot R/p_i) = V_0$ , ( $V_0$  – питомий об'єм повітря) за умови нехтування стисливістю самого повітря і прийнявши, що  $F=1$  м<sup>2</sup>, рівняння (1), (3) і (4) набудуть такого вигляду:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial \tau^2} + \varepsilon \cdot p = -\frac{\partial^2 (\Delta y)}{\partial \tau^2} - g; \quad (7)$$

$$\frac{\partial G_F}{\partial \tau} = \frac{\partial y}{\partial \tau} \cdot \frac{1}{V_0}; \quad (8)$$

$$\frac{\partial G_F}{\partial \tau} = K \cdot p. \quad (9)$$

Для спрощення останнього рівняння зроблено допущення в рівнянні (9), що  $p=0$ , тобто  $p_i=p_a$ .

Таким чином, внаслідок розв'язання вище наведеної системи рівнянь за початкової умови

$$y(0) = 0; \quad p(0) = 0; \quad G_F(0) = 0 \quad (10)$$

можна отримати вираз для розрахунку  $p_i$ , тобто для розрахунку аеродинамічного тиску, що виникає під шаром подрібненого матеріалу.

За певних допущень проекцію сили тиску повітряного потоку на частинку подрібненого матеріалу визначають з рівняння виду

$$P = m \cdot g \cdot \frac{v^2}{v_{\text{круж}}^2}, \quad (11)$$

де  $v$ ,  $v_{\text{круж}}$  – відповідно швидкість повітряного потоку та кружіння частинки.

Використовуючи методику І.І. Блехмана та Г.Ю. Джанелідзе і допустивши, що швидкість повітря не залежить від параметрів коливань решітки, отримаємо рівняння, яке зумовлює існування режиму із безперервним підкидуванням частинки за наявності потоку підігрітого повітря

$$\omega'_0 = k_y \cdot \sqrt{\pi^2 \cdot P^2 + 1}, \quad (12)$$

де  $k_y$  – коефіцієнт  $\left( k_y = 1 - \frac{v^2}{v_{\text{круж}}^2} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} \right)$ ;  $\omega'_0$  – параметр режиму коливань.

Величину  $\omega'_0$  визначають за формулою

$$\omega'_0 = \frac{A \cdot \omega^2}{g} \cdot \frac{\sin \beta}{\cos \alpha}, \quad (13)$$

де  $\alpha$  – кут нахилу решітки відносно горизонтальної поверхні, тобто кут нахилу;  $\beta$  – кут між напрямком коливань і решіткою;  $P$  – кількість періодів коливань, ( $P=1,2$ ).

У разі відсутності повітряного потоку ( $v=0$ ) коефіцієнт  $k_y=1$  і вираз, який обумовлює існування того чи іншого режиму із безперервним підкидуванням частинки, має вид

$$\omega'_0 = \sqrt{\pi^2 \cdot P^2 + 1}, \quad (P=1, 2, \dots) \quad (14)$$

Якщо політ частинки здійснюється в межах одного періоду коливань ( $P=1$ ), то величина пришвидшення вібрацій дорівнюватиме

$$g' = 3,296 \cdot g, \text{ м/с}^2. \quad (15)$$

Аналіз рівняння (12) вказує на те, що внаслідок впливу повітряного потоку для досягнення режиму із безперервним підкидуванням величина пришвидшення вібрацій може бути трохи заниженою, що позитивно буде впливати на довговічність роботи приводу віброустановки. Таким чином, під час оброблення подрібнених матеріалів на коливній решітці із одночасною подачею газу (підігрітого повітря) пришвидшення вібрації, швидше за все повинно бути нижчим за величину ( $3,296 \cdot g, \text{ м/с}^2$ ).

Експериментальне дослідження гідродинаміки віброаерошару виконуються, зазвичай, шляхом вимірювання порізності  $\varepsilon$  і опору шару  $\Delta p$ .

Для характеристика стану віборозрідженого шару можуть бути використані такі показники:

а) відносне збільшення висоти шару  $\psi = \Delta h / h_0$  ( $\Delta h$  – збільшення висоти шару, яке буде залежати від амплітуди коливань);

б) порізність віборозрідженого шару  $\varepsilon_v = \varepsilon_0 \cdot (1 + \psi)$ .

На рис. 2 показано графічну залежність гідравлічного опору віборозрідженого шару від швидкості продування "знизу-вверх" повітря за частоти  $f=50$  Гц та амплітуд: 1-2 мм; 2-1,50 мм і 3-1 мм для  $d_{\text{екв}}=0,165$ -0,355 мм і товщині  $h_0=15$  мм. Із графіка видно, що за малої швидкості повітря опір шару подрібненого матеріалу є невеликим, а створюваний під шаром від'ємний опір сприяє фільтруванню повітря через шар. За швидкості повітря  $v'_{\text{кр}} - \Delta p = 0$  і за дальшого зростання швидкості  $v$  величина  $\Delta p$  збільшується, а в межах  $(v' - v'')$  напір повітряного потоку і вібраційний вплив зрівноважують навантаження матеріалу, тобто  $\Delta p \approx \text{const}$ .

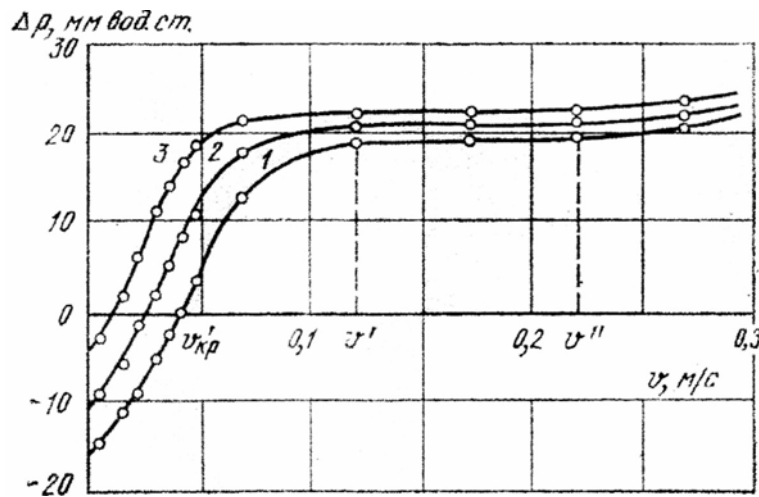


**Рис. 2.** Гідравлічний опір віброаеророзрідженого шару залежно від швидкості повітря, що продувається "знизу-вгору", коли  $f=50$  Гц і амплітудах:  
1 – 2,0 мм; 2 – 1,5 мм; 3 – 1,0 мм

У випадку, коли  $v' > v''$  внаслідок зростаючого впливу повітря рух частинок матеріалу інтенсифікується і  $\Delta p$  зростає, прямуючи до величини, характерної для киплячого шару.

Криві псевдорозрідження свідчать про те, що за швидкості, нижчої за критичну швидкість, високочастотні вібрації із малими амплітудами (до 1 мм) ущільнюють шар подрібненого матеріалу, а низькочастотні вібрації із великими амплітудами – розрихлюють шар. За критичної швидкості повітря і вище її опір із збільшенням амплітуди зменшується.

На рис. 3 показано залежність зміни амплітуди від частоти віброколивань для різних діаметр ( $d_{екв.}=0,355...0,600$  мм – крива 1,  $d_{екв.}=0,60...1,0$  мм – крива 2,  $d_{екв.}=8,0...8,5$  мм – крива 3). Крива, яка побудована за рівнянням  $a_{вібр.}=g$ , ділить площу діаграми на дві області: область А, в якій відбувається вібророзрідження частинок, що не відриваються від поверхні; область Б, в якій відбувається відривання частинок, перемішування їх і віброкипіння шару. Характерно те, що між областями А і Б лежить область ущільнення шару подрібненого матеріалу (пунктирна лінія), тому що в стані вібророзрідження знижується сила тертя між частинками.

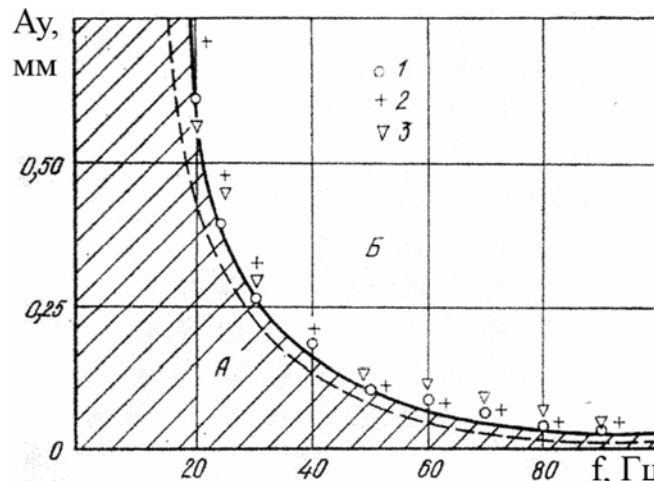


**Рис. 3.** Области стану віброшару: 1 – деревини  $d_{екв.}=0,355...0,600$  мм ( $\rho=1029...1260$  кг/м<sup>3</sup>), 2 – деревини  $d_{екв.}=0,60...1,0$  мм, 3 – сталевих кульок  $d_{екв.}=8,0...8,5$  мм

Дальше відбувається розрихлення шару та його кипіння, яке може перейти в область вихорового кипіння. Інакше кажучи, механізм руху частинок у віброшарі оправдує розділення шару аналогічно киплячому на дві стадії, а саме: на стан віборозрідження і стан віброкипіння.

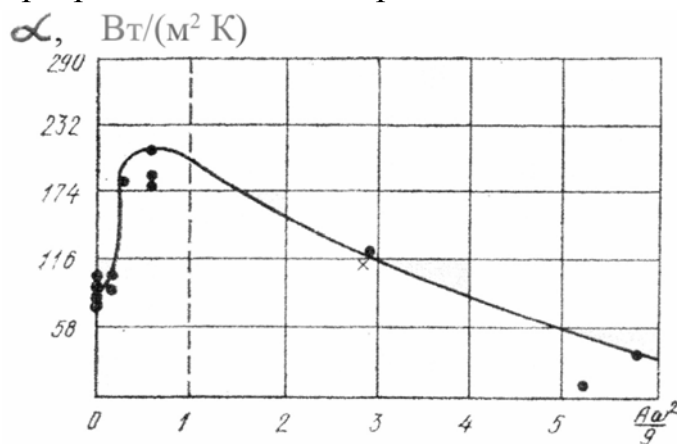


**Рис. 4. Залежність коефіцієнта теплообміну ( $\alpha$ ) за різних режимів віборозрідження у вакуумі, коли шар матеріалу перебуває на горизонтальній віброповерхні**

На рис. 4 показано залежність коефіцієнта теплообміну за різних режимів віборозрідження у вакуумі, коли шар подрібненого матеріалу перебуває на горизонтальній вібрувальній поверхні

$$\alpha = f\left(\frac{A \cdot \omega^2}{g}\right). \quad (16)$$

Таким чином, сушіння в подрібненому шарі є дуже складним процесом і потребує здійснення численних досліджень.

**Озаркив И.М., Соколовский И.А., Довга Н.Д., Кобрынович М.С. Основные принципы сушения измельченной древесины в виброкипящем слое**

Рассмотрены основные уравнения, которые отображают особенности сушения измельченных материалов в виброкипящем слое. Приведены соответствующие графические зависимости. Установлено, что в результате влияния воздушного потока для достижения режима с непрерывным подбрасыванием величина ускорения вибрации может быть немного заниженной, что положительно влияет на долговечность работы привода виброустановки. При обработке измельченных материалов на колеблющейся решетке с одновременной подачей газа (подогретого воздуха) ускорения вибрации, скорее всего должно быть ниже величины ( $3,296 \cdot g$ ,  $m/c^2$ ).

**Ozarkiv I.M., Sokolovsky I.A., Dovga N.D., Kobrunovuch M.S. Basic principles of crushed wood drying in vibrofluidized layer**

In this work the basic equations that represent the characteristics of crushed materials in drying vibrofluidized layer have been considered. An appropriate graphical dependency is shown. It is set that as a result of influence of current of air for achievement of the mode with continuous throwing up a size of accelerations of vibrations can be a bit understated, that positively influences on longevity of work of occasion of vibrosetting. During treatment of the ground up materials on a hesitating grate with the simultaneous serve of gas (warmed-up air) of accelerations of vibration, probably it must be below than size ( $3,296 \cdot g$ ,  $m/c^2$ ).