

Показана актуальность разработки и применения микобиопрепаратов для защиты растений от болезней. Проведенные исследования показали, что использование микобиопрепарата для защиты растений от болезней показало высокую эффективность ограничения развития болезней и стимуляции роста растений.

**Ключевые слова:** защита растений, технология, болезни, микобиопрепарат.

**Teslyuk V.V., Hryhoryuk I.P., Teslyuk V.V., Baranowski V.M., Shvedyk M.S. URGENCY BIOTECHNOLOGY DEVELOPMENT MODEL AND RECEPTION OF THEM MUSHROOM GLUCAN TO PROTECT PLANTS AGAINST DISEASES**

*The urgency of developing and applying mikobiopreparatov to protect plants from disease. Studies have shown that the use of mikobiopreparatu to protect plants from disease showed high effectiveness of the control of disease and to stimulate plant growth.*

**Keywords:** plant protection, technology, disease, mikobiopreparat.

Стаття надійшла в редакцію: 03.09.2016

Рецензент: д.т.н., проф. Саарела Йоко

УДК 532.5.013.12

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ  
ПРИ ДВИЖЕНИИ ГАЗА ЧЕРЕЗ СЛОЙ ШАРОВ**

**И. А.Кутузова**, старший преподаватель

**А. С.Ковязин**, к.т.н., доцент

Запорожская государственная инженерная академия

**Г. А.Голуб**, д.т.н., профессор

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Установлена функциональная зависимость, связывающая потери давления при движении газа через слой шаров с параметрами выпарной установки с промежуточным твердым теплоносителем в виде металлических шаров

**Ключевые слова:** выпарная установка, слой шаров, потери давления, параметры.

**Проблема.** Одними из основных и достаточно распространенных загрязнителей окружающей природной среды являются так называемые высокоминерализованные сточные воды (ВМСВ) металлургической, химической, энергетической и ряда других отраслей промышленности, содержащие соли кальция, натрия, магния и т.д. Несмотря на широкое внедрение оборотного водоснабжения, и новых малоотходных технологий, объем загрязненных сточных вод остается значительным. Поэтому важной проблемой является очистка жидких отходов от минеральных загрязнений.

Одним из перспективных технических средств, позволяющих эффективно обезвреживать ВМСВ, является выпарная установка с промежуточным твердым теплоносителем в виде металлических шаров [1], для обоснования параметров которой требуется определить потери давления при движении газа через слой шаров.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работе [2] представлены результаты теоретического анализа влияния основных гидродинамических параметров на процесс выпаривания высокоминерализованных сточных вод в аппаратах с промежуточным твердым теплоносителем. Однако полученные зависимости имеют усредненный характер и пригодны лишь для приблизительной оценки потерь давления при

движении газа через слой шаров.

**Цель.** Установление функциональной зависимости, связывающей потери давления при движении газа через слой шаров с параметрами выпарной установки с промежуточным твердым теплоносителем в виде металлических шаров.

**Материалы и методы.** Потери давления при движении газа через слой шаров определялась с использованием пакета вычислительной гидродинамики ANSYS Fluent, который в качестве метода пространственной дискретизации использует метод конечных объемов с расчетом неизвестных в центрах ячеек. При моделировании газодинамических процессов использовались уравнения Навье-Стокса и уравнение неразрывности. Для моделирования турбулентности использовалась  $k-\varepsilon$  модель «standard».

Для обработки полученных данных и установления функциональной зависимости, связывающей потери давления при движении газа через слой шаров с параметрами выпарной установки, применялась система компьютерной математики Mathematica 10.

**Результаты исследований.** В выпарной камере 1 находится инертный теплоноситель в виде металлических шаров 2, которые расположены на решетке 3 (рис. 1). Горячий газ непрерывно подводится в выпарную камеру снизу, и, проходя через слой металлических шаров,

нагревает их. Когда температура шаров достигает температуры горячего газа, сверху подаются высокоминерализованные сточные воды. При этом происходит пленочное выпаривание минерализованного раствора с образованием на поверхности шаров накипи соли. По мере нарастания слоя солей на поверхности шаров увеличивается гидравлическое сопротивление слоя шаров, которое может достигать критических значений, когда дальнейшая эксплуатация становится невыгодной из-за больших энергетических затрат на преодоление этого сопротивления. Поэтому периодически шары извлекаются из выпарной камеры и очищаются, в результате чего получают соли в твердом виде, что удобно и при транспортировке и при захоронении.

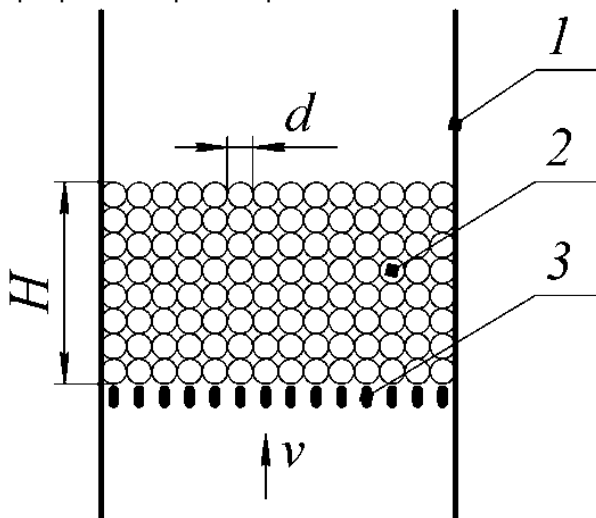


Рисунок 1 – Выпарная камера:  
1 – выпарная камера;  
2 – металлический шар;  
3 – решетка.

В качестве параметров, влияющих на потери давления при движении газа через слой шаров, принимаем высоту слоя шаров  $H$ , скорость подачи газа  $v$  и диаметр шаров  $d$ .

Введем следующие допущения:

- шары в выпарной камере уложены в виде простой кубической укладки [3];
- гидравлическим сопротивлением решетки пренебрегаем;
- плотность и вязкость газа постоянны;
- задачу рассматриваем в стационарной постановке;
- из массива шаров выделяем только один «столб» шаров и в дальнейшем рассматриваем только его.

Тогда расчетная область будет иметь форму параллелепипеда, на входной нижней грани которого задан равномерный профиль скорости  $v$  (velocity-inlet condition), верхняя грань является выходной, и на ней предполагается постоянное давление  $p = 0$  (pressure-outlet condition), а на боковых гранях расчетной области поставлено условие симметрии (рис. 2).

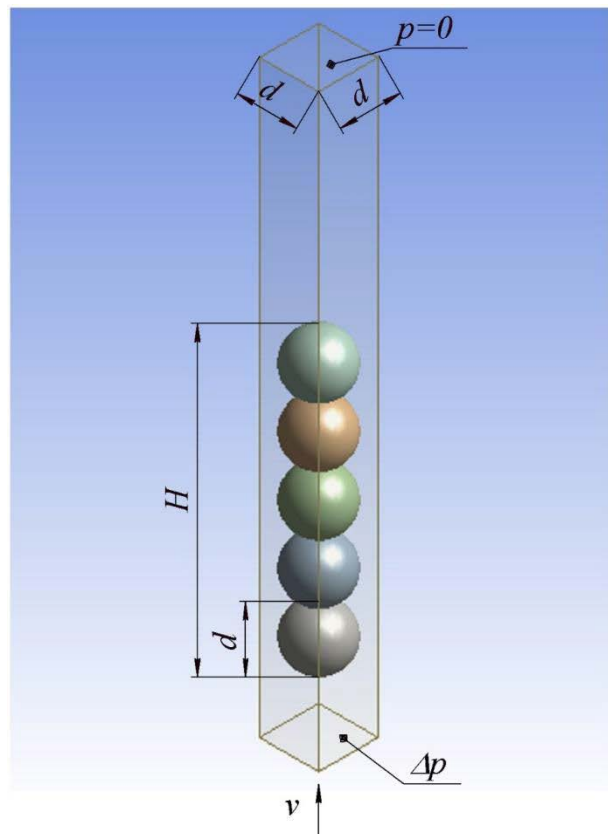


Рисунок 2 – Расчетная область с параметрами

Для исключения реверсивных потоков, что искажает результаты, полученные в ходе численного эксперимента, при моделировании приняли, что входная грань расположена на расстоянии  $d$  от нижнего шара, а выходная – на расстоянии  $5d$  от верхнего шара.

Расчетную область запишем в виде

$$M_1 = \left(-\frac{d}{2}; \frac{d}{2}\right) \times \left(-\frac{d}{2}; \frac{d}{2}\right) \times (-d; (n+5)d),$$

где  $n$  – количество шаров в «столбе»,

$$n = \frac{H}{d}.$$

Область, занимаемая шарами

$$M_2 = M_{21} \cup M_{22} \cup \dots \cup M_{2n},$$

где  $M_{21}$  – область, занимаемая первым шаром

$$M_{21} = \left\{ (x, y, z) / x^2 + y^2 + \left(z - \frac{d}{2}\right)^2 \leq \frac{d^2}{4} \right\};$$

$M_{22}$  – область, занимаемая вторым шаром

$$M_{22} = \left\{ (x, y, z) / x^2 + y^2 + \left(z - \frac{3d}{2}\right)^2 \leq \frac{d^2}{4} \right\};$$

$M_{2n}$  – область, занимаемая  $n$ -м шаром

$$M_{2n} = \left\{ (x, y, z) / x^2 + y^2 + \left(z - \frac{(2n-1)d}{2}\right)^2 \leq \frac{d^2}{4} \right\}$$

Тогда область, занимаемая газом

$$M = M_1 \setminus M_2.$$

При моделировании газодинамических

процессов использовались [4]:  
уравнения Навье-Стокса

$$\begin{aligned} \rho \frac{Du}{Dt} &= -\frac{\partial p}{\partial x} + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left[ (\mu + \mu_t) \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ (\mu + \mu_t) \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ (\mu + \mu_t) \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right], \\ \rho \frac{Dv}{Dt} &= -\frac{\partial p}{\partial y} + 2 \frac{\partial}{\partial y} \left[ (\mu + \mu_t) \frac{\partial v}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[ (\mu + \mu_t) \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ (\mu + \mu_t) \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right], \\ \rho \frac{Dw}{Dt} &= -\frac{\partial p}{\partial z} + 2 \frac{\partial}{\partial z} \left[ (\mu + \mu_t) \frac{\partial w}{\partial z} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[ (\mu + \mu_t) \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ (\mu + \mu_t) \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right], \end{aligned}$$

уравнение неразрывности

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0,$$

где  $\rho$  – плотность газа;

$D$  – субстанциальная производная, так, например, согласно [5]

$$\frac{Du}{Dt} = \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z};$$

$u, v, w$  – компоненты средней скорости в направлениях  $x, y, z$ ;

$t$  – время;

$p$  – давление;

$\mu, \mu_t$  – динамические молекулярная и турбулентная вязкости.

Для моделирования турбулентности использовалась  $k$ - $\varepsilon$  модель «standard», которая является экономной с точки зрения вычислительных ресурсов и, в то же время, достаточно надежной с точки зрения достоверности полученных результатов, благодаря чему пользуется

большой популярностью при проведении вычислительных экспериментов.

Кинетическая энергия турбулентности определяется как

$$k = \frac{\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}}{2},$$

а скорость диссипации кинетической энергии турбулентности

$$\varepsilon = 2 \frac{\mu}{\rho} \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right].$$

Физический смысл скорость диссипации энергии турбулентности – это скорость, с которой кинетическая энергия турбулентности превращается в тепло вследствие вязкого трения.

Для  $k$ - $\varepsilon$  модели «standard», турбулентная кинетическая энергия  $k$  и ее скорость диссипации  $\varepsilon$  вычислялись по следующим уравнениям:

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial z} \right] + G_k - \rho \varepsilon$$

и

$$\begin{aligned} \rho \frac{D\varepsilon}{Dt} &= \frac{\partial}{\partial x} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right] + \\ &+ C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_{\varepsilon 2} \rho \frac{\varepsilon^2}{k}, \end{aligned}$$

где  $C_{\varepsilon 1}, C_{\varepsilon 2}$  – константы в модели турбулентности;

$\sigma_k, \sigma_\varepsilon$  – турбулентные числа Прандтля для  $k$  и  $\varepsilon$ ;

$G_k$  – генерация турбулентной кинетической энергии

$$\begin{aligned} G_k &= -\overline{\rho u'^2} \frac{\partial u}{\partial x} - \overline{\rho u' v'} \frac{\partial v}{\partial x} - \overline{\rho u' w'} \frac{\partial w}{\partial x} - \\ &- \overline{\rho v'^2} \frac{\partial v}{\partial y} - \overline{\rho u' v'} \frac{\partial u}{\partial y} - \overline{\rho v' w'} \frac{\partial w}{\partial y} - \\ &- \overline{\rho w'^2} \frac{\partial w}{\partial z} - \overline{\rho u' w'} \frac{\partial v}{\partial z} - \overline{\rho v' w'} \frac{\partial w}{\partial z}. \end{aligned}$$

Модель турбулентной вязкости

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}.$$

Для  $k$ - $\varepsilon$  модели сформировался стандарт-

ный рекомендуемый набор эмпирических констант  $C_{\varepsilon 1} = 1,44; C_{\varepsilon 2} = 1,92; C_\mu = 0,09; \sigma_k = 1,0; \sigma_\varepsilon = 1,3$  [6, 7].

При моделировании в качестве газа приняли воздух с температурой 250 °С, для которого  $\rho = 0,67$  кг/м<sup>3</sup> и  $\mu = 2,74 \cdot 10^{-5}$  Па·с [8].

Численный эксперимент проводился с использованием пакета вычислительной гидродинамики ANSYS Fluent, который в качестве метода пространственной дискретизации использует метод конечных объемов с расчетом неизвестных в центрах ячеек. В результате были получены данные о потерях давления  $\Delta p$  при движении газа через слой шаров при различных высоты слоя шаров  $H$ , скорости подачи газа  $v$  и диаметра шаров  $d$  (табл. 1). Характер поля давлений, скорости газа и турбулентной кинетической энергии представлен на рис. 3.

Таблица 1 – Значения параметров и результаты численного эксперимента

№ опыта	Параметры			Потери давления		Отклонение $\delta_{др}, \%$
	Высота слоя шаров $H, \text{ см}$	Скорость подачи газа $v, \text{ м/с}$	Диаметр шаров $d, \text{ см}$	Экспериментальные $\Delta p, \text{ Па}$	Расчетные $\Delta p, \text{ Па}$	
1	12	2	1	125	126,7	1,4
2	12	2	2	68	69,2	1,8
3	12	2	3	48	48,6	1,3
4	12	4	1	504	503,3	-0,1
5	12	4	2	279	275,1	-1,4
6	12	4	3	194	193,3	-0,4
7	12	6	1	1152	1129,9	-1,9
8	12	6	2	619	617,7	-0,2
9	12	6	3	433	433,9	0,2
10	18	2	1	191	190,0	-0,5
11	18	2	2	103	103,9	0,9
12	18	2	3	73	72,9	-0,1
13	18	4	1	745	755,0	1,3
14	18	4	2	411	412,7	0,4
15	18	4	3	292	289,9	-0,7
16	18	6	1	1675	1694,9	1,2
17	18	6	2	922	926,5	0,5
18	18	6	3	655	650,8	-0,6
19	24	2	1	254	253,3	-0,3
20	24	2	2	138	138,5	0,4
21	24	2	3	97	97,3	0,3
22	24	4	1	1015	1006,6	-0,8
23	24	4	2	546	550,3	0,8
24	24	4	3	388	386,5	-0,4
25	24	6	1	2264	2259,8	-0,2
26	24	6	2	1235	1235,4	0,0
27	24	6	3	868	867,7	0,0

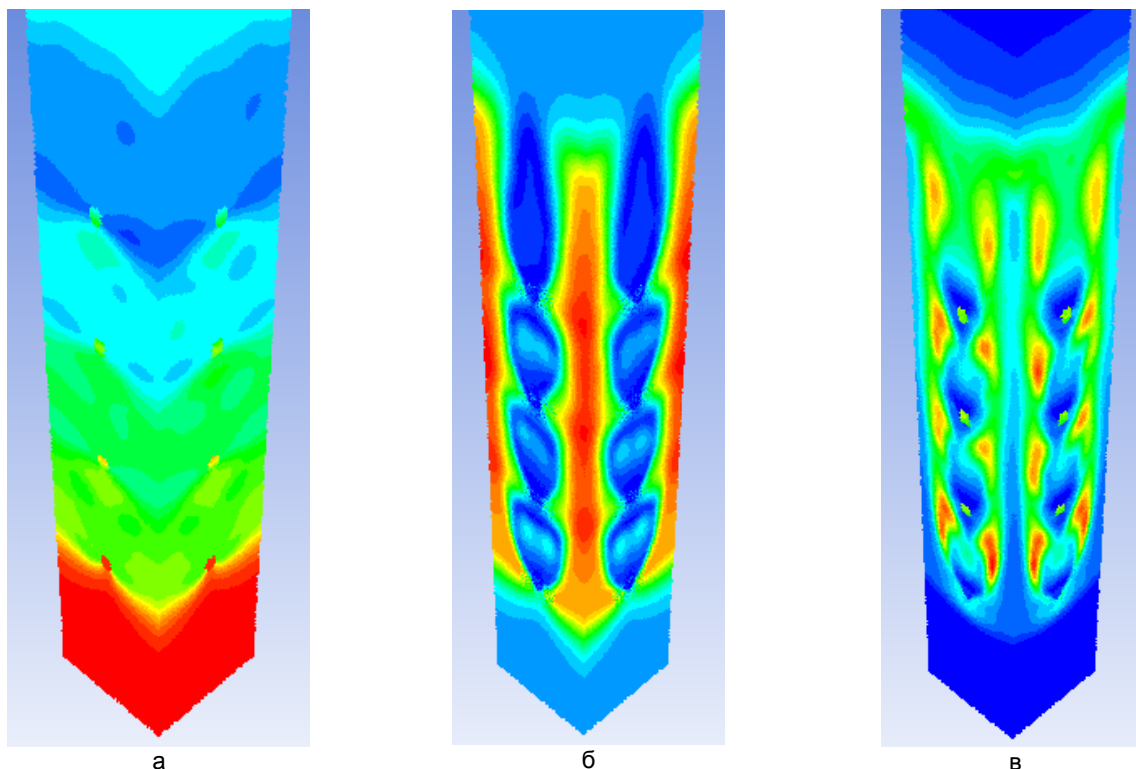


Рисунок 3 – Характер поля давлений (а), скорости газа (б) и кинетической энергии турбулентности (в) при  $H = 12 \text{ см}$ ,  $v = 6 \text{ м/с}$  и  $d = 3 \text{ см}$

Используя функцию нелинейной регрессии FindFit системы компьютерной математики Mathematica 10 [9], получили функциональную зависимость по определению расчетных потерь давления вида

$$\Delta p_p = \frac{1,049H(0,067v + 2,483v^2)}{d^{0,871}}, \quad (1)$$

которая с приемлемой для практических расчетов точностью (отклонения от значений элементов массива расчетных данных не превышают 2 %), описывает влияние параметров выпарной установки на потери давления (табл. 1).

Для графического представления полученной функциональной зависимости (1) один из параметров фиксировался на определенном уровне ( $H = 18$  см,  $v = 4$  м/с,  $d = 2$  см) и были построены поверхности (рис. 4-6).

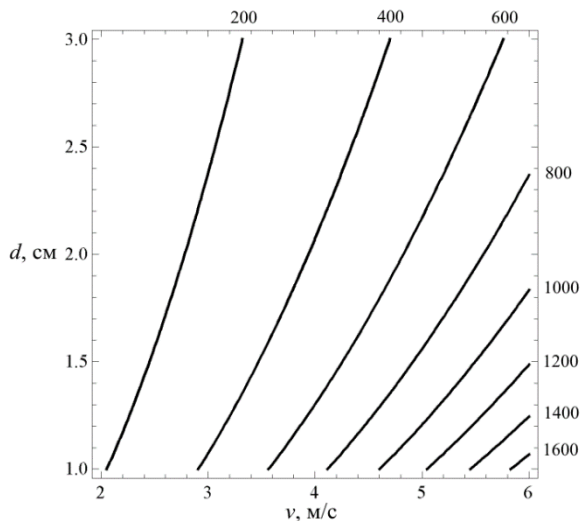


Рисунок 4 – Зависимость потерь давления  $\Delta p$  от скорости подачи газа  $v$  и диаметра шаров  $d$

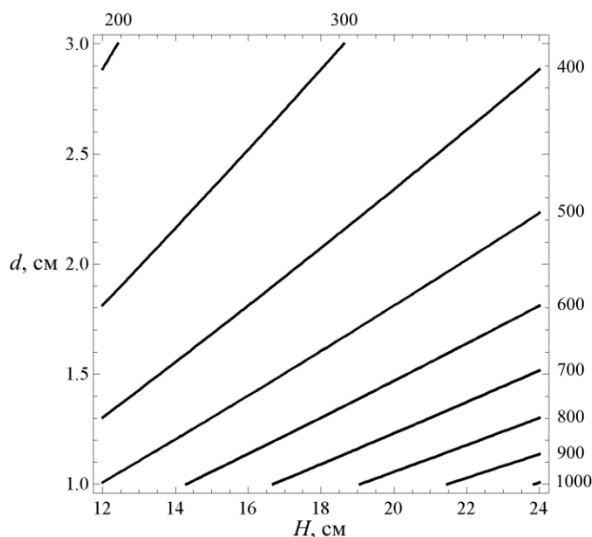


Рисунок 5 – Зависимость потерь давления  $\Delta p$  от высоты слоя шаров  $H$  и диаметра шаров  $d$

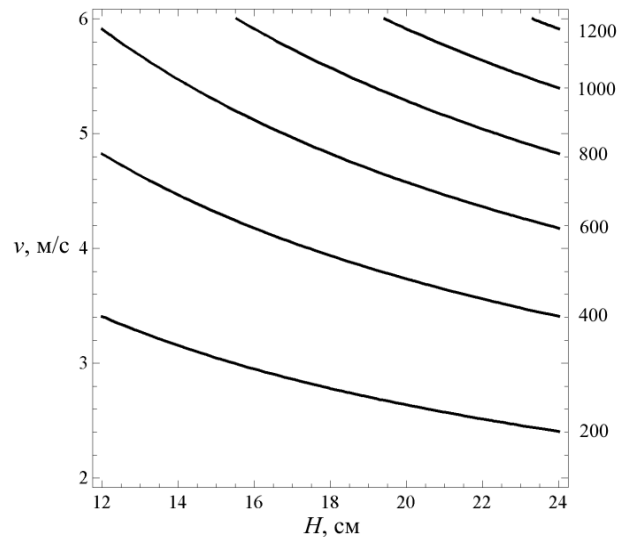


Рисунок 6 – Зависимость потерь давления  $\Delta p$  от высоты слоя шаров  $H$  и скорости подачи газа  $v$

Зная потери давления и скорость подачи газа, становится возможным определить энергозатраты на преодоление гидравлического сопротивления слоя шаров.

Мощность, необходимая для прокачивания газа через слой шаров, определяется по формуле

$$N = \frac{v A \Delta p}{\eta_n},$$

где  $A$  – площадь поперечного сечения выпарной камеры,  $m^2$ ;

$\eta_n$  – полный КПД вентилятора.

**Выводы.** Проведен численный эксперимент и получены данные о потерях давления  $\Delta p$  при движении газа через слой шаров при различных высоты слоя шаров  $H$ , скорости подачи газа  $v$  и диаметра шаров  $d$ . Получена функциональная зависимость по определению расчетных потерь давления вида

$$\Delta p_p = \frac{1,049H(0,067v + 2,483v^2)}{d^{0,871}},$$

которая с приемлемой для практических расчетов точностью (отклонения от значений элементов массива расчетных данных не превышают 2 %), описывает влияние параметров выпарной установки на потери давления (табл. 1).

#### Список использованной литературы:

1. Кутузова И. А. Анализ и пути решения проблемы обезвреживания высокоминерализованных жидких отходов промышленных предприятий / И. А. Кутузова, Г. Б. Кожемякин // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – Вып. 52. – Харьков: ХНАДУ, 2011р. – С. 78-82.
2. Кутузова И. А. Исследование гидравлического сопротивления промежуточного твердого теплоносителя при выпаривании высокоминерализованных сточных вод / И. А. Кутузова, Н. В. Беренда //

Металургія: Збірник наукових праць. – Вип. 1 (26). – Запоріжжя: ЗДІА, 2012. – С. 153-157.

3. Аэров М. Э. Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем / М. Э. Аэров, О. М. Тодес. – Л.: Химия, 1968. – 512 с.

4. Тыринов А. И. Верификация нестационарных  $k$ - $\varepsilon$  моделей турбулентности на основе теплообменных процессов в импактной струе / А. И. Тыринов // Пром. теплотехника. – № 5. – Т. 28. – 2006. – С. 21-26.

5. Зайцев О. И. Субстанциальная производная и ее использование в гидравлике / О. И. Зайцев, Е. Н. Кожевникова, Е. А. Локтионова, В. Т. Орлов // Строительство уникальных зданий и сооружений. – № 8(13). – 2013. – С. 34-41.

6. Юн А. А. Расчет и моделирование турбулентных течений с теплообменом, смешением, химическими реакциями и двухфазных течений в программном комплексе Fastest-3D / А. А. Юн, Б. А. Крылов. – М.: Изд-во МАИ, 2007. – 116 с.

7. Снегирёв А. Ю. Высокопроизводительные вычисления в технической физике. Численное моделирование турбулентных течений / А. Ю. Снегирёв. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 143 с.

8. Михеев М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М.: Энергия, 1977. – 344 с.

9. Половко А. М. Mathematica для студента / А. М. Половко. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 368 с.

### **Кутузова І.А., Ковязін А.С., Голуб Г.А. ТЕОРЕТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ТИСКУ ПРИ РУСІ ГАЗУ КРИЗЬ ШАР КУЛЬОК**

*Встановлена функціональна залежність, що зв'язує втрати тиску при русі газу через шар куль з параметрами випарної установки із проміжним твердим теплоносієм у вигляді металевих кульок.*

**Ключові слова:** випарна установка, шар куль, втрати тиску, параметри.

### **I.A.Kutuzova, A.S.Kovyazin, G.A.Golub The effect of basic parameters of geothermal ventilation on the efficiency of ground heat exchangers**

*A mathematical model has been developed for the determination of the ground heat exchangers efficiency depending upon basic parameters of geothermal ventilation, considering the soil thermophysical properties.*

**Keywords:** evaporation plant, a layer of balls, the pressure loss parameters.

Стаття надійшла в редакцію: 07.10.2016

Рецензент: д.ф.-м.н., проф. Кузема О.С.

УДК 631.312

### **РУХ ЧАСТИНКИ ПО ПОВЕРХНІ ЦИЛІНДРА, ВСІ ТОЧКИ ЯКОГО ОПИСУЮТЬ КОЛА В ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ПЛОЩИНАХ**

**С. Ф. Пилипака**, д.т.н., проф. Національний університет біоресурсів і природокористування України

**М. Б. Клендій**, к.т.н., Бережанський агротехнічний інститут НУБіП України

*Складено диференціальні рівняння відносного переміщення частинки по внутрішній поверхні пологого циліндра, який здійснює коливальний рух. Всі точки циліндра описують кола в горизонтальних площинах. Рівняння розв'язано чисельними методами і побудовано траєкторії відносного руху частинки по поверхні циліндра. Наведено графіки інших кінематичних характеристик у функції часу. Розглянуто часткові випадки, коли вісь циліндра розташована горизонтально або під кутом тертя до горизонтальної площини.*

**Ключові слова:** відносний рух, похилий циліндр, частинка, диференціальні рівняння, кінематичні параметри.

**Постановка проблеми.** В праці [1] зазначено, що похила площина є універсальним конструктивним елементом багатьох сільськогосподарських машин [1]. По площині, що коливається, в процесі обробки переміщується технологічний матеріал. Найбільш дослідженим є рух частинок по горизонтальній площині, яка здійснює коливальний прямолінійний або коловий рух. Для

похилої площини дослідження в основному ведуться при її прямолінійних зворотно-поступальних коливаннях в горизонтальному напрямі, в напрямі нахилу площини або в поперечному напрямі [1]. Цікавим з пізнавальної точки зору є рух частинок по інших поверхнях, що здійснюють коливальний рух, зокрема, по циліндричних.