

Цизь І.Є., Хомич С.М.
*Луцький національний технічний університет***МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ В СЕРЕДОВИЩІ САПРОПЕЛЮ**

У статті наведена модель руху бульбашки повітря в середовищі сапропелю у вигляді системи диференціальних рівнянь. На основі розв'язку системи числовим методом побудовано межі повітряного потоку у в'язких рідинах та сапропелі.

Ключові слова: сапропель, повітря, пристрій, добування, траєкторія.

Постановка проблеми. Використання засобу для добування сапропелю із пневматичним (ерліфтним) забірним пристроєм [1] значно спрощує та здешевлює технологічний процес розробки родовищ. Даний пристрій має ряд переваг в порівнянні з іншими, які забезпечують добування сапропелю природної вологості. Основною з них є розрихлення сапропелевих покладів потоком стиснутого повітря за рахунок чого відбувається зменшення енергетичних та матеріальних витрат на отримання сільськогосподарського матеріалу – органічного сапропелю. Але серед відомих досліджень відсутні математичні моделі процесів, що відбуваються у забірній частині пневматичного пристрою для добування сапропелю

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Більшість теоретичних досліджень, що спрямовані на вивчення руху потоку стиснутого повітря в рідині обмежуються вивченням руху одиначної бульбашки.

У відповідності до [6] процес виходу стиснутого повітря через отвори кільцевого напірного трубопроводу супроводжується формуванням струменю, який в процесі руху подрібнюється на окремі бульбашки різного об'єму, що піднімаються у висхідному напрямку. Дана сапропелеповітряна суміш утворює бульбашкову структуру руху двофазного середовища у середині змішувача тобто, забірної частини пристрою.

Вивчення бульбашкового процесу, як початкового в пневматичному (ерліфтному) пристрої дозволяє сформулювати достовірну базу для подальшого теоретичного дослідження та моделювання структури і режиму руху, що формується всередині транспортуючого трубопроводу, та являється основою при дослідженні динаміки газорідних сумішей.

Авторами [2, 3, 4, 5], встановлено, що на бульбашку газу чи пари, що спливають в рідині діють підйомна сила викликана градієнтом тиску в напрямку руху бульбашки, сила опору рідини оточуючої бульбашку та сила поверхневого натягу. Дані дослідження описували умови піднімання бульбашки в рідині лише у вертикальній площині.

Метою роботи є розробка моделі руху повітряного потоку, який виходить з сопла розташованого під довільним кутом до горизонту, у середовищі в'язкої рідини

Результати досліджень. Вважаючи, що повітряний потік складається із окремих бульбашок кулястої форми, розглянемо рух довільної бульбашки масою m яка рухається у середовищі в'язкої рідини з глибини H . Початкова швидкість бульбашки задана її проекціями v_{ox} та v_{oy} на осі OX і OY двомірної декартової системи координат XOY (рис. 1).

З врахуванням вище наведеного на бульбашку діють наступні сили:

- сила ваги mg ;
- виштовхувальна сила Архімеда $F_{Арх}$;
- сила лобового опору (сила Стокса) $F_{Сток}$.

Відповідно до формули Бернуллі тиск повітря в бульбашці становить:

$$P = P_{атм} + \rho \cdot g \cdot (H - y) + \rho \cdot \frac{v^2}{2} \quad (1)$$

де $P_{атм}$ – атмосферний тиск, Па;

ρ – густина сапропелю, кг/м^3 ;

y – біжуче значення координати центра мас бульбашки вздовж осі OY , м;
 $v^2 = \dot{x}^2 + \dot{y}^2 = v_{ox}^2 + v_{oy}^2$ – квадрат швидкості руху бульбашки, м/с;
 g – прискорення вільного падіння, м/с².

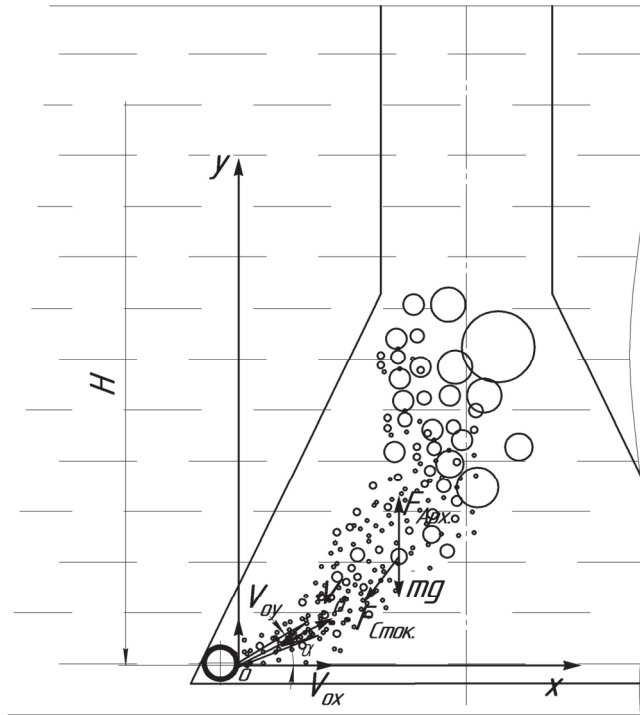


Рис. 1. Розрахункова схема руху бульбашок повітря у середовищі в'язкої рідини

Відповідно до формули Менделєєва-Клапейрона об'єм бульбашки становить

$$V = \frac{m}{\mu \cdot P} \cdot R \cdot T, \quad (2)$$

де m – вага повітря у бульбашці кг;
 μ – молярна маса повітря $\mu=0,029$ кг/моль;
 R – універсальна газова стала $R=8,31$ Дж/моль·К;
 T – абсолютна температура бульбашки, К.

Підставивши (1) в (2) отримаємо

$$V = \frac{2 \cdot m \cdot R \cdot T}{\mu \cdot (2 \cdot P_{атм} + 2 \cdot \rho \cdot g \cdot (H - y) + \rho \cdot (\dot{x}^2 + \dot{y}^2))}. \quad (3)$$

Виштовхувальна сила Архімеда дорівнює

$$F_{Арх} = \rho \cdot g \cdot V. \quad (4)$$

З урахуванням (3) формула (4) набуде вигляду

$$F_{Арх} = \frac{2 \cdot m \cdot g \cdot \rho \cdot R \cdot T}{\mu \cdot (2 \cdot P_{атм} + 2 \cdot \rho \cdot g \cdot (H - y) + \rho \cdot (\dot{x}^2 + \dot{y}^2))}. \quad (5)$$

Для обчислення сили лобового опору Стокса, що діє на бульбашку, наближено вважатимемо останню кулькою радіусом r_0 . Тоді можна записати

$$F_{\text{Сток}} = -6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r_0 \cdot v, \quad (6)$$

де η – динамічний коефіцієнт в'язкості сапропелю, Па·с;

v – швидкості руху бульбашки, м/с.

Коефіцієнт в'язкості для ньютонівських рідин не залежить від швидкості деформації зсуву середовища, що у розглядуваному випадку відповідає швидкості руху бульбашки v , а для більшості реальних рідин швидкість зсуву суттєво впливає на коефіцієнт в'язкості. Тому коефіцієнт в'язкості у формулі (6) слід вважати функцією від швидкості бульбашки $\eta(v)$. Наприклад, для сапропелю у результаті експериментальних досліджень встановлено, що така функція має вигляд степеневі залежності.

$$\eta = q \cdot v^{-b}, \quad (7)$$

де q та b – коефіцієнти значення яких залежить від вологості сапропелю.

Проте, залежність (7) можна використовувати і для ньютонівських рідин (наприклад води) вважаючи, що $q = \eta = \text{const}$, а $b = 0$. Тому вважаючи на викладене із (6) з урахуванням (7) отримаємо

$$F_{\text{Сток}} = -6 \cdot \pi \cdot q \cdot v^{1-b} \cdot r_0. \quad (8)$$

Радіус r_0 повітряної кульки з урахуванням (3) дорівнює

$$r_0 = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot V}{4 \cdot \pi}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot m \cdot R \cdot T}{2 \cdot \pi \cdot \mu (2 \cdot P_{\text{амм}} + 2 \cdot \rho \cdot g \cdot (H - y) + \rho \cdot (\dot{x}^2 + \dot{y}^2))}} \quad (9)$$

У такому випадку сила лобового опору Стокса дорівнює

$$F_{\text{Сток}} = -6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot q \cdot v^{1-b} \times \sqrt[3]{\frac{3 \cdot m \cdot R \cdot T}{2 \cdot \pi \cdot \mu (2 \cdot P_{\text{амм}} + 2 \cdot \rho \cdot g \cdot (H - y) + \rho \cdot (\dot{x}^2 + \dot{y}^2))}}. \quad (10)$$

Відповідно до II закону Ньютона запишемо

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{F}_{\text{Арх}} + \vec{F}_{\text{Сток}}. \quad (11)$$

З урахуванням (5) та (10) формула (11) у проєкціях на осі координат набуде вигляду

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -6 \cdot \pi \cdot q \cdot \dot{x}^{1-b} \cdot \sqrt[3]{\frac{3 \cdot m \cdot R \cdot T}{2 \cdot \pi \cdot \mu (2 \cdot P_{\text{амм}} + 2 \cdot \rho \cdot g \cdot (H - y) + \rho \cdot (\dot{x}^2 + \dot{y}^2))}}; \\ m\ddot{y} = -m \cdot g + \frac{2 \cdot m \cdot g \cdot \rho \cdot R \cdot T}{\mu (2 \cdot P_{\text{амм}} + 2 \cdot \rho \cdot g \cdot (H - y) + \rho \cdot (\dot{x}^2 + \dot{y}^2))} - \\ -6 \cdot \pi \cdot q \cdot \dot{x}^{1-b} \cdot \sqrt[3]{\frac{3 \cdot m \cdot R \cdot T}{2 \cdot \pi \cdot \mu (2 \cdot P_{\text{амм}} + 2 \cdot \rho \cdot g \cdot (H - y) + \rho \cdot (\dot{x}^2 + \dot{y}^2))}}. \end{cases} \quad (12)$$

Виразимо із (2) масу бульбашки через її об'єм V_0 при абсолютному тиску $P_{атм}$

$$m = \frac{\mu P_{атм} V_0}{RT} \quad (13)$$

Розділивши праву та ліву частину рівнянь системи (12) на m з урахуванням (13) та після перетворень отримаємо

$$\begin{cases} \ddot{x} = -6 \cdot \pi \cdot \frac{R \cdot T}{\mu} \cdot q \cdot \dot{x}^{l-b} \times \\ \times_3 \sqrt{\frac{3}{2 \cdot \pi \cdot P_{атм} \cdot V_0 (2 \cdot P_{атм} + 2 \cdot \rho \cdot g \cdot (H - y) + \rho \cdot (\dot{x}^2 + \dot{y}^2))}}; \\ \ddot{y} = -g + \frac{2 \cdot g \cdot \rho \cdot R \cdot T}{\mu \cdot (2 \cdot P_{атм} + 2 \cdot \rho \cdot g \cdot (H - y) + \rho \cdot (\dot{x}^2 + \dot{y}^2))} - \\ - 6 \cdot \pi \cdot \frac{R \cdot T}{\mu} \cdot q \cdot \dot{y}^{l-b} \times \\ \times_3 \sqrt{\frac{3}{2 \cdot \pi \cdot P_{атм} \cdot V_0 (2 \cdot P_{атм} + 2 \cdot \rho \cdot g \cdot (H - y) + \rho \cdot (\dot{x}^2 + \dot{y}^2))}}. \end{cases} \quad (14)$$

Розв'язок даної системи неоднорідних диференціальних рівнянь другого порядку здійснювали числовим методом Розенброка у середовищі Maple. Для цього були визначені наступні початкові умови

$$\begin{cases} x_0 = 0; \\ y_0 = 0; \\ \dot{x}_0 = v_{ox}; \\ \dot{y}_0 = v_{oy}. \end{cases} \quad (15)$$

За початкову швидкість повітряної бульбашки v_0 вважатимемо швидкість у найменшому перерізі струменю повітря під час його виходу крізь отвори напірного трубопроводу. Дану швидкість для адіабатного процесу можна розрахувати за формулою [7].

$$v_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot P_n}{(k-1) \cdot \rho_{нов.}} \left[1 - \left(\frac{P_c}{P_n} \right)^{\left(\frac{k-1}{k} \right)} \right]}, \quad (16)$$

де k – показник адіабати, $k=1,4$;

P_n – тиск повітря у напірному трубопроводі, Па;

$\rho_{нов.}$ – густина повітря, кг/м³;

P_c – тиск у середовищі в яке виходить повітряний потік, Па.

У розглядуваному випадку повітряний потік виходить у середовище в'язкої рідини, що знаходиться на глибині H та перебуває під тиском

$$P_c = P_{атм} + \rho \cdot g \cdot H. \quad (17)$$

Тому формула (16) набуде вигляду

$$v_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot P_n}{(k-1) \cdot \rho_{нов.}} \left[1 - \left(\frac{P_{атм} + \rho \cdot g \cdot H}{P_n} \right)^{\left(\frac{k-1}{k} \right)} \right]} \quad (18)$$

Проте, швидкість газу зростає зі зростанням різниці тисків P_c і P_n лише до тих пір поки дана швидкість не досягне межі швидкості звуку для даного середовища. Для повітря така різниця тисків визначається відношенням

$$\beta_{кр} = P_c / P_n = 0,528, \quad (19)$$

а досліджуваний процес відбувається за тиску $P_n = 200 \dots 500$ кПа та за $P_c = 120 \dots 160$ кПа. Тому швидкість у найменшому перерізі струменю слід розраховувати за формулою

$$v_0 = v_{кр} = \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k-1} \cdot R \cdot T_n}, \quad (20)$$

де T_n – температура за якої знаходиться стиснуте повітря, що нагнітається, К.

Проекції початкової швидкості v_0 на осі координат визначатимуться залежностями

$$v_{ox} = v_e \cos \alpha; \quad (21)$$

$$v_{oy} = v_e \sin \alpha, \quad (22)$$

де α – кут відхилення осі вихідного отвору напірного трубопроводу від горизонталі, град.

Для перевірки адекватності теоретичних залежностей в середовищі Марпле в двомірній системі координат побудовано графічні залежності траєкторії руху бульбашки повітря у воді (рис. 2, 3), у індустріальному маслі SAE 40 (рис. 4, 5) та у концентрованому миючому засобі (ТУ У 24.5 23731918-010-2003) (рис. 6, 7). Траєкторії будувались попарно для максимального та мінімального діаметрів бульбашок повітря, що забезпечувало формування контуру повітряного.

Порівняння побудованих за математичною моделлю (14) та отриманих у результаті експериментальних досліджень графічних залежностей, що обмежують форму повітряного потоку у воді, маслі індустріальному та концентрованому миючому засобі вказують на достатню адекватність моделі. Оскільки відхилення між розрахунковими та експериментальними значеннями координат в діапазоні віддалей від вихідного отвору 0,05...0,20 м не перевищує 10 – 12 %. Хоча відхилення між цими значеннями у діапазоні віддалей від вихідного отвору 0...0,05 м є вищими і досягають 20...25 %.

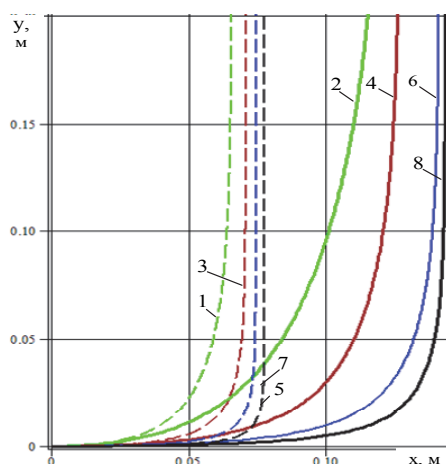


Рис. 2. Форма меж повітряного потоку під час його руху у воді після виходу із горизонтального отвору діаметром 1,0 мм за тиску подачі: 1-2 – 200 кПа; 3-4 – 300 кПа; 5-6 – 400 кПа; 7-8 – 500 кПа

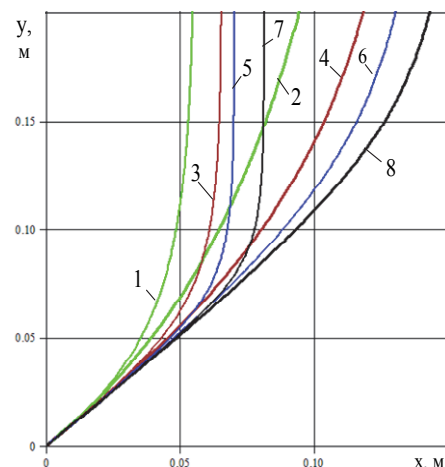


Рис. 3. Форма меж повітряного потоку під час його руху у воді після виходу із отвору діаметром 1,0 мм відхиленого від горизонту на 45° за тиску подачі: 1-2 – 200 кПа; 3-4 – 300 кПа; 5-6 – 400 кПа; 7-8 – 500 кПа

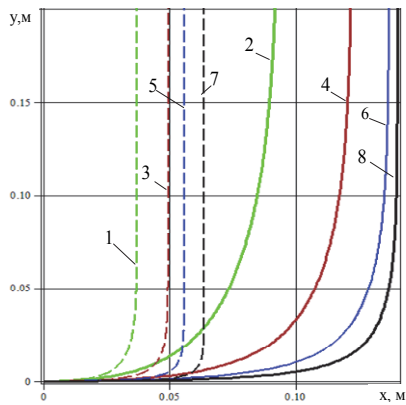


Рис. 4. Форма меж повітряного потоку під час його руху у маслі індустріальному після виходу із горизонтального отвору діаметром 1,0 мм за тиску подачі: 1-2 – 200кПа; 3-4 – 300кПа; 5-6 – 400кПа; 7-8 – 500кПа

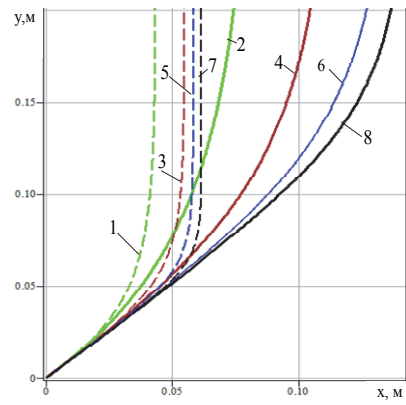


Рис. 5. Форма меж повітряного потоку під час його руху у маслі індустріальному після виходу із отвору діаметром 1,0мм відхиленого від горизонту на 45° за тиску подачі: 1-2 – 200кПа; 3-4 – 300кПа; 5-6 – 400кПа; 7-8 – 500кПа

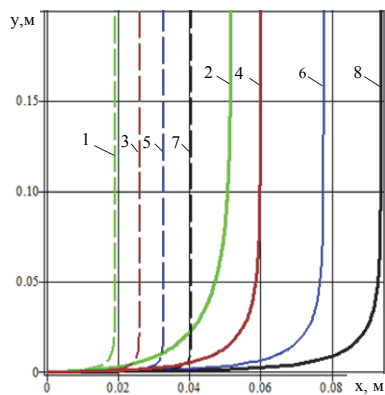


Рис. 6. Форма меж повітряного потоку під час його руху у миючому засобі після виходу із горизонтального отвору діаметром 1,0мм за тиску подачі: 1-2 – 200кПа; 3-4 – 300кПа; 5-6 – 400кПа; 7-8 – 500кПа

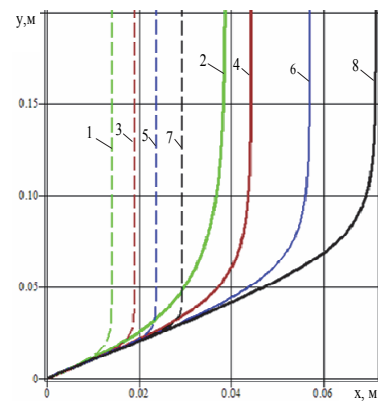


Рис. 7. Форма меж повітряного потоку під час його руху у миючому засобі після виходу із отвору діаметром 1,0мм відхиленого від горизонту на 45° за тиску подачі: 1-2 – 200кПа; 3-4 – 300кПа; 5-6 – 400кПа; 7-8 – 500кПа

Оскільки адекватність математичної моделі у вигляді системи диференційних рівнянь (14) підтверджується то дана модель використана для побудови форми повітряного потоку у сапропелі вологістю $W = 95 \pm 1\%$ (рис. 8, 9), $W = 90 \pm 1\%$ (рис. 10, 11), $W = 85 \pm 1\%$ (рис. 12, 13) за сталої глибини занурення забірною пристрою $H = 4$ м.

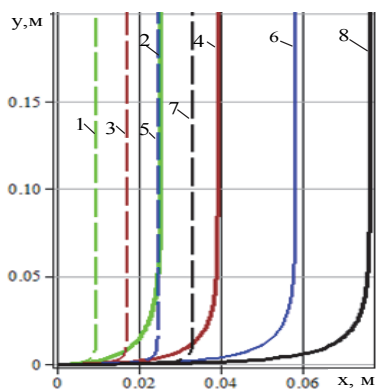


Рис. 8. Форма меж повітряного потоку під час його руху у сапропелі вологістю $W_1 = 95 \pm 1\%$ після виходу із горизонтального отвору діаметром 1,0мм заглибленого на 4м за тиску подачі: 1-2 – 200 кПа; 3-4 – 300 кПа; 5-6 – 400 кПа; 7-8 – 500 кПа

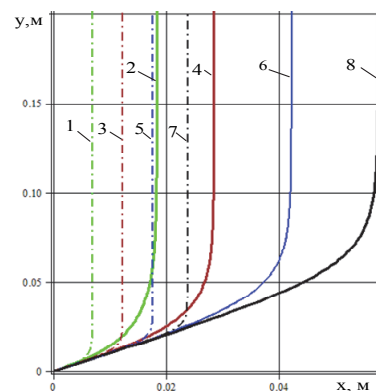


Рис. 9. Форма меж повітряного потоку під час його руху у сапропелі вологістю $W_1 = 95 \pm 1\%$ після виходу із отвору діаметром 1,0мм заглибленого на 4м та відхиленого від горизонту на 45° за тиску подачі: 1-2 – 200 кПа; 3-4 – 300 кПа; 5-6 – 400 кПа; 7-8 – 500 кПа

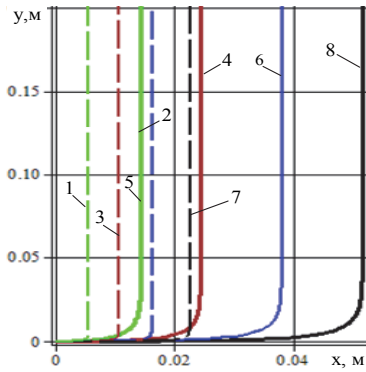


Рис. 10. Форма меж повітряного потоку під час його руху у сапропелі вологістю $W_1 = 90 \pm 1\%$ після виходу із горизонтального отвору діаметром 1,0мм заглибленого на 4м за тиску подачі: 1-2 – 200кПа; 3-4 – 300кПа; 5-6 – 400кПа; 7-8 – 500кПа.

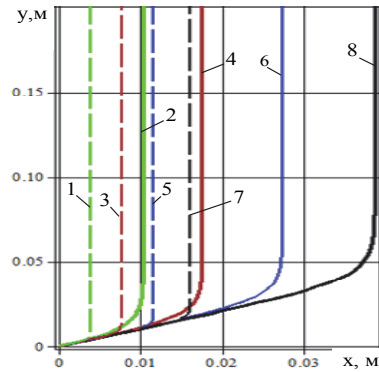


Рис. 11. Форма меж повітряного потоку під час його руху у сапропелі вологістю $W_1 = 90 \pm 1\%$ після виходу із отвору діаметром 1,0мм заглибленого на 4м та відхиленого від горизонту на 45° за тиску подачі: 1-2 – 200кПа; 3-4 – 300кПа; 5-6 – 400кПа; 7-8 – 500кПа

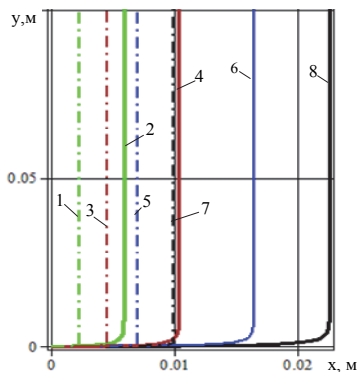


Рис. 12. Форма меж повітряного потоку під час його руху у сапропелі вологістю $W_1 = 85 \pm 1\%$ після виходу із горизонтального отвору діаметром 1,0мм заглибленого на 4м за тиску подачі: 1-2 – 200кПа; 3-4 – 300кПа; 5-6 – 400кПа; 7-8 – 500кПа

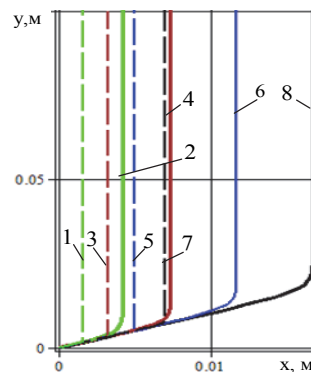


Рис. 13. Форма меж повітряного потоку під час його руху у сапропелі вологістю $W_1 = 85 \pm 1\%$ після виходу із отвору діаметром 1,0мм заглибленого на 4м та відхиленого від горизонту на 45° за тиску подачі: 1-2 – 200кПа; 3-4 – 300кПа; 5-6 – 400кПа; 7-8 – 500кПа

Також для аналізу впливу глибини занурення забірною пристроєм на форму повітряного потоку побудовані аналогічні графічні залежності для сапропелю вологістю $W = 95 \pm 1\%$ за $H = 2$ м (рис. 14) та сапропелю із $W = 90 \pm 1\%$ за $H = 6$ м (рис. 15)

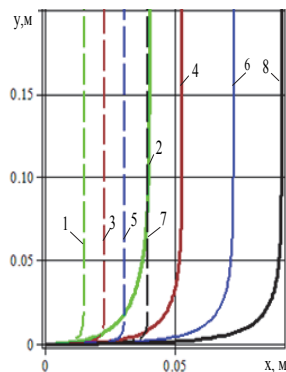


Рис. 14. Форма меж повітряного потоку під час його руху у сапропелі вологістю $W_1 = 95 \pm 1\%$ після виходу із горизонтального отвору діаметром 1,0мм заглибленого на 2м за тиску подачі: 1-2 – 200кПа; 3-4 – 300кПа; 5-6 – 400кПа; 7-8 – 500кПа

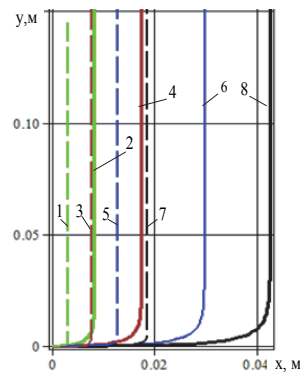


Рис. 15. Форма меж повітряного потоку під час його руху у сапропелі вологістю $W_1 = 90 \pm 1\%$ після виходу із горизонтального отвору діаметром 1,0мм заглибленого на 6м за тиску подачі: 1-2 – 200кПа; 3-4 – 300кПа; 5-6 – 400кПа; 7-8 – 500кПа

Висновки. Аналіз побудованих графічних залежностей вказує на те, що зміна кута нахилу осі вихідного отвору із 0° до 45° в усьому досліджуваному діапазоні решти факторів забезпечує зниження проникнення повітряного потоку в сапрпель в межах $0,002...0,01$ м, що є недоцільним.

Також встановлено, що проникнення повітряного потоку у сапрпель в горизонтальному напрямку для сапрпелю вологістю $W = 95 \pm 1$ % за тиску подачі повітря $P_n = 300$ кПа становить $0,04$ м, а для тиску $P_n = 500$ кПа досягає $0,08$ м (рис. 8). Для сапрпелю вологістю $W = 90 \pm 1$ % за тих же тисків даний параметр становить $\approx 0,022$ м та $\approx 0,055$ м (рис. 10). А для сапрпелю вологістю $W = 85 \pm 1$ % за тиску $P_n = 500$ кПа максимальне значення координати x не перевищує $\approx 0,012$ м (рис. 12).

Порівняння форми графічних залежностей на рис. 8 і рис. 14 та рис. 10 і рис. 15 вказує на те, що зростання глибини занурення забірної пристрою на 2 м призводить до зменшення координати x поширення повітряного потоку у межах $0,005...0,012$ мм.

За допомогою додаткових графічних побудов встановлено, що охоплення повітряного потоку конічним корпусом забірної пристрою буде забезпечуватись за кута нахилу твірної конуса, який знаходиться у межах $\alpha_k = 20^{\circ}...30^{\circ}$.

1. Пат. 51535 України, МПК E02F3/08. Забірний пристрій / Цизь І.Є., Хомич С.М. - № u200913475; Заявл. 24.12.2009; Опубл. 26.07.2010. Бюл. №14. - 3 с.
2. Кутателадзе С.С. Гидродинамика газожидкостных систем.- М.: Энергия, 1976
3. Соу С. Гидродинамика многофазных систем. -М.: Мир, 1971. - 539 с.
4. Островский Г.М. Прикладная механика неоднородных сред. М.: Наука, 2000. 359 с.
5. Энциклопедия эрлифтов / Папаяни Ф.А., Кононенко А.П., Козыряцкий Л.Н. и др. - Донецк, Москва: Информсвязьиздат,1995.
6. Хомич С.М., Цизь І.Є. Дослідження продуктивності пневматичного забірної пристрою для добування сапрпелю / Сільськогосподарські машини: Зб. наук. статей. - Вип. 20. - Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛНТУ, 2010. - с. 355-361.
7. Христианович С.А. Прикладная газовая динамика [Христианович С.А., Гальперин В.Г., Миллионщиков М.Д., Симонов Л.А.]. - М., 1948. - 148 с.

REFERENCES

1. Pat. 51535 Ukraine, MPK E02F3/08. Zabirnyi pristirii. [Fence device] / Tsiz' I., Homich S./ - № u200913475; Stated 24.12.2009; Published. 26.07.2010. Bul. №14. - 3 p.
2. Kytateladze, S. (1976). Gidrodinamika gazozhukostnyuh system. [Hydrodynamics of gas-liquid systems]. Moscow, Energia. 296 p.
3. Sou S. (1971). Gidrodinamika mnogofaznyh sistem. [Gidrodinamika multiphase systems] Гидродинамика многофазных систем. Moscow, Mir. 536 p.
4. Ostrovskii, G. (2000). Prikladnaia mehanika neodnorodnyh sred. [Applied mechanics of heterogeneous media]. Moscow. 359 p.
5. Papaiani, F. Kononenko, A. Kozuriatskii, L. (1995) Entsiklopediia erliftov. [Encyclopedia airlifts]. Donetsk, Mosco, Informsviaz'izdat. 592 p.
6. Homich, S., Tsiz', I. (2010). Doslidzhennia produktyvnosti pnevmatichnoho zabirnogo prustroyu dlia dobyvannia sapropelyu [Research productivity pneumatic intake device for extraction of sapropel]. Дослідження продуктивності пневматичного забірної пристрою для добування сапрпелю / Sil's'kogospodars'ki mshinu: zb. nauk. statei. Vol. 20. Luck. P. 355-361.
7. Hristianovich, S. Gal'perin, V., Millionschukov, M. Simonov L. (1948). Prikladnaia gazovaia dinamika. [Applied gas dynamics]. Moscow. 148 p.

Цизь І.Є., Хомич С.М. Моделирование движения воздушного потока в среде сапрпелю.

В статье приведена модель движения пузырьки воздуха в среде сапрпелю в виде системы дифференциальных уравнений. На основе решения системы числовым методом построено пределы воздушного потока в вязких жидкостях и сапрпели.

Ключевые слова: сапрпель, воздуха, устройство, добыча, траектория.

I. Tsyz', S. Khomych. Simulation of the air flow in the environment of sapropel.

The aim is to develop models of motion of the air flow, which comes from a nozzle located at an arbitrary angle to the horizon, among viscous fluid.

It was believed that the air flow is composed of individual spherical bubbles. We consider the motion of arbitrary bubbles, which moves in an environment with a viscous fluid depth. According to Newton's second law of motion equation contains an arbitrary bubbles.

Solution obtained system of inhomogeneous differential equations of second order numerical method performed Rozenbrok among Maple.

In a two-dimensional coordinate system built graphical dependencies trajectory of air bubbles in the water, industrial oil SAE 40, concentrated detergent (TU 23731918-010-2003 24.5) and sapropel.

Keywords: sapropel, air, device, extraction, trajectory.

АВТОРИ:

ЦИЗЬ Ігор Євгенович, кандидат технічних наук, доцент, Луцький національний технічний університет, завідувач кафедри інженерного та комп'ютерного забезпечення АПК, e-mail: lab-amb@ukr.net

ХОМИЧ Сергій Миколайович, Луцький національний технічний університет, асистент кафедри інженерного та комп'ютерного забезпечення АПК, e-mail: lab-amb@ukr.net

АВТОРЫ:

ЦЫЗЬ Игорь Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент, Луцкий национальный технический университет, заведующий кафедры инженерного и компьютерного обеспечения АПК, e-mail: lab-amb@ukr.net

ХОМИЧ Сергей Николаевич, Луцкий национальный технический университет, ассистент кафедры инженерного и компьютерного обеспечения АПК, e-mail: lab-amb@ukr.net

AUTHORS:

TSYZ' Igor, Ph.D., associate professor, Lutsk national technical university, head of Engineering and Computer Support of Agriculture Department, e-mail: lab-amb@ukr.net

KNOMYCH Sergey, Lutsk national technical university, assistant of Engineering and Computer Support of Agriculture Department, e-mail: lab-amb@ukr.net

РЕЦЕНЗЕНТ:

ГЕВКО Богдан Матвійович, доктор технічних наук, професор, Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, завідуючий кафедрою технології машинобудування та автомобілів, Тернопіль, Україна.

РЕЦЕНЗЕНТ:

ГЕВКО Богдан Матвеевич, доктор технических наук, профессор, Тернопольский национальный технический университет им. Ивана Пулюя, заведующий кафедрой технологии машиностроения и автомобилей, Тернополь, Украина.

REVIEWER:

ГЕВКО Богдан, DSc.-Eng., Professor, Ternopil National Technical University named after Ivana Pulyuya, Head of the Department of Manufacturing Engineering and Cars, Ternopil, Ukraine.

Стаття надійшла в редакцію 04.09.2014р.