

## EXPERIMENTAL RESEARCH OF WORKING PROCESS OF PNEUMATIC INTAKE DEVICE FOR SAPROPEL EXTRACTION

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ПНЕВМАТИЧНОГО ЗАБІРНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ДОБУВАННЯ САПРОПЕЛЮ

Tsiz' I., Homich S.

Lutsk National Technical University / Ukraine

E-mail: lab-amb@ukr.net

**Abstract:** An alternative source of maintaining soil fertility are sediments of freshwater lakes – sapropels. The pneumatic intake device allows to mine sapropel of natural humidity. To investigate the influence of process parameters on the performance and visual observation mode motion of the air flow of sapropel made experimental setup was made.

Methodology of research in this setting is using mathematical method of experiment planning. This method developed for obtaining the mathematical model of the process in the form of the regression equation. It is also found that air flow of sapropel moves with shell structure.

**Keywords:** sapropel, air, intake device, experimental setup, mode, mathematical model, regression equation

#### INTRODUCTION

To reduce resource of traditional organic fertilizers considerably increased the value of alternative species. For conditions in Polesie zone of Ukraine, should be considered as bottom sediments of freshwater basin-sapropels. But their wide use hampered by lack of environmentally safe and energy saving means for extracting.

During the development and design tools for the extraction of sapropel, should pay attention to the choice of rational design parameters of working bodies as well as take into account technological parameters of the material with which they interact. Proper selection of these parameters provides optimal modes of operation and increases the technical and economic indicators.

Use of pneumatic intake devices for the extraction of sapropel [1], [2] is a perspective development which is under investigation. In comparison with other known means for obtaining sapropel this development has several advantages, namely: the lack of need for draining the reservoir, the process can be easily automated, minor energy cost per unit of the material, reducing material consumption, the possibility of obtaining sapropel natural moisture continuity process, low maintenance. So, this development of intake device is commendable, but since it was the first proposed it requires laboratory and experimental researches related to the workflow.

In order to elucidate the influence of design and process parameters on the performance of pneumatic intake a device for extracting of sapropel [1] appropriate to apply the mathematical method of experiment planning was performed. This method allows to obtain the dependence of productivity of intake device of the factors in the form of the regression equation. Should be visually assess the structure of sapropel-type air flow that matches the values obtained productivity.

**Резюме:** Альтернативним джерелом підтримання родючості ґрунтів є донні відклади прісноводних озер – сапропелі. Добувати сапропель природної вологості дозволяє пневматичний забірний пристрій. Для дослідження впливу технологічних параметрів на продуктивність та візуального спостереження за режимом руху повітряно-сапропелевого потоку виготовлена експериментальна установка. Розроблена методика досліджень на даній установці із використанням математичного методу планування експерименту. Ця методика забезпечила отримання математичної моделі процесу у вигляді рівняння регресії. Також встановлено, що сапропеле-повітряний потік рухається із снарядною структурою.

**Ключові слова:** сапропель, повітря, забірний пристрій, експериментальна установка, режим, математична модель, рівняння регресії

#### ПЕРЕДУМОВА

За скорочення ресурсу традиційних органічних добрив значно зростає значення альтернативних їх видів. Для умов Поліської зони України у такій якості слід розглядати донні відклади прісноводних водойм - сапропелі. Але широке їх використання стримується відсутністю екологічно безпечних та енергоощадних засобів для добування.

Під час розробки і проектування засобів для добування сапропелю, слід звернути увагу на вибір раціональних конструктивних параметрів їх робочих органів, а також враховувати технологічні параметри матеріалу з яким вони взаємодіють. Правильний підбір даних параметрів забезпечує оптимальні режими роботи та підвищує техніко-економічні показники.

Використання пневматичних забірних пристроїв для добування сапропелю [1], [2] є перспективною розробкою, яка перебуває на стадії дослідження. У порівнянні з іншими відомими засобами для добування сапропелю дана розробка має ряд переваг, а саме: відсутність потреби в осушенні водойми; процес легко піддається автоматизації; незначні енергетичні затрати на одиницю добутого матеріалу; зменшення матеріаломості; можливість добування сапропелю природної вологості; неперервність процесу; низькі експлуатаційні витрати. Таким чином дана розробка забірною пристрою заслуговує позитивної оцінки, а оскільки вона запропонована вперше то потребує лабораторно-експериментальних досліджень пов'язаних з робочим процесом.

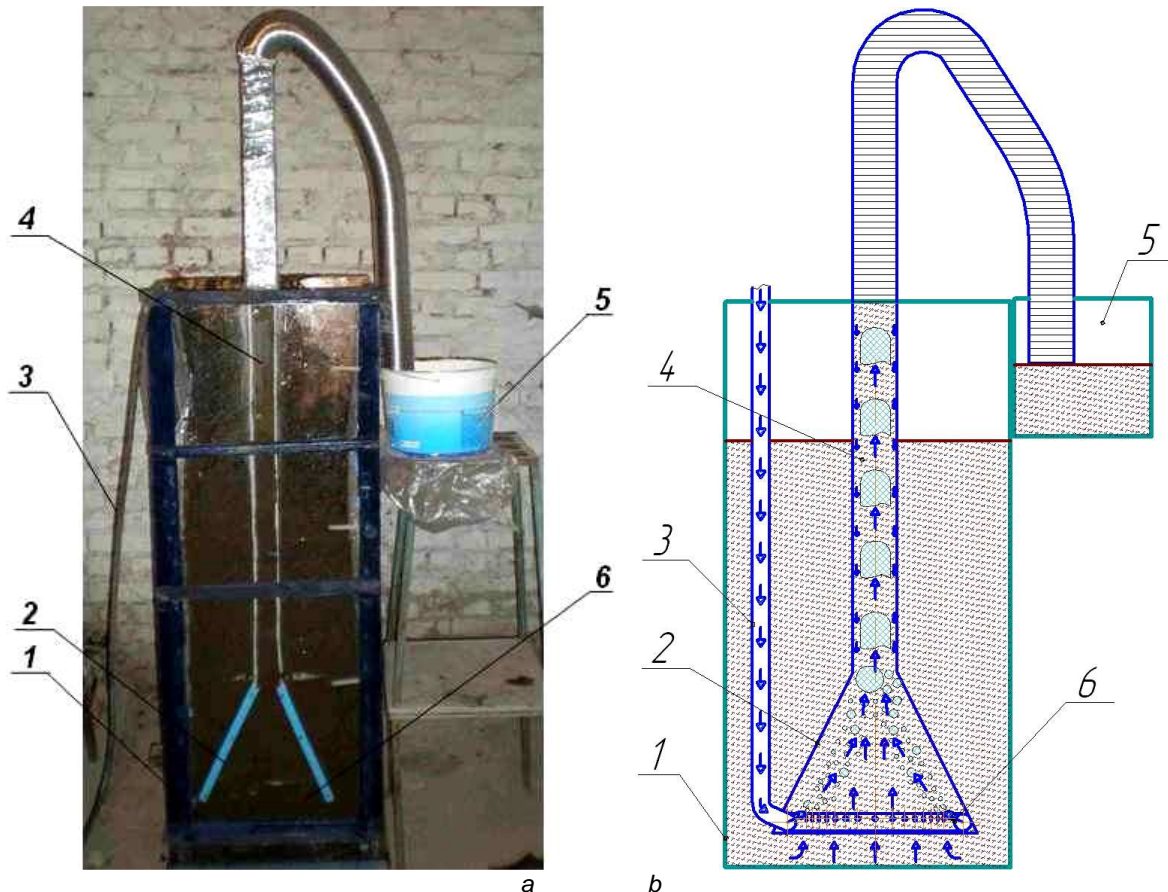
З метою встановлення закономірності впливу конструктивних та технологічних параметрів на продуктивність пневматичного забірною пристрою для добування сапропелю [1] доцільно застосувати математичний метод планування експерименту. Даний метод дозволяє отримати залежність продуктивності забірною пристрою від досліджуваних факторів у вигляді рівняння регресії. Також необхідно візуально оцінити вид структури сапропеле-повітряного потоку, яка відповідає отриманому значенню продуктивності.

## MATERIALS AND METHOD

Since sapropel extraction occurs from underwater deposits, and the process takes place in an environment of deposits, so for a clearer understanding of the operation and structure of the flow in the laboratory condition was designed stationary experimental setup (Fig. 1).

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКИ

Оскільки добування сапропелю відбувається з підводних родовищ, а сам процес проходить в середовищі покладів, тому для більш чіткого уявлення про режим роботи та структуру потоку в лабораторних умовах була сконструйована стаціонарна експериментальна установка (фіг. 1).



**Fig. 1** - Experimental setup: a - picture; b - scheme / Експериментальна установка: а – фото; б – схема  
 1 – body / корпус; 2 – cone breakdown / конус у розрізі; 3 – manifold supply compressed air / магістраль подачі стиснутого повітря; 4 – pipeline breakdown / трубопровід у розрізі; 5 – measuring vessel / мірна посудина; 6 – penstock with injectors / напірний трубопровід з форсункам

This setting provides body 1 as a reservoir the front wall of which is made of transparent plastic, and is designed for visual observation of the processes occurring in the environment of sapropel. Also, transparent to the front wall of the shell is tightly fastened (according to [1]) upright and longitudinal section (fig. 1). Intake device consists of a cone 2, at the bottom of which is fixed penstock 6 with jets. Cone attached to two vertical pipes 4. Supply of compressed air from the compressor to the injectors pressure pipe 6 is realized through magistral3. Income of sapropel from vertical pipe 4 to measuring vessel provided a flexible pipe.

Analysis of the literature and previous studies have found that the determining influence on performance of the device with sapropel layer height influenced by injection air pressure in operating process and the length of the transporting pipe.

So, three factorial experiment with changing factors at levels that are shown in the table 1 were performed.

Дана установка містить корпус 1 у вигляді ємкості, передня стінка якої виготовлена з прозорого пластику, і призначена для візуального спостереження за процесами, що відбуваються в середовищі сапропелю. Також до передньої прозорої стінки корпусу герметично кріпиться пневматичний забірний пристрій (відповідно до [1]) у вертикальному положенні та позовдгньому розрізі (фіг. 1). Забірний пристрій у свою чергу складається із конуса 2, у нижній частині якого закріплений напірний трубопровід 6 із форсунками. До конуса 2 приєднаний вертикальний трубопровід 4. Подача стиснутого повітря від компресора до форсунок напірного трубопроводу 6 здійснюється через магістраль 3. Надходження сапропелю із вертикального трубопроводу 4 до мірної посудини забезпечується гнучкою трубою.

Аналіз літературних джерел та попередні досліджень дозволили встановити, що визначальний вплив на продуктивність роботи розгляданого забірної пристрою мають висота шару сапропелю / з під якого ведеться добування, робочий тиск нагнітання повітря  $P$ , та довжина транспортуючого трубопроводу  $h$ .

Таким чином проводили 3-факторний експеримент із зміною факторів на рівнях, які наведені у таблиці 1.

Table / Таблица 1

## Factors and their levels of variation / Фактори та рівні їх варіювання

Levels of variation / Рівні варіювання	Factors / Фактори		
	Working air pressure /Робочий тиск повітря $P$ , kPa	Thickness of sapropel / Товщина шару сапропелю $l$ , m	Length of pipeline /Довжина трубопроводу $h$ , m
	$x_1$	$x_2$	$x_3$
Upper/Верхній (+1)	300	1.3	2.0
Basic /Основний (0)	200	1.0	1.5
Lower / Нижній (-1)	100	0,7	1.0
Interval variation / Інтервал варіювання, $\varepsilon$	100	0.3	0.5

To reduce the number of experiments and obtaining the influence of the factors in a regression equation was applied mathematical method for planning the experiment and carried out an experiment by symmetric uncomposition plan of Boksa-Benkina of the second order [6].

Planning and conducting experiments included the following steps:

- encoding factors;
- scheduling matrix experiment;
- randomization tests;
- implementation plan of the experiment;
- test reproducibility of the experiments;
- calculation of regression coefficients;
- assessment of the significance of regression coefficients;
- adequacy test model.

Method of the experiment was as follows. Capacity installation completed sapropel humidity 92-94% at the height of its layer according to the plan of the experiment. The working pressure air supply plan defined experimental set adjusting valve compressor and controlled by the pressure gauge. To change the length of the transport pipeline have been used QUICK segments of pipe length of 0.3 m.

Then, turning on the air supply brought into force intake device. Due to the expense of energy air flow coming out of the nozzles, we can observe the loosening sapropel and its receipt by the vertical pipe. Further transportation sapropel is due to lift force upward air flow and strength of Archimedes. Detailed description of the principle of pneumatic intake device is shown in [3].

Through the transparent wall of the installation was conducted visual observation of the movement of material. Based on these observations estimated two-component structure of ascending currents flow.

The experiment consisted of 27 experiments by threefold repetition in each of them. Productivity was determined by weighing on laboratory scales sapropel that came in a pipeline measuring vessel within one minute.

## RESULTS

Data processing threefold experiment was carried out on a PC designed program among Mathcad 14. Some homogeneity of variances were tested by the criterion Kohrena. Since,  $G^{calc.} = 0,313 < G^{tabl.}(0.05;15;2) < G^{tabl.}(0.05;15;2) = 0.335$  [6] the process plays.

During the determining confidence intervals for regression coefficients used criterion of Student, tabular value is a 5 %- level of significance and the number of degrees of freedom of variance reproducibility experiment  $f_1=2$  is = 4.3 [6].

Для скорочення кількості дослідів та отримання закономірності впливу досліджуваних факторів у вигляді рівняння регресії було застосовано математичний метод планування експерименту та здійснено експеримент за симетричним некомпозиційним планом Бокса–Бенкіна другого порядку [6].

Планування і проведення експерименту включало наступні етапи:

- кодування факторів;
- складання плану–матриці експерименту;
- рандомізація дослідів;
- реалізація плану експерименту;
- перевірка відтворюваності дослідів;
- розрахунок значень коефіцієнтів регресії;
- оцінка значущості коефіцієнтів регресії;
- перевірка адекватності моделі.

Методика проведення експерименту полягала в наступному. Ємкість установки заповнювали сапропелем вологістю 92–94% за висоти його шару відповідно до плану експерименту. Величину робочого тиску подачі повітря визначену планом експерименту встановлювали регулювальним вентилем компресора та контролювали за манометром. Для зміни довжини транспортного трубопроводу використовували швидкознімні відрізки труб довжиною 0,3 м.

Далі, вмикаючи подачу повітря, приводили в дію забірний пристрій. За рахунок дії енергії повітряного потоку, що виходив із форсунок, відбувається розпушення сапропелю та його надходження до вертикального трубопроводу. Подальше транспортування сапропелю відбувається за рахунок підйімальної сили висхідного повітряного потоку та сили Архімеда. Детальний опис принципу дії пневматичного забірної пристрою наведений в [3].

Через прозору стінку даної установки велись візуальні спостереження за рухом матеріалу. На основі цих спостережень оцінювалась структура висхідної течії двокомпонентного потоку.

Експеримент складався із 27-и дослідів за трикратної повторюваності у кожному з них. Продуктивність визначали зважуванням на лабораторних вагах сапропелю, що надійшов із трубопроводу в мірну посудину на протязі однієї хвилини.

## РЕЗУЛЬТАТИ

Обробка даних трифакторного експерименту здійснювалась на ПЕОМ розробленою програмою у середовищі Mathcad 14.

При цьому однорідність ряду дисперсій перевіряли за критерієм Кохрена. Оскільки,  $G^{di\ o\ d.} = 0,313 < G^{di\ o\ d.}(0.05;15;2) = 0.335$  [6] то процес відтворюється.

Під час визначення довірчих інтервалів коефіцієнтів регресії використовували критерій Ст'юдента, табличне значення якого за 5-% рівня значущості та числі ступенів вільності дисперсії відтворюваності дослідів  $f_1=2$  становило  $t=4.3$  [6].

Test the significance of regression coefficients was performed according to their confidence intervals and covariance.

As a result, the regression equation acquired form:

$$y = 8,822 + 3,058x_1 + 5,387x_2 - 2,104x_3 - 0,415x_1^2 + 0,993x_2^2 - 0,39x_3^2 + 0,993x_1x_2,$$

where:  $x_1$  - encoded value of air pressure;

$x_2$  - encoded value thickness of sapropel;

$x_3$  - encoded value length of the pipeline.

Adequacy of test hypotheses obtained by regression equation was performed by the Fisher criterion. The estimated value of this criterion in the dispersion of inadequacy  $S_{inadeq}^2 = 3,102$  and dispersion  $S_y^2 = 0,028$  reproducibility of the experiment was:  $F^{calc.} = 2,189$ . Tabular value of Fisher's exact test adopted by the 5 % of significance, according to [6], was:

$F^{tabl.}(0.05; f_2; f_1) = 19,38$ , where  $f_2 = 7$  number of degrees of freedom variance inadequacy  $f_1 = 2$  - the number of degrees of freedom variance reproducibility experiment.

Since,  $F^{calc.} = 2,189 < F^{tabl.}(0.05; f_2; f_1) = 19,38$ , the hypothesis by the adequacy of the regression equation is confirmed.

Final regression equation of the factors in the kind acquired form:

$$Q = 3,54467 + 0,01408 \cdot P - 10,73 \cdot l + 0,472 \cdot h - 0,0000415 \cdot P^2 + 11,03333 \cdot l^2 - 1,56 \cdot h^2 + 0,0331 \cdot P \cdot l$$

where:  $P$  - the working pressure of air supply, kPa;

$l$  - sapropel thickness is during the extraction, m;

$h$  - pipe length of lifting sapropel, m.

To track dynamics of changes in productivity derived from regression equation was constructed a response surface (Fig. 2a) and its two-dimensional section of (Fig. 2, b, c, d)

Based on visual observation of the movement of sapropel-air flow is established that the structure of the flow is not homogeneous, but consists of large bubbles (shells) and sapropel congestion, which in turn contain the gas phase in the form of small bubbles. Shells and air plugs sapropel move alternately. In the wall film of the reverse movement sapropel. This means that this phenomenon obeys shell structure movement sapropel-air flow [4], [5].

Перевірку значущості коефіцієнтів регресії проводили за встановленими їх довірчими інтервалами та коваріаціями.

У результаті рівняння регресії набуло вигляду:

де:  $x_1$  - кодоване значення робочого тиску повітря;

$x_2$  - кодоване значення товщини шару сапропелю;

$x_3$  - кодоване значення довжини трубопроводу.

Перевірку гіпотези адекватності отриманого рівняння регресії проводили за критерієм Фішера. Розрахункове значення даного критерію при дисперсії неадекватності  $S_{f\hat{a}\hat{a}\hat{a}}^2 = 3,102$  і дисперсії відтворюваності дослідів  $S_y^2 = 0,028$  становило:

$F^{d\hat{r}\hat{c}\hat{d}} = 2,189$ . Табличне значення критерію Фішера за прийнятого 5-% значущості, згідно [6], склало:  $F^{o\hat{a}\hat{a}\hat{a}}(0.05; f_2; f_1) = 19,38$ , де  $f_2 = 7$  - число ступенів вільності дисперсії неадекватності;  $f_1 = 2$  - число ступенів вільності дисперсії відтворюваності дослідів.

Оскільки,  $F^{d\hat{r}\hat{c}\hat{d}} = 2,189 < F^{o\hat{a}\hat{a}\hat{a}}(0.05; f_2; f_1) = 19,38$ , то гіпотеза адекватності рівняння регресії підтверджується.

Остаточне рівняння регресії із факторами у натуральному вигляді набуло вигляду:

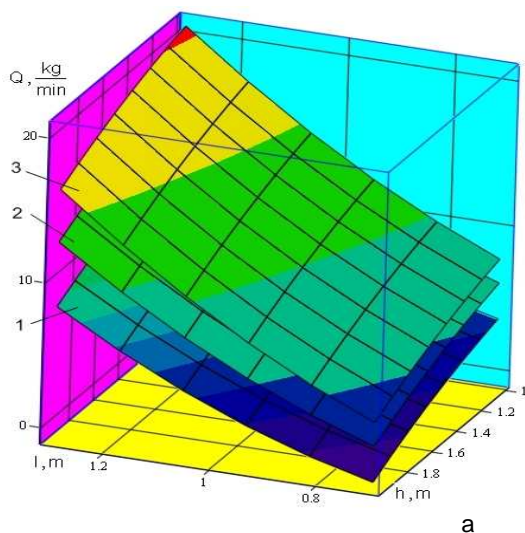
де:  $P$  - робочий тиск подачі повітря, кПа;

$l$  - товщина шару сапропелю з під якого ведеться добування, м;

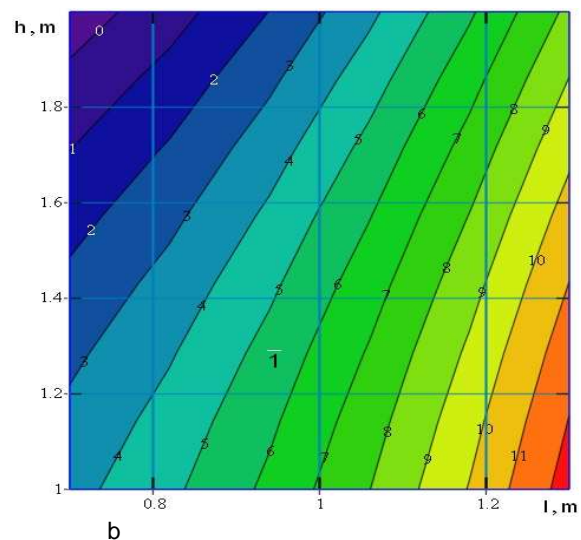
$h$  - довжина трубопроводу підймання сапропелю, м.

Для відслідковування динаміки зміни продуктивності за отриманим рівнянням регресії були побудовані поверхні відгуку (фіг. 2, а) та двомірні їх січення (фіг. 2, b, c, d)

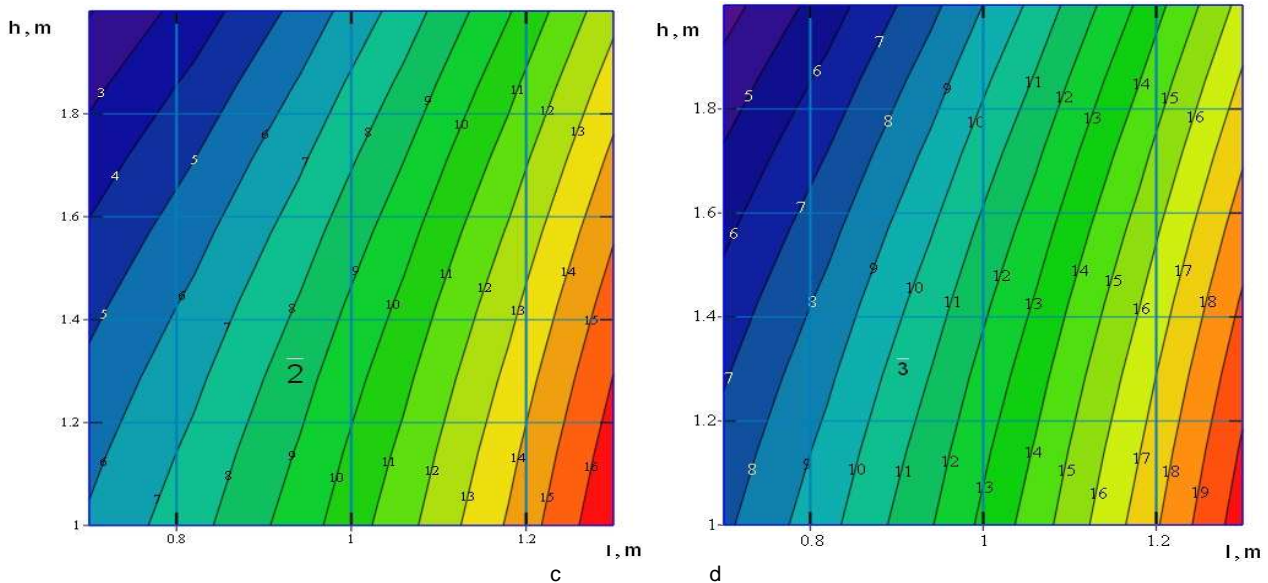
На основі візуального спостереження за рухом сапропелі - повітряного потоку встановлено, що структура даного потоку не є гомогенною, а складається із великих бульбашок (снарядів) і сапропелевих пробок, які у свою чергу містять газову фазу у вигляді дрібних бульбашок. Снаряди повітря та пробки сапропелю рухаються почергово. У пристінній плівці відбувається зворотній рух сапропелю. Це означає, що дане явище підпорядковується снарядній структурі руху сапропелі-повітряного потоку [4], [5].



a



b



**Fig. 2** - Dependence performance  $Q$  pneumatic intake device on the depth of sapropel  $h$  and a pressure air injection: 1 -  $P = 100$  kPa, 2 -  $P = 200$  kPa, 3 -  $P = 300$  kPa /*Залежність продуктивності  $Q$  пневматичного забірною пристрою від глибини залягання сапропелю  $h$  та довжини трубопроводу  $l$  при тиску нагнітання повітря: 1 -  $P=100$  кПа; 2 -  $P=200$  кПа; 3 -  $P=300$  кПа*

## CONCLUSION

Analysis of the results shows that all the factors have a significant impact on pneumatic intake device. In all variants of the experiment with increasing air pressure performance of pneumatic intake device increases regardless of the depth and length of the pipeline sapropel. By increasing depth of sapropel device performance increases as the deposit of the force of the weight of the upper layers. Increasing the length of the pipeline transporting causes partial reduction performance of pneumatic intake device. However, this does not significantly affect the workflow as lifting sapropel from underwater deposits with a minimum thickness of water surface investigated range of lengths is sufficient.

Also, can be noted that the values of the investigated structural and technological parameters observed slug regime movement upward sapropel-air flow.

## REFERENCES

- [1]. Tsiz' I.E., Homiych S.M. (2009) – *Intake device*. Patent for useful model № 39044 Ukraine. IPC E02F3/08; appl. 09/05/2008, publ. 26.01.2009, Bull. № 2
- [2]. Tsiz' I.E., Homiych S.M. (2010) – *Intake device*. Patent for useful model № 51535 Ukraine. IPC E02F3/08; appl. 24.12.2009, Publ. 26.07.2010. Bull. № 14.
- [3]. Tsiz' I.E., Homiych S.M. (2009) – *Research on pneumatic intake device for extracting sapropel*, Farm Machinery: Proc. Science. century, Vol. 18, pg. 499-503;
- [4]. Hyuytt J., Hall-Taylor, N. (1974) – *Annular two-phase flows*, Translation from English. - M.: Energy. – 408 pg.
- [5]. Akimov V. (1978) – *Flow measurement of gas-saturated oil*, Moscow: Nedra – 200 p.

## ВИСНОВОК

Аналіз отриманих результатів показує, що всі досліджувані фактори мають суттєвий вплив на продуктивність пневматичного забірною пристрою. У всіх варіантах досліду за збільшення тиску повітря продуктивність пневматичного забірною пристрою збільшується незалежно від глибини залягання сапропелю та довжини трубопроводу. За збільшення глибини залягання сапропелю, у досліджуваних межах, продуктивність пристрою зростає, оскільки на поклади діє сила ваги верхніх шарів. Збільшення довжини транспортуючого трубопроводу спричинює часткове зменшення продуктивності пневматичного забірною пристрою. Проте це суттєво не впливає на робочий процес, оскільки для підйому сапропелю з підводних родовищ із мінімальною товщиною водного дзеркала досліджуваний діапазон довжин є достатнім.

Також можна констатувати що за досліджуваних значень конструктивних та технологічних параметрів спостерігається снарядний режим руху висхідного сапропеле-повітряного потоку.

## БІБЛІОГРАФІЯ

- [1]. Цизь І.Є., Хомич С.М. (2009) - *Забірний пристрій*. Патент на корисну модель №39044 Україна. МПК E02F3/08; заявл. 05.09.2008; опубл. 26.01.2009, Бюл. №2.
- [2]. Цизь І.Є., Хомич С.М. (2010) - *Забірний пристрій*. Патент на корисну модель №51535 Україна. МПК E02F3/08; заявл. 24.12.2009; Опубл. 26.07.2010. Бюл. №14.
- [3]. Цизь І.Є., Хомич С.М. (2009) - *Дослідження пневматичного забірною пристрою для добування сапропелю*, Сільськогосподарські машини: зб. наук. ст. – Вип. 18, 499-503 с.
- [4]. Хюйтт Дж., Холл-Тейлор Н. (1974) - *Кольцевые двухфазные течения*. Пер. с англ. - М.: Энергия. – 408с.
- [5]. Акимов В.Ф. (1978) - *Измерение расхода газонасыщенной нефти*. - М.: Недра – 200с.

[6]. Novik F.S., Arsov I.B. (1980) - *Optimizing processes technology of metals by the methods of planning experiments*, Moscow: Engineering, Sofia: Machinery. - 304 p.

[6]. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. (1980) - *Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов*. – М.: Машиностроение; София: Техника. – 304 с.