

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДВОДНОГО ЗАБОЯ, ОБРАЗОВАННОГО СТРУЙНЫМ ГРУНТОЗАБОРНЫМ УСТРОЙСТВОМ

Андрей Бондаренко, Всеволод Франчук

Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»,
49005, просп. Карла Маркса 19, г. Днепропетровск, Украина, E-mail: bondarenkoa@mail.ua

DESIGN OF SUBMARINE FACE, FORMED STREAM WORKER MEMBER

Andrii Bondarenko, Vsevolod Franchuk

State higher educational establishment «National mining university»
49005, Karl Marks avenue, 19, Dnipropetrovs'k, Ukraine, E-mail: bondarenkoa@mail.ua

АННОТАЦИЯ. В результате изучения процесса взаимодействия струйного потока с массивом невязного грунта в подводной зоне размыва, разработана математическая модель, позволяющая установить значения достаточного количества геометрических параметров для построения поверхности контакта размывающей струи с размываемым грунтом. Числовые значения эмпирических коэффициентов получены в результате обработки экспериментальных данных при лабораторном изучении процесса размыва грунта наклонной турбулентной струей в подводном забое. Апробация разработанной математической модели расчета струйных разрыхлителей прошла в ходе разработки проекта эжекторного земснаряда ЗНС 630-90.

Ключевые слова: грунтозаборное устройство, размыв грунта, математическая модель.

АННОТАЦІЯ. У результаті вивчення процесу взаємодії струменевого потоку з масивом незв'язного ґрунту в підводній зоні розмиву, розроблена математична модель, яка дозволяє встановити значення достатньої кількості геометричних параметрів для побудови поверхні контакту розмиваючого струменя з розмиваемим ґрунтом. Числові значення емпіричних коефіцієнтів отримані у результаті обробки експериментальних даних при лабораторному вивченні процесу розмиву ґрунту похилим турбулентним струменем у підводному вибої. Апробація розробленої математичної моделі розрахунку струменевих розпушувачів пройшла у ході розробки проекту ежекторного земснаряда ЗНС 630-90.

Ключові слова: грунтозабірний пристрій, розмив ґрунту, математична модель.

ABSTRACT. Purpose. To develop the mathematical model of the stream of submarine face, for the construction of contact surface of turbulent washing out stream with washed our grainy soil. **Methodology/approach.** For correct description of process the mathematical model of stream motion in the basic of area of submarine stream face, with the use of Euler equalization for an idea (by a misclosure) liquid is developed. **Findings.** A mathematical model for determination of geometrical parameters of submarine of the jet shallow dredge ZNS 630-90. **Research limitations/implications.** The surface of washing out stream contact with the washed out soil on the basic of empiric models is got. **Originality/value.** As a result of mathematical desing of submarine face forming process a stream worker member analytical dependence for determination of washing out sprayer diameter is got.

Key words: working body, washout of soil, mathematical model.

Подано 07.02.2014; прийнято 01.04.2014

ВВЕДЕНИЕ

Опыт применения плавучих землесосных снарядов (при разработке обводненных месторождений рудных и нерудных песков), позволяет судить о том, что интенсификация процесса разработки грунтов может быть достигнута путем применения рационально сконструированных струйных разрыхлителей [1, 2]. Известно, что применение струйных разрыхлителей позволяет повысить производительность земснаряда более чем на 25%, снизив, при этом, себестоимость разрабатываемого грунта. В связи с этим, обоснование рациональных параметров струйных разрыхлителей земле-

сосных снарядов является важной актуальной научно-технической задачей.

Разработанные ранее математические модели позволяют определить некоторые основные параметры подводной и поддонной зон размыва, образованных размывающей струей, - дальнобойность, длина, ширина [1...4]. Однако этих параметров недостаточно для описания поверхности подводного забоя при воздействии на него турбулентной размывающей струи. В связи с этим, применение таких моделей не позволяет установить рациональные конструктивные и технологические параметры грунтозаборного устройства землесосного снаряда.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработать математическую модель струйного формирования подводного забоя, позволяющую выполнить построение поверхности контакта турбулентной размывающей струи с размываемым зернистым полезным ископаемым.

ИЗЛОЖЕНИЕ МАТЕРИАЛА

Построение математической модели выполнено в соответствии с разработанной ранее физической моделью [5, 6]. Таким образом, в настоящей работе рассматривается наклонная водяная турбулентная размывающая струя, которая отделяет частицы несвязного грунта с образованием зоны размыва в подводном забое землесосного снаряда (рис. 1). Работа вертикальной размывающей струи, как частный случай наклонной струи, не рассматривается, так как реальная работа грунтозаборного устройства землесосного снаряда в подводном забое сопровождается исключительно работой наклонной размывающей струи.

С целью разработки модели поверхности контакта наклонной размывающей струи с подводным забоем рассмотрим схему, представленную на рисунке 1.

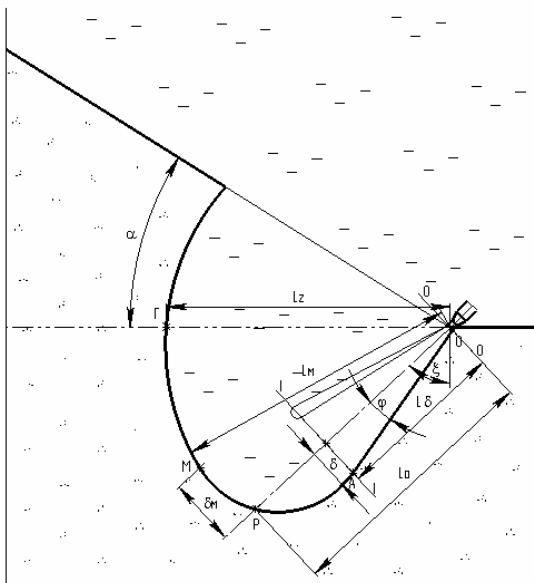


Рис. 1. Схема подводного забоя, образованного турбулентной размывающей струей

Fig. 1. Chart of submarine fase, formed a turbulent washing out stream

Допустим, что струя несжимаемой жидкости истекает из форсунки с радиусом R , в массив несвязного грунта, средняя крупность частиц которого – d_{cp} .

Сопло форсунки установлено на поверхности дна водоема, при этом ось струи проходит через точку пересечения образующих поверхностей добычного уступа и его основания. Зону размыва, образованную такой струей, назовем подводной зоной струйного размыва. Введем некоторые обозначения: R – радиус сопла форсунки, м; D_{ϕ} – диаметр сопла форсунки, м; φ – угол одностороннего расширения внешней границы турбулентной осесимметричной струи на основном участке, град.; L_{δ} – длина основного участка зоны размыва, характеризует расстояние, отложенное по оси струи, между соплом форсунки и границей основного участка подводной зоной струйного размыва, представленного проекцией точки A на ось, м; δ – максимальная полуширина основного участка струи, характеризует расстояние от точки A до оси струи, м; L_0 – дальнобойность струи, характеризует расстояние, отложенное по оси струи, между соплом форсунки и максимально удаленной от сопла точкой зоны размыва P , лежащей на оси струи, м; L_m – максимально удаленная точка зоны размыва, характеризует расстояние между соплом форсунки и максимально удаленной от сопла точкой зоны размыва M , м; δ_m – расстояние от точки M до оси струи, м; L_r – дальнобойность по горизонтали, характеризует расстояние между соплом форсунки и максимально удаленной от сопла точкой зоны размыва G , лежащей в горизонтальной плоскости м; u_0 – начальная скорость истечения жидкости из форсунки, м/с; U_p^{By} – расчетное значение размывающей скорости грунта в точке наклонной поверхности подводной зоны струйного размыва, м/с; Q_0 – расход жидкости через сопло форсунки, сечение 0-0 м³/с; Q_1 – поток жидкости через сечение 1-1, м³/с.

Движение потока жидкости в основном участке подводной зоны струйного размыва

ва, ввиду изменения живого сечения потока по длине, является плавно изменяющимся и обладает следующими свойствами:

- а) центробежные силы не учитываются;
- б) живые сечения потока рассматриваются как плоские;
- в) проекция живых сечений потока на плоскость перпендикулярную оси струи является окружностью;
- г) вихревые потоки не учитываются.

Описание движения потока жидкости в основном участке подводной зоны струйного размыва выполним с применением уравнения Эйлера для идеальной (невязкой) жидкости [7], которое в общем виде записывают так:

$$\begin{cases} \frac{du_x}{dt} = \frac{\partial u_x}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z}; \\ \frac{du_y}{dt} = \frac{\partial u_y}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z}; \\ \frac{du_z}{dt} = \frac{\partial u_z}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z}. \end{cases} \quad (1)$$

Рассмотрим движение потока в основном участке струйной подводной зоны размыва (рис. 1) вдоль оси $O-X$ при его расширении в направлениях осей $O-Y$ и $O-Z$. Производительность в сечениях 0 и 1 постоянна, то есть $Q = const$, значит $Q_0 = Q_1 = s_0 u_0 = s_1 u_1$. Тогда скорость потока будет равна

$$u_0 = \frac{Q_0}{s_0} = \frac{Q_0}{\pi R_x^2}; \quad u_1 = \frac{Q_1}{s_1} = \frac{Q_0}{\pi R_x^2},$$

где R_x – радиус основного участка осесимметричной размывающей струи в i -ом сечении.

Беря за основу теорию растекания затопленных струй [8, 9] для основного участка, изменение параметров круглого сечения по координате x представится в виде

$$R_x = x \tan \varphi. \quad (2)$$

В соответствии с [8, 9] $\varphi = 12^\circ 30'$. Тангенс угла расширения φ принято называть

коэффициентом расширения c , тогда $c = \tan \varphi = 0,22$.

Зависимость скорости потока в поперечном направлении (то есть по координате y) от скорости в продольном направлении (то есть по координате x), примет значение

$$u_y = \frac{dR_x}{dt} = \tan \varphi \frac{dx}{dt} = \tan \varphi u_x = c \cdot u_x.$$

Движение потока в основном участке осесимметричной размывающей струи, ввиду изменения площади сечения, является неравномерным. Так как скорость изменяется по времени лишь в результате равномерного расширения потока, частные производные скорости по времени весьма малы по сравнению с другими членами уравнения, поэтому

$$\frac{\partial u_x}{\partial t} = 0; \quad \frac{\partial u_y}{\partial t} = 0; \quad \frac{\partial u_z}{\partial t} = 0.$$

Для решения простых задач, достаточно рассмотрения потока как одномерного и определения максимальных значений скорости и ускорения, тогда систему уравнений (1), с учетом описанных зависимостей скорости потока в поперечном и вертикальном направлениях, можно записать в виде

$$\frac{du_x}{dt} = u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + c u_x \frac{\partial u_x}{\partial y} + c u_x \frac{\partial u_x}{\partial z}.$$

Ввиду принятых допущений о незначительности кривизны живых сечений потока, приравнивании скорости потока в его любой точке среднему значению, приведению параметров живого сечения потока к оси $O-X$, а также решая плоскую задачу систему уравнений (1), приведем к виду

$$\frac{du_x}{dt} = u_x \frac{\partial u_x}{\partial x}. \quad (3)$$

На основном участке осесимметричной размывающей струи изменение параметров круглого сечения по координате x описаны выражением (2), отсюда скорость потока получим как отношение

$$u_x = \frac{Q_0}{\pi(c \cdot x)^2}. \quad (4)$$

Частная производная $\frac{\partial u_x}{\partial x}$ зная, что $Q_0 = \pi u_0 R^2$, примет вид

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} = -\frac{u_0 R^2}{c^2 x^3}. \quad (5)$$

Тогда, преобразуя уравнение (3) с учетом выражения для скорости потока (4) и вида частной производной (5), ускорение потока на основном участке осесимметричной размывающей струи запишем как

$$\frac{du_{xp}}{dt} = -\frac{u_0^2 R^4}{c^4 x^5}. \quad (6)$$

Пример графического описания полученных теоретических зависимостей для скорости (4) и ускорения (5) потока приведен на рисунке 2. Видно, что основной участок струи характеризуется закономерным уменьшением значений скорости в соответствии с увеличением площади сечения потока (рис. 2, а). Течение потока на рассматриваемом участке характеризуется отрицательными, приближающимися к нулю, значениями ускорения (рис. 2, б). Исходя из равенства производительностей в сечениях 0 и 1 (рис. 1) получим

$$Q_0 = Q_1 = u_0 \pi R^2 = u_x \pi c^2 x^2.$$

Известно, что скорость на поверхности контакта струи с размываемым грунтом в сечении 1-1 равна значению размывающей скорости $u_x = U_p^{\beta\gamma}$. В соответствии с исследованиями, выполненными в работе [10], верхние индексы β и γ характеризуют значение углов наклона образующих поверхности подводной поверхностной зоны струйного размыва. Таким образом, уравнение для определения длины основного участка зоны размыва примет вид

$$L_\delta = \frac{R}{c} \sqrt{\frac{u_0}{U_p^{\beta\gamma}}}. \quad (7)$$

Соответствие математической модели реальной физической картине, происходящей в подводном забое турбулентной струи, возможно, при введении в зависимость (7) эмпирического коэффициента соответствия k .

$$L_\delta = \frac{R}{kc} \sqrt{\frac{U_0}{U_p^{\beta\gamma}}}. \quad (8)$$

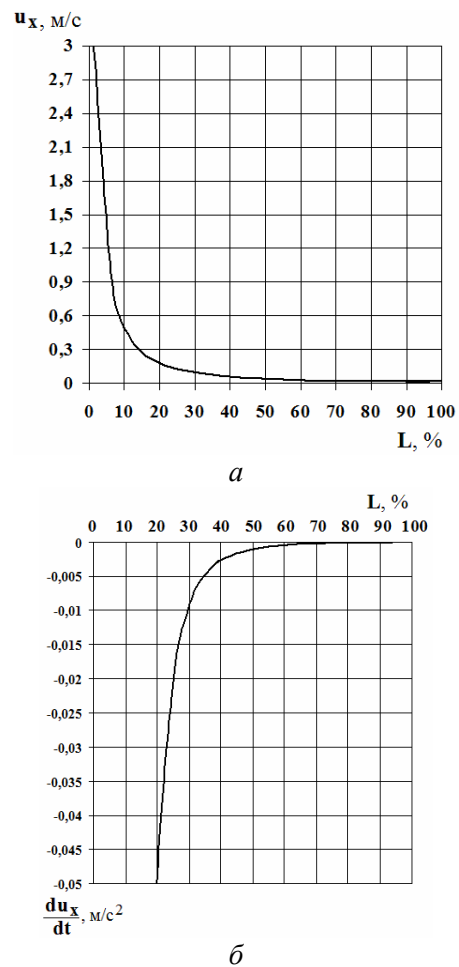


Рис. 2. Гидродинамические параметры потока основного участка размывающей струи: а – скорость; б – ускорение

Fig. 2. Hydrodynamic parameters of basic area of washing out stream: а – speed; б – acceleration

Анализ вида эмпирических кривых, полученных в результате предварительных экспериментальных исследований с приме-

нением разработанной лабораторной установки [4,5], позволил сформулировать вид зависимости коэффициента соответствия k от начальной скорости истечения жидкости из форсунки u_0 и угла наклона оси струи, тогда получим

$$k = \left(\frac{\alpha}{\xi} \right)^m (a - bu_0), \quad (9)$$

где α – угол естественного откоса подводного уступа при разработке месторождения землесосным снарядом. Нормативное значение угла для водонасыщенного среднезернистого песка $\alpha = 32^\circ$ [1, 3]; ξ – угол наклона оси размывающей струи, отложенный от вертикали, град; a, b, m – эмпирические коэффициенты. Значения эмпирических коэффициентов $a=0,4$; $b=0,003$; $m=0,5$ были получены в результате выполнения экспериментальных исследований подводного забоя, образованного под действием размывающей турбулентной струи с углами наклона $\xi = 15, 30, 45, 60, 75, 90$ град. Для каждого угла число экспериментов составляло в среднем 50.

Статистический анализ экспериментальных данных показал, что среднеквадратическое отклонение отдельных измерений от расчетных значений составило 23%. Доверительный интервал для математического ожидания коэффициента соответствия k , рассчитанного по формуле (9), при достоверности 90% составил $\pm 5,6\%$ от расчетных значений.

Предложенная модель определения длины основного участка зоны размыва L_δ позволяет установить значение максимальной полуширины основного участка струи δ в соответствии с теоретической зависимостью $\delta = cL_\delta = 0,22L_\delta$.

Преобразовав зависимость (8) получим аналитическое выражение для определения диаметра сопла размывающей форсунки

$$D_\phi = 2L_\delta kc \sqrt{\frac{U_p^{\beta\gamma}}{U_0}}.$$

Рассмотрение формирования потока жидкости турбулентной наклонной струи, образующего участки поворота и возвратного потока струи (рис. 1), позволяет судить о сложности протекающих процессов для выполнения математического моделирования с построением теоретической модели. Расчет сил воздействия струйного потока на среду, приводящего к соответствующим возмущениям в последней, является весьма сложной задачей гидродинамики струйных течений. В связи с этим, в настоящей работе поставлена задача разработки математической модели, позволяющей установить значения достаточного количества геометрических параметров для построения поверхности контакта размывающей струи с размываемым грунтом на основе эмпирических моделей.

В результате оценочной обработки экспериментальных данных, установлен вид эмпирической зависимости для определения геометрических параметров необходимых для построения поверхности контакта размывающей струи с размываемым грунтом:

- дальнобойность струи

$$L_0 = c_{L_0} \frac{Re v_n}{U_p^{\beta_{90}\gamma_0}} - d_{L_0} \Delta_U d^{TP} + e_{L_0} d^{TP}, \text{ м};$$

- максимально удаленная точка зоны размыва

$$L_M = c_{L_M} \frac{Re v_n}{U_p^{\beta_{90}\gamma_0}} - d_{L_M} \Delta_U d^{TP} + e_{L_M} d^{TP}, \text{ м};$$

- расстояние от точки М до оси струи

$$\delta_M = c_{\delta_M} \frac{Re v_n}{U_p^{\beta_{90}\gamma_0}} - d_{\delta_M} \Delta_U d^{TP} + e_{\delta_M} d^{TP}, \text{ м};$$

- дальнобойность по горизонтали

$$L_r = c_{L_r} \frac{Re v_n}{U_p^{\beta_{90}\gamma_0}} - d_{L_r} \Delta_U d^{TP} + e_{L_r} d^{TP}, \text{ м};$$

где c_{L_0} , d_{L_0} , e_{L_0} ; c_{L_m} , d_{L_m} , e_{L_m} ; c_{δ_m} , d_{δ_m} , e_{δ_m} ; c_{L_2} , d_{L_2} , e_{L_2} - эмпирические коэффициенты; Δ_U - условная скорость; d^{rp} - граничная крупность грунта, принята равной 0,0016 м.

Условную скорость выразим как отношение начальной скорости истечения из форсунки u_0 к известному значению размывающей скорости для рассматриваемого грунта U_p . В соответствии с работой [9] размывающая скорость грунта на горизонтальной поверхности обозначена $U_p^{\beta_{90}\gamma_0}$. Тогда запишем выражение для условной скорости

$$\Delta_U = \frac{u_0}{U_p^{\beta_{90}\gamma_0}}.$$

Числовые значения эмпирических коэффициентов получены в результате обработки экспериментальных данных при изучении процесса размыва грунта наклонной турбулентной струей в подводном забое землесосного снаряда. Изучение процесса проводилось на лабораторной установке при воздействии турбулентной водяной струи на массив несвязного грунта средней крупностью $d_{cp} = 0,265$ мм с углами наклона $\xi = 15, 30, 45, 60, 75, 90$ градусов и диаметрами размывающей форсунки $D_{\phi} = 1,25; 2,0; 2,8; 4,0$ мм. Для каждого угла число экспериментов в среднем составило 50. Значения эмпирических коэффициентов получены в результате обработки данных с применением метода наименьших квадратов, реализованного на базе программы Mathcad, а также статистической обработки данных в программе Microsoft Office Excel.

Статистический анализ экспериментальных данных показал, что среднеквадратическое отклонение отдельных измерений от расчетных значений, например для длины основного участка размывающей струи L_{δ} , составило 18,5 %, а для дальноточности струи L_0 - 13,2 %. Доверительный интервал для математического ожидания с дос-

товерностью 90% составил соответственно $\pm 4,5$ % и 3,2 % от расчетных значений.

Графические изображения эмпирической зависимости и экспериментальных значений, например дальноточности струи L_0 от начальной скорости истечения жидкости из форсунки, показаны на рис. 3. Анализируя графики, убеждаемся в том, что с увеличением начальной скорости истечения u_0 , исследуемые параметры стремятся к возрастанию и в указанном диапазоне скоростей имеют линейную функцию.

Применение полученных зависимостей при проектировании струйных разрыхлителей землесосных снарядов упрощено до использования для определения геометрических параметров струйного забоя таких известных параметров, как радиус сопла размывающей форсунки, начальная скорость истечения жидкости из форсунки, размывающая скорость на наклонной поверхности зоны размыва, эмпирические коэффициенты.

Апробация разработанной математической модели расчета струйных разрыхлителей прошла в ходе разработки проекта эжекторного земснаряда ЗНС 630-90. В результате проведенных в 2009 г. опытно-промышленных испытаний эжекторного земснаряда ЗНС 630-90, оборудованного грунтозаборным устройством СГЗ 630-90, обоснованы его достоинства и недостатки. Испытаниями подтверждена достаточная сходимость расчетных и экспериментальных данных, что свидетельствует об актуальности разработанной математической модели. Эжекторный земснаряд ЗНС 630-90, изготовленный на базе земснаряда МЗ-11, в течение 2009 года, широко применялся при производстве дноуглубительных и добычных работ в акватории реки Днепр.

Применение разработанной системы струйной подготовки и гидротранспортирования в указанных условиях позволили:

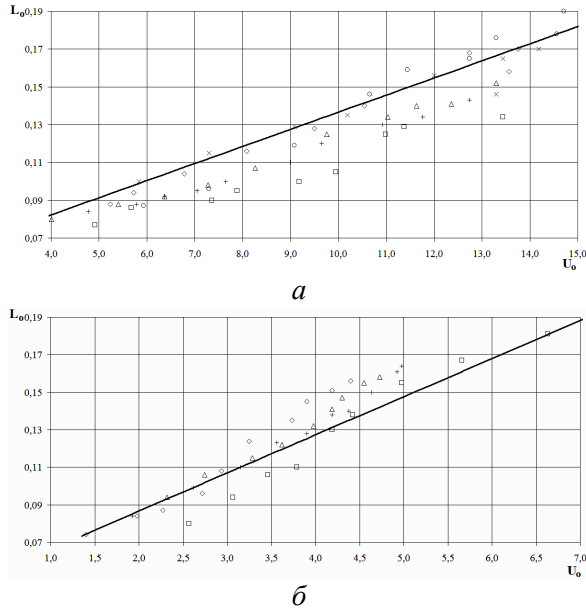
- сохранить производительность добычи песка на прежнем уровне;
- уменьшить расходы по статье «Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования» на 15%;

ВЫВОДЫ

Результатом математического моделирования процесса формирования подводного поверхностного забоя струйным грунтозаборным устройством явилось получение аналитической зависимости для определения диаметра сопла размывающей форсунки в виде функции прямо пропорциональной длине основного участка струи, квадратному корню отношения размывающей скорости грунта к начальной скорости истечения, и коэффициенту соответствия, который обратно пропорционален углу наклона оси размывающей струи в степени 0,5. Также, в результате оценки влияния диаметра сопла форсунки и угла наклона оси размывающей струи на формирование разнонаклонных поверхностей подводного забоя турбулентной водяной струи, получены теоретико-эмпирические зависимости для определения достаточного количества геометрических параметров поверхностного подводного забоя, необходимых для адекватного построения поверхности контакта размывающей струи с размываемым грунтом.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Огородников С.П.* Гидромеханизация разработки грунтов. - М.: Стройиздат, 1986. - 256с.
2. *Сукач М.К.* Плавучі засоби для розробки підводних ґрунтів / ГБДММ. – 2013. – №81. – С. 55-62.
3. *Бессонов Е.А.* Технология и механизация гидромеханизированных работ: Справ. пособие для инж. и техн. / Е.А. Бессонов. – М.: Центр, 1999. – 543с.
4. *Сукач М.К.* Исследование и разработка глубоководной добычной техники / ГБДММ. – 2013. - №82. – С. 57-65.
5. *Бондаренко А.А.* Совершенствование размывающих систем землесосных снарядов: моногр. / А.А. Бондаренко. – Д.: Национальный горный университет, 2012. – 105 с.
6. *Бондаренко А.О.* Фізичне дослідження струминного формування підводного вибою землесосного снаряда/ Науковий вісник НГУ.- 2009.-№2.-С.79-81.
7. *Богомолов А.И.* Гидравлика: учебник для вузов / А.И. Богомолов, К.А. Михайлов. – 2-



Угол наклона оси струи, град	15	30	45	60	75	90
Эксперимент	□	+	△	◇	○	×

Рис. 3. Зависимость дальности струи L_0 от начальной скорости истечения u_0 при диаметре форсунки, мм: $a - D_\phi = 2,0$; $b - D_\phi = 4,0$

Fig. 3. Dependence of stream long-range L_0 on speed of expiration u_0 at the sprayer diameter, mm: $a - D_\phi = 2,0$; $b - D_\phi = 4,0$

- сократить сроки технического обслуживания и поточного ремонта оборудования на 28%;
- получить возможность разрабатывать грунт крупностью до 200 мм;
- снизить себестоимость добычи песка на 12%.

Полученные результаты позволили рекомендовать эжекторный земснаряд ЗНС 630-90 к производству и уже в 2010 – 2011 гг. были изготовлены две такие машины. В настоящее время земснаряды ЗНС 630-90 успешно эксплуатируются при разработке нерудного месторождения речного гравия в Украине и месторождения алмазов в Либерии.

е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1972. – 648 с.

8. *Теория турбулентных струй* / Под. Ред. Г.Н. Абрамовича. - М.: Наука, 1984. - 726с.
9. *Идельчик И.Е.* Аэрогидродинамика технологических аппаратов. Подвод, отвод и распределение потока по сечению аппаратов / И.Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1983. –351 с.
10. *Бондаренко А.А.* Определение размывающей скорости грунта в подводном забое, образованном турбулентной струей / А.А. Бондаренко // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 2. – С. 78 – 81.

REFERENCES

1. *Ogorodnikov S.P., 1986.* Gidromekhnizachiy razrabotki gruntov [Hudromechanization extraction of soil], Stroyizdat, Moscow, 256.
2. *Sukach M.K., 2013.* Floating facilities for development of underwater ground. Mining, constructional, road, and melioration machines, no 81, 55-62.
3. *Bessonov E.A., 1999.* Technology and mechanization of the hydraulic mechanization works: Certificate manual for engineers and technicians, Tsentr, Moscow, RU, 543.
4. *Sukach M.K., 2013.* Research and development deep water booty technique. Mining, constructional, road, and melioration machines, no 82, 57-65.
5. *Bondarenko A.A., 2009.* Sovershenstvovanie razmivayushih sistem zemlesosnih snaryadov [Perfection of the washings out systems of shallow dredge]. NGU, Dnepropetrovsk, Ukraine, 105.
6. *Bondarenko A.A., 2009.* Physical research of the stream forming of shallow dredge submarine face. Scientific announcer of NMU, no.2, 79 – 81.
7. *Bogomolov A.I., 1972.* Gidraclika [Hydraulic]. Stroytekhizdat, Moscow, Russia, 648.
8. *Abramovich G.N., 1984.* Teoriy turbulentnih struy [Theory of turbulent streams]. Nauka, Moscow, Russia, 726.
9. *Idelchik I.E., 1983.* Aerogidrodinamika technologicheskikh apparatov [Aerohydrodynamics of technological vehicles]. Mashinostroenie, Moscow, 351.
10. *Bondarenko A.A., 2010.* «Determination of washing out speed of soil is in a submarine face, formed a turbulent stream», [Scientific announcer of NMU], no. 2, 78 – 81.