

УДК 622.376.52

Ф. Ф. СТИФЕЕВ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ РАСХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ЭРЛИФТА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ
РАБОТ**

Практикой подтверждено, что наряду с насосными агрегатами, земснарядами, драгами, гидроэлеваторами для проведения дноуглубительных строительных работ могут быть применены и эрлифтные установки. Последние имеют целый ряд преимуществ. В настоящей статье рассматривается работа эрлифта по транспортировке горной массы при производстве земляных работ в условиях, например, строительства опор мостовых сооружений с целью определения уже на стадии проектирования его теоретической расходной характеристики. При этом для обобщения результатов работы принято решение об исследовании изменения рабочих параметров эрлифта в безразмерных координатах. Поэтому предлагаемая в настоящей статье методика предполагает вначале определить расходную характеристику эрлифта при работе на воде, а затем установить теоретическую расходную характеристику эрлифта при транспортировании последним пульпы определенной плотности. При этом автор руководствовался как исследованиями расходных характеристик в безразмерном виде, так и в стандартных координатах. На основании указанных безразмерных характеристик предложена методика установления теоретической расходной характеристики эрлифта.

эрлифт, пульпа, теоретическая расходная характеристика**ВВЕДЕНИЕ**

Применение эрлифтных установок для дноуглубительных работ, главным образом, при строительстве мостов и аналогичных объектов, заключается в разрушении забоя с последующим транспортированием пульпы, как по вертикали, так и в горизонтальном направлении в сторону складирования твердого материала. Подлежащий извлечению грунт, как правило, классифицируется по категориям: пески, глины (в том числе суглинки и/или супеси), пески и галька, галька, щебеночные, скальные и полускальные. Применение в этих ситуациях средств гидромеханизации возможно только при грунтах песчаных либо песчаных с наличием включений гальки. Известные способы разработки подобных грунтов предполагают применение эрлифтов, что, в общем-то, оправдано, для разрушения и последующего транспортирования песчаных и/или песчаных с включениями гальки грунтов. Вместе с тем, предлагаемые геометрические параметры эрлифта и его рабочие характеристики, как-то: производительность (подача) и расход воздуха при работе по дноуглублению, а следовательно, и при переменном относительном погружении смесителя – исследованы только в первом приближении.

Целью настоящей работы является разработка методики установления теоретической расходной характеристики эрлифта, предназначенного для проведения дноуглубительных строительных работ.

Известно применение эрлифтных установок для проведения строительных дноуглубительных работ [1–5].

Для установления теоретической расходной характеристики эрлифта рассмотрим различные режимы эксплуатации установки. Гидравлическая схема эрлифта для дноуглубительных работ представлена на рис. 1.

Установка в основном состоит из подъемной трубы – 1, воздухоотделителя – 2, смесителя – 3, грунтозаборного (дозировочного) устройства – 4, подающей трубы – 5, нагнетателя сжатого воздуха (компрессора или воздуходувки) – 6, воздухопровода – 7, сливного патрубка – 8.

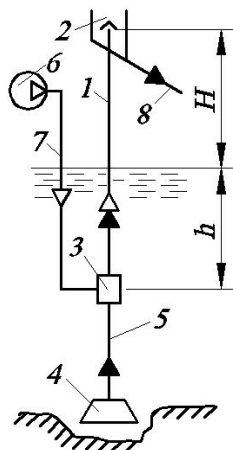


Рисунок 1 – Гидравлическая схема эрлифтной установки.

По принципу действия (ГОСТ 17318-72) эрлифты относятся к динамическим насосам трения. В них гидросмесь (пульпа) поднимается под действием сил, возникающих при относительном движении воздуха, жидкой фазы (воды) и твердых частиц.

Проведение дноуглубительных работ предполагает непосредственный контакт грунтозаборного устройства с забоем. Следовательно, возможны два технических решения: 1) подвесить эрлифт на кране с обеспечением спуска/подъема установки для разработки забоя; при этом будут изменяться как высота подъема H , так и заглубление смесителя h , или 2) применение эрлифта с телескопической подъемной трубой [6]. При этом грунтозаборное устройство будет, по мере разработки забоя, опускаться вместе с подъемной трубой, что позволит обеспечить $H = \text{const}$ и $h = \text{var}$. В настоящей статье рассматривается второй вариант возможного технического решения эрлифта.

Для построения теоретической расходной характеристики эрлифта, т. е. для получения на стадии проектирования зависимости производительности (подачи) установки от расхода воздуха, воспользуемся методом, который предложил проф. Логвинов Н. Г. [7]. Расходная характеристика строится в безразмерных координатах \bar{Q}_B (безразмерный расход воздуха) – \bar{Q}_3 (безразмерная производительность эрлифта), которые соответственно равны:

$$\bar{Q}_B = Q_B / Q_{B,\text{опт}} \text{ и } \bar{Q}_3 = Q_3 / Q_{3,\text{опт}},$$

где $Q_{B,\text{опт}}$ и $Q_{3,\text{опт}}$ – расход воздуха и подача эрлифта на оптимальном режиме;
 Q_B и Q_3 – расход воздуха и подача эрлифта на другой режимной точке.

В этих координатах безразмерная характеристика эрлифта математически описывается как дуга окружности радиусом $R = \sqrt{2}$ с центром, имеющим координаты $Q_B = 2$ и $Q_3 = 0$ (рис. 2).

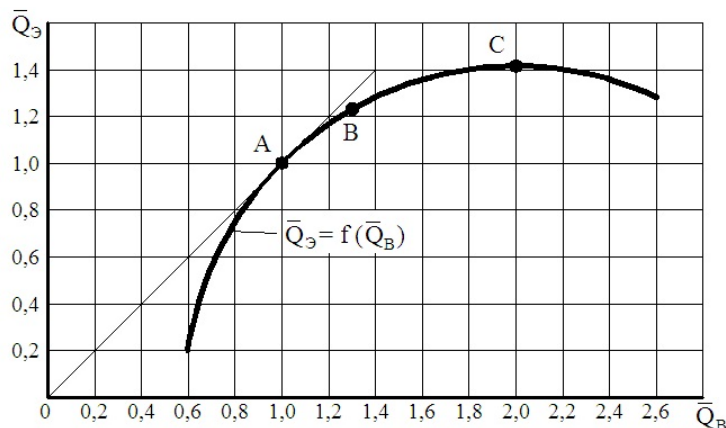


Рисунок 2 – Безразмерная характеристика эрлифта.

На графике безразмерной характеристики эрлифта показаны три очень важные режимные точки: 1) точка А – характеризует оптимальный режим работы, т. е. режим с максимальным КПД эрлифта. Данный режим сопровождается значительными динамическими нагрузками периодического действия на все элементы установки, вызванные четочной (снарядной) структурой движения гидросмеси в подъемной трубе, поэтому на практике не применяется; 2) точка С – характеризует рабочий режим с максимальной, для данных условий, производительностью (или подачей) эрлифта. При этом режиме:

$$Q_{В,МАХ} = 2Q_{В,ОПТ} \text{ и } Q_{Э,МАХ} = 1,41 Q_{Э,ОПТ}; \quad (1)$$

3) точка В – расчетный режим эксплуатации эрлифта, при котором

$$Q_{В,Р} = 1,3Q_{В,ОПТ} \text{ и } Q_{Э,Р} = 1,23Q_{Э,ОПТ} \quad (2)$$

Построим теоретическую расходную характеристику эрлифта. Сложность процессов, происходящих в подъемной трубе эрлифта при движении трехфазной (воздух – вода – твердое) среды, не позволила к настоящему времени исследователям составить достаточно корректное дифференциальное уравнение движения пульпы. Поэтому воспользуемся апробированной на практике методикой [8], основным положением которой является определение режимной точки расходной характеристики через безразмерные коэффициенты удельного расхода воздуха q и производительности c .

Как известно, основным критерием подобия эрлифтных установок является относительное погружение смесителя – отношение заглубления смесителя под уровень воды ко всей длине подъемной трубы:

$$\alpha = h / (h + H).$$

При работе дноуглубительного эрлифта высота подъема пульпы $H = \text{const}$, а заглубление смесителя h меняется. При этом изменяется и относительное погружение α . Для расчетного режима эксплуатации эрлифта, на основе обработки большого числа экспериментальных данных предложены [8, 9] следующие эмпирические зависимости для определения удельного расхода воздуха и коэффициента производительности:

$$q = 0,767\alpha^{-2,2}, \quad (3)$$

и

$$c = -1,96 + 8,96\alpha + 2,57 [1 - e^{-0,5[Q_{В,Р}/Q_6^{-1}]}]. \quad (4)$$

В выражении (4) Q_6 – расход воздуха на барботажном режиме, $Q_6 = 0,6$ [9]. Третье слагаемое этого выражения для рассматриваемого расчетного режима работы эрлифта есть величина постоянная, равная 1,05. Тогда зависимость (4) преобразуется к виду:

$$c = 8,96\alpha - 0,91. \quad (5)$$

В упомянутой методике проф. Гейера В. Г. [8] требуемый расход воздуха и производительность эрлифта на расчетном режиме определяются зависимостями:

$$Q_{В,Р} = qQ_{Э,Р} \text{ и } Q_{Э,Р} = cD^{2,5}. \quad (6)$$

Эти выражения (6) с учетом (3) и (5) принимают вид:

$$Q_{Э,Р} = (8,96\alpha - 0,91)D^{2,5} \text{ и } Q_{В,Р} = 0,767\alpha - 2,2(8,96\alpha - 0,91)D^{2,5}. \quad (7)$$

Таким образом, при прочих равных условиях эксплуатации, диаметре подъемной трубы, параметрах транспортируемой пульпы производительность эрлифта и требуемый расход воздуха определяются только значением относительного погружения смесителя.

Автором установлено [10], что с повышением плотности транспортируемой эрлифтом пульпы объемная производительность Q ($\text{м}^3/\text{час}$) эрлифта существенно падает, массовая же G ($\text{т}/\text{час}$), в пределах массовой консистенции Т:Ж до 1:1 остается, в первом приближении, постоянной. Поэтому в дальнейших расчетах будем оперировать массовой производительностью эрлифта.

Исследуем работу эрлифта с диаметром подъемной трубы $D = 0,1$ м при изменении относительного погружения от начального значения $\alpha_0 = 0,3$ до конечного $\alpha_k = 0,6$. Это может быть, например, при проведении дноуглубительных работ при высоте подъема $H = 4$ м, начального заглубления $h_0 = 1,7$ м и глубине забоя $h_k = 4,3$ м. Определение необходимого расхода воздуха и производительности

эрлифта для каждой из точек А, В и С расходной характеристики эрлифта вычисляем по зависимостям (1)–(7). Результаты вычислений приведены в таблице 1 и графически представлены на рис. 3.

Таблица 1 – Результаты вычислений значений режимных точек при подъеме воды

α	0,3	0,4	0,5	0,6
q	10,8	5,76	3,52	2,36
c	1,78	2,67	3,57	4,47
G_p , т/ч	20,3	30,4	40,6	50,9
Q_p , м ³ /мин	3,65	2,92	2,38	2,00
$G_{опт}$, т/ч	16,5	24,7	33,0	41,4
$Q_{опт}$, м ³ /мин	2,81	2,25	1,83	1,54
G_{max} , т/ч	23,3	34,8	46,5	58,3
Q_{max} , м ³ /мин	5,62	4,50	3,66	3,08

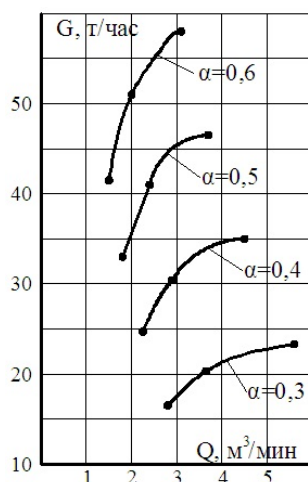


Рисунок 3 – Расходные характеристики при транспортировании воды.

В этой таблице приняты следующие обозначения: G_p , $G_{опт}$, G_{max} – производительность (подача) эрлифта на расчетном (точка В), оптимальном (точка А) и максимальном (точка С) режимах; Q_p , $Q_{опт}$, Q_{max} – расход воздуха на расчетном, оптимальном и максимальном режимах, соответственно.

Как следует из приведенных вычислений и графиков, с увеличением относительного погружения все режимные точки расходных характеристик смещаются в область меньших значений расходов воздуха. При этом производительность эрлифта, по отношению к начальному значению, определяемому исходным относительным погружением, возрастает. К такому же выводу пришел и А.-Ф. Mahrous [11], но при изучении расходных характеристик эрлифта на модели меньших размеров и при других относительных погружениях.

Предлагаемая автором методика построения теоретической расходной характеристики эрлифта, как ранее упоминалось, заключается в двух этапах: вначале строим характеристику при транспортировании эрлифтом воды, а затем корректируем ее в зависимости от параметров пульпы: ее плотности и плотности транспортируемых твердых фракций. В работе [10] установлено, что в диапазоне относительных погружений от 0,2 до 0,6 и при диаметре подъемной трубы $D > 50$ мм удельный расход воздуха при транспорте пульпы равен:

$$q_n = kq,$$

где k – поправочный коэффициент, учитывающий влияние плотности пульпы и плотности транспортируемых твердых масс. Этот коэффициент равен:

$$k = \sqrt{3}(\rho_{тв}^* - 0,65)(\rho^* - 1) + 1,$$

где $\rho_{тв}^*$ – относительная плотность транспортируемых твердых фракций (отношение плотности твердых фракций к плотности воды);

ρ^* – относительная плотность пульпы (отношение средней плотности пульпы к плотности воды).

Определим расходные характеристики упомянутого эрлифта при подъеме речного песка плотностью 2500 кг/м^3 . Допустим, что плотность пульпы при этом составляет 1300 кг/м^3 (массовая консистенция Т:Ж = 5:8). При этих условиях удельный расход воздуха составит $q_{\text{п}} = 1,96q$. Результаты вычислений значений расхода воздуха и массовой подачи эрлифта, которая, как уже упоминалось, практически остается неизменной, приведены в таблице 2. Графически теоретические расходные характеристики представлены на рис. 4.

Таблица 2 – Результаты вычислений параметров режимных точек при подъеме пульпы

α	0,3	0,4	0,5	0,6
$q_{\text{п}}$	21,2	11,3	6,9	4,6
c	1,78	2,67	3,57	4,47
$G_{\text{р}}, \text{ т/ч}$	20,3	30,4	40,6	50,9
$Q_{\text{р}}, \text{ м}^3/\text{мин}$	7,2	5,7	4,7	3,9
$G_{\text{ОПТ}}, \text{ т/ч}$	16,5	24,7	33,0	41,4
$Q_{\text{ОПТ}}, \text{ м}^3/\text{мин}$	5,5	4,4	3,6	3,0
$G_{\text{МАХ}}, \text{ т/ч}$	23,3	34,8	46,5	58,3
$Q_{\text{МАХ}}, \text{ м}^3/\text{мин}$	11,0	8,8	7,2	6,0

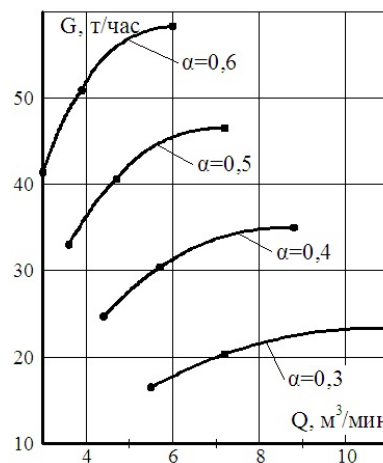


Рисунок 4 – Расходные характеристики при транспортировании пульпы.

Вычисления и графики показывают, что с ростом плотности пульпы режимные точки расходных характеристик смещаются в область более высоких значений расхода воздуха – в нашем примере необходимый для устойчивой работы эрлифта расход воздуха возрос на 96 % относительно потребляемого при транспортировании воды.

ВЫВОДЫ

В настоящей статье предложена методика расчета теоретической расходной характеристики эрлифта как при переменном значении относительного погружения в заданных пределах, так и при постоянном значении этого показателя. Также методика учитывает основные параметры транспортируемой пульпы: ее плотности и плотности твердого материала. Предлагаемая методика позволяет уже на стадии проектирования эрлифта устанавливать эксплуатационные значения нагнетателя сжатого воздуха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Владимирский, С. Р. Механизация строительства мостов [Текст] : учеб. пособие для студентов, обучающихся по специальности «Мосты и транспорт, тоннели» / С. Р. Владимирский. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – СПб. : Изд-во ДНК, 2006. – 152 с. – ISBN 5-901562-54-2.
2. Бобриков, Б. В. Строительство мостов [Текст] : Учебник для вузов железнодорожного транспорта / Б. В. Бобриков. – М. : Транспорт, 1978. – 296 с.

3. Александров, В. Д. Карманный справочник производителя работ ОАО «Мостотрест» [Текст] / В. Д. Александров. – Изд. пятое. – Москва : ООО «Печатный двор "На Алексеевской"», 2008. – 374 с.
4. Стифеев, Ф. Ф. Определение рациональной плотности пульпы в подъемной трубе эрлифта [Текст] / Ф. Ф. Стифеев // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури / М-во освіти і науки України, Донбаська нац. академія будівництва і архітектури. – Макіївка, 2012. – Вип. 2012-5(97) : Будівельні конструкції будівель та споруд. – С. 86–91. – ISSN 1814-3296.
5. Мойсейчик, Е. К. Строительство свайных фундаментов на акватории [Текст] : уч.-метод. пособие для студентов дорожных специальностей / Е. К. Мойсейчик, А. С. Мацкевич. – Минск : БНТУ, 2005. – 40 с. – ISBN 985-479-160-2.
6. А. с. 1250734 СССР, МКИЗ F 04 F 1/18. Эрлифт для подъема металлосодержащих пульп [Текст] / В. С. Костанда, Н. Г. Логвинов, Ф. Ф. Стифеев (СССР). – № 3855507 ; заявл. 11.02.1985 ; опубл. 15.08.86, Бюл. № 30.
7. Логвинов, Н. Г. Исследование динамики эрлифтов с целью создания автоматизированных гидродъемов шахт большой глубины [Текст] : дис. ... доктора техн. наук : 05.173 / Логвинов Николай Григорьевич. – Донецк, 1972. – 359 с.
8. Эрлифтные установки [Текст] : Учебное пособие / В. Г. Гейер, Л. Н. Козыряцкий, В. С. Пашенко, Я. К. Антонов. – Донецк : ДПИ, 1982. – 64 с.
9. Малеев, В. Б. Работа эрлифта при постоянном расходе сжатого воздуха [Текст] / В. Б. Малеев, А. В. Игнатов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер. «Гірничо-геологічна» / Донец. нац. техн. ун-т. – 2008. – Вип. 7(135). – С. 108–113.
10. Стифеев, Ф. Ф. Разработка эрлифтов для подъема пульп повышенной плотности [Текст] : дис. ... кандидата техн. наук : 05.05.06 / Стифеев Федор Федорович. – Донецк, 1985. – 262 с.
11. Mahrous, A.-F. Performance Study of an Airlift Pump with Bent Riser Tube [Текст] / A.-F. Mahrous // WSEAS TRANSACTIONS on APPLIED and THEORETICAL MECHANICS. – 2013. – Issue 2, Volume 8. – P. 136–145. – ISSN 2224-3429.

Получено 24.10.2013

Ф. Ф. СТИФЕЕВ

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОЇ ВИТРАТНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕРЛІФТА ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ДНОПОГЛИБЛЮВАЛЬНИХ БУДІВЕЛЬНИХ РОБІТ Донбаська національна академія будівництва і архітектури

На практиці доведено, що разом з насосними агрегатами, земснарядами, драгами, гідроелеваторами для проведення днопоглиблювальних будівельних робіт також можуть бути застосовані ерліфти установки. Останні мають цілий ряд переваг. У цій статті розглядається робота ерліфта по транспортуванню гірської маси при виконанні земляних робіт в умовах, наприклад, будівництва опор мостових споруд з метою визначення її теоретичної витратної характеристики вже на стадії проектування. При цьому для узагальнення результатів роботи прийнято рішення про дослідження зміни робочих параметрів ерліфта у безрозмірних координатах. Саме тому методика, що запропонована в даній статті, передбачає спочатку визначити витратну характеристику ерліфта при роботі на воді, а потім визначити теоретичну витратну характеристику ерліфта при транспортуванні останнім пульпи певної густини. При цьому автор керувався як дослідженнями витратних характеристик у безрозмірному вигляді, так і у стандартних координатах. На основі зазначених безрозмірних характеристик запропонована методика визначення теоретичної витратної характеристики ерліфта.

ерліфт, пульпа, теоретична витратна характеристика

FEODOR STIFEEV

DETERMINATION OF THEORETICAL CONSUMPTION CHARACTERISTIC OF AIR-LIFT DURING THE BOTTOM DREDGING CONSTRUCTION Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

This is confirmed in practice that together with pumping units, excavation machinery, dredges, hydro elevators for the dredging of construction works there also can be used air-lift's setups. They have a lot of advantages. In this article there examined work of air-lift transporting ore mass during digging in, for example, building pillars of bridges to determine within the basic project its theoretical outgo characteristic. At the same time, to summarize the results of the work, it was decided to study changes in the operating parameters of the air-lift in dimensionless coordinates. Therefore, the proposed in this article method firstly assumes to determine the performance curve of air-lift working on the water, and then, to establish theoretical performance curve of air-lift during transporting of a certain density pulp. The author was guided by a

research of flow rate characteristics in a dimensionless form and in the standard coordinates. On the basis of these non-dimensional characteristics there was proposed a method of establishing a theoretical expenditure characteristics of the air-lift.

air-lift, pulp, theoretical expenditure characteristic

Стіфєєв Федір Федорович – кандидат технічних наук, доцент кафедри теоретичної і прикладної механіки Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: дослідження та розробка ерліфтних установок для підйому матеріалу різної фракції та густини.

Стифеев Федор Федорович – кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной механики Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: исследование и разработка эрлифтных установок для подъема твердого материала различной крупности и плотности.

Stifeev Feodor – PhD (Eng.), the Associate Professor, Theoretical and Applied Mechanics Department, Donbas National Academy of Civil and Architecture, Scientific researches: research and development of airlift installations for solid material of various size and density lift.