

Далее, в виду того, что расчет остальных параметров: u_c , V_1 , V_2 , V_p , K , E , P_0 и P осуществляется аналогично от сечения к сечению (от выступа к выступу) и поэтому, чтобы не приводить одни и те же формулы, множество раз, рассчитанные по известным формулам (1-7) значения этих параметров приведены в таблице 1.

Результаты расчета:

1) при скорости жидкости на сходе с конусообразного тела равной 8 м/с толщина ее слоя в этой точке $\delta_{сх} = 1,11$ мм;

2) расход воды на одно устройство $Q = 14,9$ м³/ч (в целом на сепаратор, у которого шесть точек смыва, $Q = 89,4$ м³/ч), при этих условиях обеспечивается удаление частиц крупнее 1 мм на 63 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Туркенич А.М., Шевченко А.И. Устройство нового типа для смыва магнитного продукта в роторных магнитных сепараторах // Збагачення корисних копалин: Наук. -техн. зб. – Дніпропетровськ, 1998. -Вип.1(42). - С. 91-94.

2. Лапшин Е.С., Шевченко А.И. Экспериментальное исследование пленочного течения жидкости в устройстве для смыва магнитного продукта с зубчатых пластин роторного сепаратора// Геотехническая механика: Сб. науч. трудов ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 1998. -Вып.7 -С. 120-125.

3. Лапшин Е.С., Шевченко А.И. Экспериментальное исследование кинетики очистки оборотной воды в устройстве для смыва магнитного продукта с зубчатых пластин сепаратора // Геотехническая механика: Сб. науч. трудов ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 1998. -Вып.6 -С. 138- 143.

4. Лапшин Е.С., Шевченко А.И. Математическое описание кинетики очистки оборотной воды в устройстве для смыва магнитного продукта с зубчатых пластин роторного сепаратора // Геотехническая механика: Сб. науч. трудов ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 1998. -Вып.6 -С. 143-150.

УДК 622.277

З.Р. Маланчук

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ СКВАЖИННОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Наводяться результати теоретичних досліджень розрахунку трубопроводів систем свердловинного гідравлічного видобутку виймання та транспортування корисних копалин.

THEORETICAL BASES OF ACCOUNT OF PIPELINES OF SYSTEMS DOWNHOLE OF HIDRAVLIC MINING OF MINERAL RESOURCES

The results of theoretical researches of account of pipelines of systems downhole hidromining , extraction and transportation of mineral resources are resulted.

Сущность метода скважинной гидравлической добычи (СГД) заключается в превращении руды на месте залегания в гидросмесь и ее откачки на поверхность. Возможны гидравлический, вибрационный, ультразвуковой, гидродинамический, микробиологический и другие способы превращения руды в гидросмесь. Гидросмесь можно откачивать на поверхность эрлифтом, гидроэлеватором, погруженным насосом, противодавлением нагнетаемой в залежь воды. По сравнению с подземной и открытой разработкой метод СГД обладает следующими преимуществами. При скважинной гидродобычи технологический про-

цесс является однооперационным. Операции по добыче и транспортированию полезного ископаемого осуществляются водой [1,2].

В последнее время было выдвинуто несколько предположений по осуществлению скважинной гидродобычи полезных ископаемых. Подробный анализ литературы и патентных материалов показал возможность различных технических схем применения метода СГД. Становление, развитие и внедрение методов геотехнологического опробования для разведки и пробной эксплуатации месторождений произведено впервые профессором Черней Э.И. [1]. Краткий обзор патентов показал, что основными тенденциями развития метода СГД являются совершенствование скважинных гидромониторов и выдачных механизмов, обеспечение работы струи в воздушной среде, расчет распределительных и нагнетательных трубопроводов доставки воды, а также систем транспортирования полезного ископаемого, в которых имеет место движение жидкости с переменной массой.

Потоком с переменной массой называется такой поток, в котором в направлении движения его происходит изменение массы жидкости за счет отсоединения от него части расхода жидкости или наоборот, поступления некоторого дополнительного расхода жидкости. В результате отсоединения от потока массы жидкости или струек жидкости в нем происходит, с одной стороны, уменьшение энергии основного потока, а с другой - возникновение интенсивных вихревых движений. Возникающие в потоке вихревые токи жидкости (или просто вихри) характеризуются наличием интенсивного перемешивания массы жидкости.

Поскольку движение вихрей в большинстве случаев не совпадает с направлением движения основной массы потока, они так или иначе проявляют свою индивидуальность, подтормаживая движение основной массы потока. На преодоление сопротивления вихрей затрачивается живая сила или энергия потока.

При движении жидкости с переменной массой общее количество массы жидкости, проходящей через живое сечение потока в единицу времени, изменяется в зависимости от осевой координаты потока (а в случае неустановившегося движения, также и от времени).

В кинематическом отношении для потока с переменной массой характерно наличие индивидуальных дополнительных скоростей, которыми обладают частицы отсоединяющейся массы жидкости.

Указанные скорости изменяющих массу потока частиц жидкости, как правило, отличны по величине и не совпадают по направлению со скоростью основной массы потока.

При столкновении друг с другом частицы жидкости, имеющие различные по величине и направлению скорости, испытывают взаимное силовое воздействие. Это силовое воздействие частиц между собой происходит во времени, необходимом для уравнивания их скоростей. При этом само изменение скорости частиц представляется происходящим таким образом, что после каждого столкновения между частицами одна из них теряет ровно такое количество движения, какое приобретает другая частица.

Проф. И.М. Коновалов определяет силу взаимодействия между частицами в зависимости от их массы и скорости движения, а затем рассматривает взаимодействующие частицы, находящиеся в динамическом равновесии, применяя к ним закон живой силы или кинетической энергии.

Далее, полагая, что приращение массы в потоке должно совершаться непрерывно, И.М. Коновалов принимает тот промежуток времени, в течение которого происходит выравнивание скоростей столкнувшихся частиц, равным бесконечно малой величине ($\Delta t = dt \rightarrow 0$). Из этого положения, в свою очередь, вытекает условие мгновенного изменения скоростей столкнувшихся между собой частиц жидкости.

Проф. Я.Н. Ненько в своих исследованиях движения потока с переменной массой также исходит из представления об ударном воздействии одной частицы на другую, сопровождавшемся мгновенным изменением скоростей обеих частиц [3].

А.С. Кожевников дает отличную от указанных выше авторов расчетную схему движения тела, которая, по его мнению, представляется физически более правдоподобной, т.е. в большей степени отвечающая тем явлениям, которые имеют место при движении жидкости с переменной массой или расходом [2].

Характерной особенностью расчетной схемы А.С. Кожевникова является предположение о том, что в потоке происходит непрерывное изменение не только массы потока, но и скоростей соударяющихся частиц жидкости. Далее он рассматривает не одну частицу, а множество их, заключенных в некотором элементарном объеме, выделенном в движущейся жидкости (потоке). В указанном объеме происходит смешение масс жидкости, сопровождающееся соударением множества частиц.

Руководствуясь именно этими соображениями, В.М. Маккавеев, И.М. Коновалов, Я.Т. Ненько, А. С. Кожевников, Г.А. Петров, И.В. Мещерский считают [3-8], что уравнения динамики переменной массы отличаются от уравнений динамики постоянной массы, главным образом, учетом потерь энергии на смешение масс, утверждая при этом, что потери эти в некоторых случаях достигают значений, во много раз превышающих потери на обычное трение.

Высказанные выше соображения позволяют вывести уравнения движения потока с переменной массой, используя при этом или основываясь на известных зависимостях из динамики твердых тел или гидравлики постоянной массы.

Остановимся вкратце на тех исходных зависимостях, которые используются при выводе дифференциального уравнения движения потока с переменной вдоль пути массой или расходом жидкости.

Запишем основное уравнение движения тела постоянной массы в дифференциальной форме

$$M \frac{d^2 S}{dt^2} = \bar{F} \quad , \quad (1)$$

где M - масса тела; $\frac{d^2 S}{dt^2}$ - ускорение; \bar{F} - равнодействующая всех внешних сил, действующих на тело.

При изменении массы движущегося тела возникает некоторая дополнительная сила, равная произведению массы тела на относительную скорость движения изменяемой массы, а именно

$$\bar{f} = (\bar{V}_s - \frac{\bar{ds}}{dt}) \frac{dM}{dt} , \quad (2)$$

где \bar{V}_s – скорость изменяемой массы в направлении движения тела; $\frac{\bar{ds}}{dt}$ – скорость движения тела; $\frac{dM}{dt}$ – приращение массы движущегося тела во времени; \bar{f} – искомая дополнительная сила, возникающая вследствие изменения массы движущегося тела.

Подставив (2) в (1) и сделав некоторые преобразования, можно получить дифференциальные уравнения движения тела переменной массы

$$M \frac{dV_x}{dt} = X + (\alpha - V_x) \frac{dM}{dt} \quad (3)$$

$$M \frac{dV_y}{dt} = Y + (\beta - V_y) \frac{dM}{dt}$$

$$M \frac{dV_z}{dt} = Z + (\gamma - V_z) \frac{dM}{dt}$$

Эти уравнения были впервые выведены русским ученым проф. И.В. Мещерским в работе "Динамика точки переменной массы" (1897 г.). Уравнения (3) были использованы для вывода основного уравнения движения потока переменной массы впервые проф. В.М. Маккавеевым в 1928 году, а затем проф. И.М. Коноваловым и Я.Т. Ненько в 1937 году и др.

Проф. В.М. Маккавеев, используя уравнение количества движения переменной массы, получает уравнение движения потока с переменной массой вида

$$\frac{1}{2g} \int \frac{(1-m)d(Q^2)}{\omega^2} + \frac{V^2}{2g} + Y_1 + \int KV^2 dx = C , \quad (4)$$

где $\frac{V_1}{V}$ - отношение проекций скоростей вектора присоединенной и основной массы; KV^2 - отнесенная к единице веса сила гидравлических сопротивлений трения.

Уравнение переменной массы, полученное проф. Маккавеевым, отличается от уравнения Бернулли выражением:

$$\frac{1}{2g} \int \frac{(1-m)d(Q^2)}{\omega^2} , \quad (5)$$

которое представляет собой поправку, учитывающую восстановление напора при отсоединении жидкости. Остальные члены уравнения (4) представляют уравнение Бернулли в обычной форме при $V \neq \text{const}$ по длине трубопровода.

Как указывает В.М.Маккавеев сила гидравлических сопротивлений незначительна по сравнению с гидравлическими потерями на смешение масс, учитываемыми дополнительным членом уравнения (4). Это уравнение является первым правильным уравнением движения потока с переменной массой, из которого путем преобразования могут быть получены и иные формы этого уравнения.

Основное уравнение движения жидкости с переменной массой, полученное И.М.Коноваловым [6], с учетом того, что в трубе одновременно идет либо отсоединение, либо присоединение расхода, после ряда преобразований можно представить в нижеследующей форме, если принять $m=1$, $\omega=\text{const}$, и что расход в любом сечении $Q = \omega V$, тогда

$$h_f = \frac{(Q_0 + qS)^3 - Q_0^3}{3qk^2}. \quad (6)$$

Г.А. Петров [5], пользуясь уравнением гидравлики переменной массы, получает выражение для величины потерь напора при равномерном отделении расхода

$$h_\omega = \frac{Q_n^2}{k^2} \left[x - \frac{x^2}{l} + \frac{x^3}{3l^2} \right] - \frac{\alpha Q_n^2}{2g\omega^2} \left[2 - \frac{x}{l} \right] \frac{x}{l}, \quad (7)$$

где $Q_n = ql$ - раздаваемый по пути расход.

А.И. Егоров [9], изучая движение жидкости с переменной массой при исследовании закономерностей распределения и сбора воды напорными трубчатыми системами в водоочистных сооружениях, получает уравнение для определения потерь напора при отсоединении массы жидкости

$$h_p = -(2\alpha_0 - \beta) \frac{V_{n0}^2 - V_{ns}^2}{2g} + KC_v C_z \int_0^f i_f ds, \quad (8)$$

где K - коэффициент, учитывающий перерывчатый характер изменений средней скорости.

Х.А. Навоян [10], исходя из уравнения гидравлики переменной массы проф. В.М. Маккавеева, дает рекомендации по расчету напорных перфорированных труб постоянного поперечного сечения для случая отсоединения жидкости по пути

$$d_y + \frac{(2-\alpha)Q_x}{g\omega^2} dQ_x + \frac{Q_x^2}{K^2} dx = 0 . \quad (9)$$

Я.Т. Ненько [3], решая задачу определения потерь напора в простом трубопроводе с непрерывной раздачей по пути (задача Дюпюи) при $i=0$ и $m=0$ для короткого трубопровода, получил

$$\frac{P_0}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} = Q_0^2 \left[\frac{Z}{3K^2} - \frac{\alpha}{g\omega^2} \right] . \quad (10)$$

А.А. Федорец [11], рассматривая вопрос расчета перфорированных трубопроводов с равномерной раздачей расхода по пути (задача Дюпюи), дифференциальное уравнение движения жидкости с переменной по длине потока массой для перфорированных цилиндрических трубопроводов получил в виде

$$\frac{\alpha_0(a_2-2)}{g\omega^2} \left(\frac{dq}{dh} \cdot \frac{dh}{dx} \cdot X + q \right) + \frac{dh}{dx} - i + \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R} = 0, \quad (11)$$

где $a_2 = \frac{V_2}{V_1}$ - отношение проекции на ось движения скорости отсоединения к средней скорости потока; ω - площадь сечения трубопровода; α_0 - коэффициент Буссинеска; q - расход отсоединения по длине потока; Q - переменный по длине расход в произвольном сечении потока; i - уклон дна русла.

Учитывая, что q есть функция напора и площади отверстий, т.е. $q = f(H, \omega_0)$, после некоторых преобразований уравнение (11) запишется в виде

$$\frac{\alpha_0(a_2-2)Q}{g\omega^2} \left(\frac{\partial Q}{\partial H} \cdot \frac{dH}{dx} + \frac{\partial Q}{\partial \omega_0} \cdot \frac{d\omega_0}{dx} \right) + \frac{dH}{dx} - i + \frac{Q^2}{K^2} = 0, \quad (12)$$

где ω_0 - площадь перфорации на длине dx трубопровода; H - пьезометрический напор.

В случае равномерного отсоединения расхода по длине трубопровода расход в любом сечении выразится зависимостью

$$Q = Q_0 - qx, \quad (13)$$

где $q = \text{const}$ - расход отсоединения на единицу длины трубопровода.

В этих условиях уравнение (11) после преобразования примет вид:

$$\frac{dH}{dx} = i - \frac{Q^2}{K^2} - \frac{\alpha_0(a_2-2)}{g\omega^2} Qq . \quad (14)$$

Обозначив расход, раздаваемый по длине трубопровода, через $Q_x = qx$ и проинтегрировав уравнение (14), получим

$$H_p = H_1 + ix - (Q^2 + QQ_x + \frac{Q^2 x}{3}) \frac{x}{K^2} - \frac{\alpha(a_2 - 2)}{g\omega^2} \left(QQ_x + \frac{Q_x^2}{2} \right), \quad (15)$$

где H_p - пьезометрический напор в сечениях X трубопровода; H_1 - пьезометрический напор в начале трубопровода.

Уравнение (15) используется нами для расчета раздаточных трубопроводов.

Таким образом, основное уравнение движения потока с переменной массой отличается от аналогичных уравнений для потока постоянной массы наличием членов, учитывающих изменение массы на величину энергии потока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черней Э.И. Перспективы использования геотехнологических комплексов для отбора проб и разработки золота и алмазов. Докт. дисс. М. МГРИ, 1987г.
2. Аренс В.Ж., Исмагилов Б.В., Шпак Д.Н. Скважинная гидродобыча полезных ископаемых. М., Недра, 1980, 227 с.
3. Ненько Я.Т. О движении с переменной вдоль потока массой, В кн. Труды Харьковского гидрометеорологического института, Харьков, 1937, с.3-50.
4. Кожевников А.С. Общие уравнения установившегося движения потока с переменным расходом и их решения. М.-Л.Госэнергоиздат, 1974.-313с.
5. Петров Г.А. Гидравлика переменной массы. Харьков., Изд. Харьковского университета, 1964, 224с.
6. Коновалов И.М. Движение жидкости с переменным расходом. -В кн., Труды Ленинградского института инженеров водного транспорта, 1937, вып. 8. с. 112-117.
7. Маккавеев В.М. Гашение энергии в водотоках, теория гидродинамических процессов с большим гашением энергии, Л., Изд. Института гидрологии, 1930, с.63-68.
8. Мещерский И.В. Уравнение движения точки переменной массы в общем случае. -В кн. Известие С.П.Б. Политехнического института, 1904.
9. Егоров А.И. Исследования закономерностей распределения и сбора воды напорными дырчатыми системами в водонапорных водоочистных сооружениях. Автореф. Дис. докт. техн. наук.-М.1974. с.181.
10. Навоян Х.А. Новые формулы по расчету напорных перфорированных труб постоянного поперечного сечения при равномерном уменьшении расхода вдоль пути-«Строительство и архитектура», Новосибирск, 1974, №4, с.123-128.
11. Федорец А.А. Расчет распределительного трубопровода при равномерной раздаче и транзитном расходе. -«Гидравлика и гидротехника», К., 1978, вып.27, с.98-103.
12. Скиба М.М. Напорное движение жидкости в трубах с боковыми отверстиями. -В кн. Труды Новочеркасского инженерно-мелиоративного института, «Ростиздат», 1937, т.11, с.5-35.
13. Смыслов В.В., Езерский Н.О., Кожевников А.С. О величине коэффициента отделяемой массы в уравнении движения жидкости в перфорированных распределительных трубопроводах. -«Гидравлика и гидротехника», К., 1978, вып.26, с.106-109.
14. Маланчук З.Р. Определение влияния гидродинамического напора на величину гидравлических параметров при истечении жидкости из отверстий. РГТУ. вып.2. Ровно, 2000 г.
15. Черней Э.И., Маланчук З.Р. Теоретические основы гидроэлеваторного подъема, РГТУ. вып. 3. Ровно, 2000
16. Черней Э.И., Постоловский Р.М., Маланчук З.Р. Классификация систем гидравлических методов опробования и разработки. РГТУ. вып.5. Ровно, 2000 г.
17. Черней Э.И., Постоловский Р.М., Маланчук З.Р. Научные основы недропользования в Украине. Ровенская областная типография. г.Ровно, 2000 г. 354с.