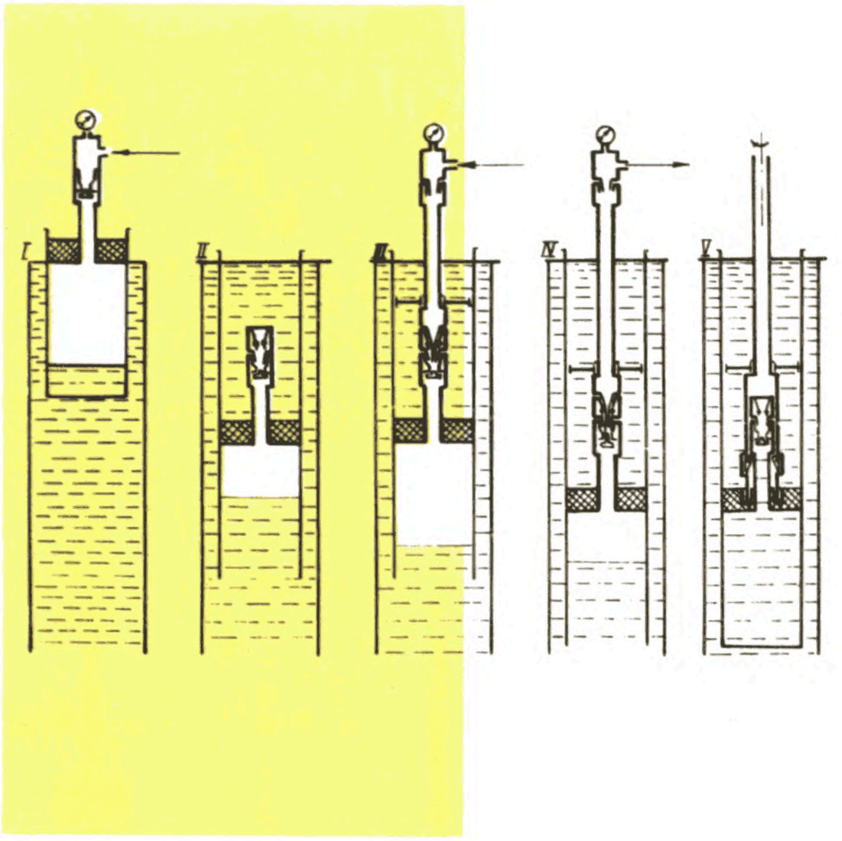


Методические указания по расчету спуска в скважину обсадных колонн на воздушной подушке

Белгород 1978

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ СССР
СОЮЗРУДА

Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт по осушению месторождений полезных ископаемых, специальным горным работам, рудничной геологии и маркшейдерскому делу
ВИОГЕМ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ СПУСКА В СКВАЖИНУ ОБСАДНЫХ КОЛОНН НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ

Белгород 1978

УДК 622.245.1.001.89

В работе изложена методика расчета технологического процесса спуска обсадных колонн на воздушной подушке, когда вес их больше грузоподъемности буровых установок. В методике рассмотрены наиболее общие случаи: 1) скважина заполнена жидкостью до устья; 2) уровень в скважине ниже устья и не изменяется при спуске колонны.

Методические указания предназначены для использования при проектировании, исследованиях технологического процесса спуска колонн, креплении скважин.

Указания составлены сотрудниками лаборатории технологии бурения и водопонижения института ВИОГЕМ В.П.Петриченко, А.Г.Гончаровым. Утверждены секцией НТС 24 августа 1978 г. в качестве методических указаний.

©Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт по осушению месторождений полезных ископаемых, специальным горным работам, рудничной геологии и маркшейдерскому делу (ВИОГЕМ), 1978.

ВВЕДЕНИЕ

При бурении водопонизительных и технических скважин большого диаметра вес обсадных колонн часто превышает грузоподъемность буровых установок в несколько раз. При спуске на плаву резко снижается эффект способа с увеличением диаметра колонны. Способ спуска на воздушной подушке (а.с. 547526) позволяет произвести спуск колонны на глубины, превышающие глубину разработки месторождений, отрабатываемых в настоящее время открытым и подземным способами.

Наибольшая глубина спуска колонны на воздушной подушке – 1250 м достигнута на СУБРе; наибольший диаметр 2,3 м при весе колонны 3400 Н.

Сущность способа заключается в следующем. При спуске колонны в момент достижения ее веса, равного или несколько менее грузоподъемности установки, в состав колонны вваривают трубу, того же диаметра, содержащую цементный мост и клапанное устройство. Через клапанное устройство под цементный мост нагнетают воздух, вытесняя жидкость из колонны. В результате этого на колонну действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной жидкости. С погружением колонны выталкивающая сила уменьшается вследствие сжатия воздуха. В процессе спуска колонны может быть произведено несколько подкачек воздуха до величины давления, не превышающего сумму гидростатического наружного и допустимого внутреннего. После спуска колонны мост разбуривают, а клапанное устройство поднимают. При необходимости может быть создано две и более воздушных подушек, действующих одновременно.

Оборудование для реализации способа разработано институтом ВИОГЕМ и выпускается Тульским опытным заводом бурового и насосного оборудования треста "Союзшахтоосушение".

Детальное описание технологического процесса и технических средств приводится в отдельном выпуске "Техническое описание комплекта инструментов и технологического процесса спуска обсадных колонн на воздушной подушке".

1. МЕТОДИКА РАСЧЕТА СПУСКА КОЛОННЫ ПРИ УРОВНЕ ЖИДКОСТИ В СКВАЖИНЕ НА УСТЬЕ

Длина нижней части колонны L_I, которая может быть опущена до установки моста (рис. 1, а), определяется по

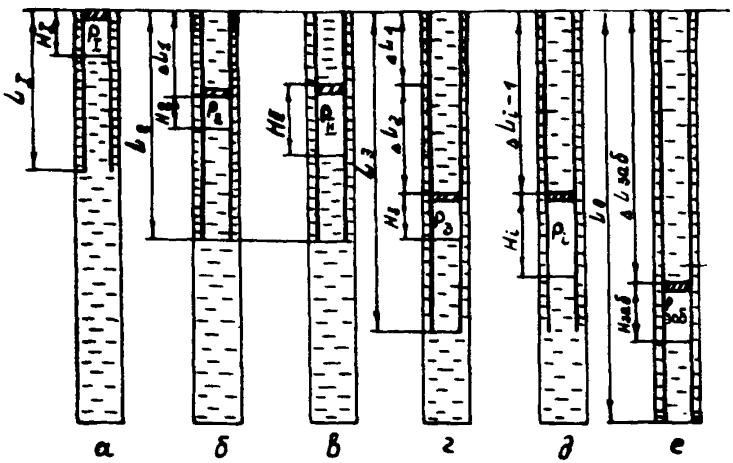


Рис. 1.

формуле

$$L_1 = \frac{G_ч}{\pi(D_н - \delta)\delta\gamma_{тр}U}, \qquad (1)$$

где L_I – длина колонны, опущенной в скважину до установки моста, м; $G_ч$ – грузоподъемность буровой установки или максимальный заданный вес спускаемой колонны с учетом резерва грузоподъемности, Н; $D_н$ – наружный диаметр труб, м; δ – толщина стенки труб, м; $\gamma_{тр}$ – удельный вес материала труб, Н/м^3; U – коэффициент, учитывающий действие выталкивающей силы на трубы в жидкости, $\left(U = 1 - \frac{\gamma_ж}{\gamma_{тр}}\right)$; $\gamma_ж$ – удельный вес жидкости в скважине; Н/м^3; $\pi(D_н - \delta)\delta\gamma_{тр} = q_т$ – вес 1 погонного метра труб, Н.

Необходимая величина давления воздуха под мостом

$$P_I = \frac{4G_к}{\pi D_в^2}, \qquad (2)$$

где P_I – давление воздуха в воздушной подушке, Н/м^2; $G_к$ – необходимое снижение нагрузки на крюке, ($G_{к max} = G_у$), Н; $D_в$ – внутренний диаметр труб, м.

Снижение нагрузки на крюке до нуля не рекомендуется, когда сила трения колонны о стенки скважины превышает величину приращения веса колонны за счет присоединения очередной секции труб, так как колонна будет останавливаться. P_I не должно превышать допустимого внутреннего давления $P_в$ для труб данной характеристики

$$P_{дв} = \frac{2\delta \sigma_т}{K_2 D_н}, \qquad (3)$$

где $P_{дв}$ – допустимое внутреннее давление для труб, Н/м^2; $\sigma_т$ – предел пропорциональности материала труб, Н/м^2; K_2 – коэффициент запаса прочности на внутреннее давление.

Зная давление в воздушной подушке, можем определить ее высоту

$$H_I = \frac{P_I}{\gamma_{ж}} \text{ или } H_I = \frac{4G_к}{\pi D_в^2 \gamma_{ж}}, \qquad (4)$$

где H_I – высота воздушной подушки от уровня жидкости в трубах до моста, м.

При дальнейшем наращивании колонны выше моста и опускании ее в скважину высота воздушной подушки изменится и при длине колонны L_2 она составит H_2, давление в воздушной подушке повысится до величины P_2. Положение колонны показано на рис. 1,б.

Высоту воздушной подушки в момент, когда нагрузка на крюке достигает предельной, определим по формуле

$$H_2 = \sqrt{\frac{U q_т P_I H_I}{U q_т \gamma_{ж} + \frac{\gamma_{ж}^2 \cdot \pi D_в^2}{4}}}, \qquad (5)$$

где H_2 – высота воздушной подушки после наращивания труб над мостом и при достижении нагрузки на крюке предельной величины, м.

Давление в воздушной подушке в этот момент достигнет величины P_2

$$P_2 = \frac{P_1 H_1}{H_2}, \qquad (6)$$

где P_2 – давление в воздушной подушке при высоте подушки H_2, Н/м^2.

Длина приращения колонны над цементным мостом

$$\Delta L_1 = \frac{G_y - \gamma_{ж} \frac{\pi D^2 в}{4} (H_1 - H_2)}{q_т U}, \qquad (7)$$

где ΔL_1 – суммарное максимальное приращение колонны над мостом, которое может быть произведено после снижения нагрузки на первом этапе до нуля, м;

$$G_y = G_к = G_1 = L_1 U q_т .$$

Если на первом этапе опущена колонна весом меньше G_y, т.е. $G_к < G_y$, то высота воздушной подушки в момент, когда нагрузка на крюке достигнет предельной, определится по формуле

$$H_2 = -\frac{G_y - G_к}{2(U q_т + q_{ж})} + \sqrt{\frac{(G_y - G_к)^2}{4(q_т U + q_{ж})^2} + \frac{q_т U P_1 H_1}{\gamma_{ж}(q_т U + q_{ж})}}, \qquad (5')$$

где $q_{ж} = \frac{\pi D_в^2}{4} \gamma_{ж}$ вес жидкости в одном погонном метре труб, Н.

Если в формуле (4) приняли $G_к$ предельным и после наращивания колонны над мостом длиной ΔL_1 она не достигнет забоя скважины (т.е. L_2 меньше глубины скважины, рис.1, б), то необходимо провести дополнительную подкачку воздуха в воздушную подушку, снизить вес на крюке и нарастить еще колонну. Если и при вторичной подкачке забой не будет достигнут подкачки производят столько раз, сколько это необходимо, пока колонну не опустят до забоя. Параметры воздушной подушки (высоту и давление) при повторной закачке определим следующим образом. Наибольшее снижение веса на крюке, которое можно получить при повторной закачке воздуха в воздушную подушку, определим как вес всей колонны труб в скважине, т.е.

$$G_2 = q_т U (L_1 + \Delta L_1) = q_т U L_2, \qquad (8)$$

где G_2 – вес труб в жидкости, находящихся в скважине после первого наращивания над мостом в момент, когда нагрузка на крюке вновь достигла предельной, Н;
L_2 – общая длина колонны, опущенной в скважину, м.

Высота воздушной подушки при повторной закачке воздуха

$$H_{II} = \frac{4 q_T U L_2}{\pi D_B^2 \gamma_{ж}}, \qquad (9)$$

где H_{II} – высота воздушной подушки, которую необходимо создать, чтобы снизить нагрузку на крюке до нуля, м.

Для получения такой высоты подушки в ней необходимо создать давление P_{II}, определяемое по формуле

$$P_{II} = \frac{4 q_T U L_2}{\pi D_B^2} + \gamma_{ж} \Delta L_1, \qquad (10)$$

где P_{II} – конечное давление в воздушной подушке при повторной закачке воздуха, Н/м^2.

Вторичная подкачка позволит нарастить над мостом еще некоторую длину колонны ΔL_2, после чего нагрузка на крюке достигнет предельной, высота воздушной подушки уменьшится до H_3, а давление в ней повысится до P_3. Параметры измененной воздушной подушки определяются по следующим формулам. Измененная высота воздушной подушки после наращивания длины колонны ΔL_2

$$H_3 = \sqrt{\frac{U q_T P_{II} H_{II}}{U q_T \gamma_{ж} + \frac{2\pi \cdot \pi D_B^2}{4}}}, \qquad (11)$$

где H_3 – высота воздушной подушки при достижении на крюке предельной нагрузки, м.

Давление в воздушной подушке определим из соотношения $P_3 H_3 = P_{II} H_{II}$

$$P_3 = \frac{P_{II} H_{II}}{H_3}, \qquad (12)$$

где P_3 – давление в воздушной подушке после создания в ней давления P_{II} и наращивания труб длиной ΔL_2 над мостом, Н/м^2.

Длина возможного приращения колонны над мостом после повторной закачки воздуха

$$\Delta L_2 = \frac{G_y - \frac{\gamma_{ж} \pi D_в^2}{4}(H_{II} - H_з)}{q_т}. \qquad (13)$$

В формуле (13) G_y – допустимая заданная нагрузка на крюке.

При последующих подкачках высота воздушной подушки H_i, необходимое давление при полном (или заданном) снижении нагрузки на крюке P_i, величина возможного приращения колонны ΔL_i, а также измененные впоследствии величины высоты воздушной подушки H_n и давления в ней P_n после определенного наращивания обсадной колонны определяются по формулам (9)–(13), но вместо величины L_2 подставляется общая длина колонны в скважине до следующей подкачки воздуха; вместо ΔL_1 – длина колонны над мостом, т.е. $\Sigma \Delta L$; вместо P_{II} – конечное давление последней подкачки воздуха P_{i-1}; вместо H_{II} – конечная высота воздушной подушки при последней закачке воздуха H_{i-1}.

При определении ΔL_i в формуле (13) вместо H_{II} подставляют H_i, вместо $H_з - H_n$. При последней закачке воздуха может не потребоваться максимально возможное снижение нагрузки на крюке. Поэтому высота воздушной подушки и давление в ней, исходя из допустимого веса на крюке, определяются по следующим формулам:

$$H_i = -\frac{\Delta L_{i-1}}{2} + \sqrt{\frac{\Delta L_{i-1}^2}{4} + \frac{P_{заб} H_{заб}}{\gamma_{ж}}}, \qquad (14)$$

$$P_i = \frac{P_{заб} H_{заб}}{H_i}, \qquad (15)$$

где H_i – необходимая высота воздушной подушки при последней закачке воздуха, м; P_i – давление в воздушной подушке, необходимое для создания высоты подушки H_i, Н/м^2; ΔL_{i-1} – длина опущенной колонны над

мостом до последней закачки воздуха, м; $P_{заб}$ – давление в воздушной подушке в конечном положении колонны, Н/м^2; $H_{заб}$ – высота воздушной подушки в конечном положении колонны, м.

Промежуточное значение высоты воздушной подушки $H_{пр}$ между двумя закачками определяется по формуле (14), но вместо $H_{заб}$ $P_{заб}$ подставляют $P_i H_i$, а вместо ΔL_{i-1} фактическую длину опущенной над мостом колонны на данный момент.

Необходимое количество воздуха для закачки в воздушную подушку на устье

$$V_I = \frac{\pi}{4} D_в^2 H_I C_{pI}, \qquad (16)$$

где V_I – объем воздуха на всасе компрессора, м^3; C_{pI} – безразмерный коэффициент, численно равный степени сжатия воздуха в воздушной подушке.

Время закачки воздуха T, ч, компрессорами определится по формуле

$$T = \frac{V_I}{60 K Q_к m}, \qquad (17)$$

где $Q_к$ – производительность компрессора, м^3/мин; K – коэффициент подачи воздуха, учитывающий потери в системе обвязки; m – количество одновременно работающих компрессоров.

Количество воздуха, которое необходимо закачать на последующих ступенях

$$V_i = \frac{\pi}{4} D_в^2 (H_i C_{pi} - H_{i-1} C_{pi-1}), \qquad (18)$$

где C_{pi} и C_{pi-1} – безразмерные коэффициенты, численно равные степени сжатия воздуха в воздушной подушке в конце данного и предыдущего этапов закачки; H_{i-1} – высота воздушной подушки, созданная на предыдущем этапе закачки, м.

Время работы компрессоров при i -той закачке воздуха определится формулой

$$T_i = \frac{V_i}{60 K Q_к m} \qquad (19)$$

Выше изложена методика расчета для наиболее общего случая, когда вес колонны значительно превосходит грузоподъемность буровой установки и спуск может быть произведен на одной воздушной подушке с промежуточными подкачками воздуха в нее.

В практике может иметь место ряд частных случаев, методика расчета которых будет несколько отличаться. Рассмотрим ряд таких случаев.

I. Колонна опускается до забоя при разовой закачке воздуха.

II. Давление в воздушной подушке ограничено допустимым внутренним давлением для труб.

III. Высота воздушной подушки на 1 этапе ограничена длиной колонны.

1.1. Случай 1. Колонна опускается до забоя при разовой закачке воздуха. Когда превышение веса колонны над грузоподъемностью незначительное, может оказаться, что достаточно одной закачки воздуха на устье и определенного, но не максимального снижения нагрузки на крюке. В таком случае параметры воздушной подушки определяют следующим образом. В положении колонны, показанном на рис.2, в, находят необходимую высоту воздушной подушки

$$H_{заб}=\frac{4(G_0 U-G_y)}{\pi D_в^2 \gamma_{ж}}, \qquad (20)$$

где G_0 – вес колонны длиной L_0, Н; L_0 – глубина скважины, м.

Определяют давление в воздушной подушке $P_{заб}$ по формуле

$$P_{заб}=(H_{заб}+\Delta L_{заб})\gamma_{ж}, \qquad (21)$$

где $\Delta L_{заб}$ – длина колонны от цементного моста до устья, м.

$$\Delta L_{заб}=L_0-L_1. \qquad (22)$$

$P_{заб} H_{заб} \frac{\pi D_в^2}{4}$ – объем воздуха в воздушной подушке, приведенный к атмосферным условиям. Этот объем

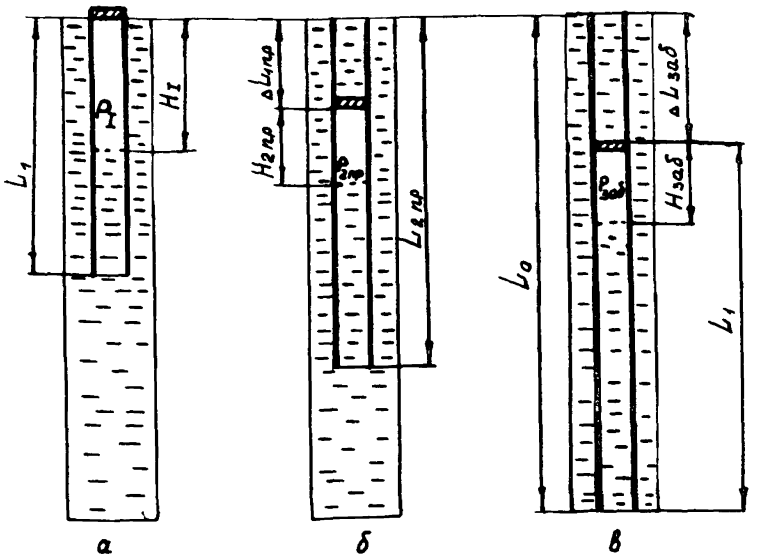


Рис.2.

воздуха (без учета температурного влияния) должен быть закачан на устье скважины, т.е. сохраняется зависимость

$$P_I H_I = P_{заб} H_{заб}. \qquad (23)$$

Так как

$$P_I = H_I \gamma_{эк}, \qquad (24)$$

то

$$H_I = \sqrt{\frac{P_{заб} H_{заб}}{\gamma_{эк}}}. \qquad (25)$$

Зная забойные параметры воздушной подушки, определенные по формулам (20) и (21), определим необходимую высоту воздушной подушки при закачке на устье. Контрольной величиной высоты воздушной подушки является давление в ней P_I, определяемое по манометру на соединительной головке (рис.2, а).

Величина выталкивающей силы воздушной подушки в забойном положении колонны (рис.2, в) должна быть не менее разности веса колонны в скважине, с учетом облегчения металла в жидкости и грузоподъемности буровой установки

$$G_{г\,заб} = G_0 U - G_у \,. \qquad (26)$$

Величина выталкивающей силы воздушной подушки в конце закачки воздуха на устье

$$G_{гI} = H_I q_{ж} \,, \qquad (27)$$

где $G_{г\,заб}$, $G_{гI}$ – выталкивающая сила воздушной подушки в конечном положении обсадной колонны и при закачке воздуха на устье, Н.

1. Если $G_{гI} > G_к U$, то колонна не может быть опущена до забоя при одной закачке воздуха.

2. При $P_I > P_{дв}$, т.е. когда необходимое давление в воздушной подушке больше допустимого внутреннего давления для труб, имеет место II случай.

3. Если $H_I > L_I$, т.е. высота воздушной подушки больше длины колонны опущенной буровой установкой на первом этапе, то колонна не может быть опущена до забоя при одной закачке, случай Ш.

Промежуточные значения величины давления в воздушной подушке, высоты ее и контролируемой по индикатору веса буровой установки, величины выталкивающей силы воздушной подушки, например, в положении рис.2, б, определятся по формулам

$$P_{2пр} = (H_{2пр} + \Delta L_{1пр})\gamma_{ж}; \qquad (28)$$

$$G_{г1пр} = H_{2пр} q_{ж}; \qquad)29)$$

$$H_{2пр} = \frac{\Delta L_{1пр}}{2} + \sqrt{\frac{\Delta L_{1пр}^2}{4} + \frac{P_{заб} H_{заб}}{\gamma_{ж}}}, \qquad (30)$$

где $\Delta L_{1пр}$ – длина колонны в данный момент над мостом, м; $P_{2пр}$ – промежуточное давление в воздушной подушке после спуска над мостом труб, $\Delta L_{1пр}$, Н/м^2; $H_{2пр}$ – высота воздушной подушки при погружении

моста в скважину на глубину $\Delta L_{1пр}$, м; $G_{г1пр}$ – выталкивающая сила воздушной подушки при погружении моста в скважину на глубину $\Delta L_{1пр}$, Н.

Для практических целей рекомендуется строить графики изменения нагрузки на крюке буровой установки по глубине спуска колонны, рассчитанные по приведенным выше формулам.

Сравнение расчетных данных с фактическими данными нагрузки на крюке, отсчитываемыми по индикатору веса буровой установки, позволит судить о состоянии скважины и несущей способности воздушной подушки.

1.2. Случай II. Давление в воздушной подушке ограничено допустимым внутренним давлением для труб. В этом случае P_I определяется по формуле

$$P_I = P_в = \frac{2\delta\sigma_т}{K_2 D_н}, \qquad (31)$$

а высота воздушной подушки

$$H_I = \frac{2\delta\sigma_т}{K_2 D_н \gamma_ж}. \qquad (32)$$

$H_2, P_2, \Delta L_1$, и G_2 определяют по формулам (5), (6), (7) и (8) соответственно.

Давление на втором и последующих этапах закачки определяют по выражениям

$$P_{II} = (H_I + \Delta L_1)\gamma_ж; \qquad (33)$$

$$P_i = P_I + \Delta L_i \gamma_ж. \qquad (34)$$

Высота воздушной подушки при всех последующих подкачках при погружении моста в скважину будет равна H_I, она определяет перепад давления в трубах и за ними, принятый одинаковым и равным P_I, т.е.

$$H_{II} = H_{III} = H_i = H_I. \qquad (35)$$

Измененные величины высоты воздушной подушки и давления в ней после опускания моста определятся по

тем же формулам (11) и (12) соответственно. Приращение колонны после второй подкачки воздуха

$$\Delta L_2 = \frac{(H_3 - H_2) q_{ж}}{q_т U}. \qquad (36)$$

Приращение колонны над мостом после каждой последующей закачки воздуха будет определяться по формуле (36), если подставить вместо H_3 и H_2 высоту воздушной подушки после спуска определенной длины колонны и высоту воздушной подушки до очередной подкачки

$$\Delta L_i = \frac{(H_n - H_{n-1}) q_{ж}}{q_т U}. \qquad (37)$$

Общее приращение колонны над мостом определится по формуле

$$\Sigma \Delta L_i \leqslant \frac{H_I q_{ж}}{q_т U}. \qquad (38)$$

Так как $H_{заб} < H_I$ практически нецелесообразно добиваться предельно возможного приращения колонны над мостом в данном случае. Если при этом колонна не допущена до забоя, то целесообразно установить второй мост на устье и продолжить спуск на двух мостах. Такой случай рассмотрен ниже.

1.3. Случай Ш. Высота воздушной подушки на 1 этапе ограничена длиной колонны. Этот случай может быть тогда, когда вес одного погонного метра труб больше веса жидкости, вмещающейся в нем. Высоту воздушной подушки на первом этапе закачки принимают равной длине колонны

$$H_I = L_I. \qquad (39)$$

Давление в воздушной подушке

$$P_I = H_I \gamma_{ж}. \qquad (40)$$

Высоту воздушной подушки и давление в ней в момент достижения предельной нагрузки на крюке после приращения колонны на ΔL_1, определяется по формулам (5) и (6), а величина приращения колонны по формуле (7). Все другие расчетные величины при повторной и

последующих закачках воздуха определяются по формулам (9)-(19).

2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА СПУСКА КОЛОННЫ ПРИ УСТАНОВКЕ ВТОРОГО МОСТА

В ряде случаев технически необходима или целесообразна ликвидация первой воздушной подушки и переход на вторую. После ликвидации первого моста схематичное положение колонны в скважине такое же, как и при установке первого моста и создании первой воздушной подушки. Отличие в том, что грузоподъемность установки меньше, чем вес труб в скважине. Действие веса труб на талевую систему может быть снижено до нуля путем создания определенной высоты воздушной подушки. Для расчета параметров спуска колонны на второй воздушной подушке вначале определяют возможность спуска при одной закачке.

Забойные параметры воздушной подушки до начала спуска колонны определяют по формулам (20) и (21). Зная их и длину колонны перед установкой второго моста определяют давление и необходимую высоту воздушной подушки по формулам (24) и (25). Если выталкивающая сила воздушной подушки, определенная по формуле (27) больше веса труб в жидкости, т.е. если $G_{г12} > L_{1.2} q_т U$, колонна не может быть опущена при одной закачке воздуха на второй воздушной подушке, а потребуются промежуточные подкачки. Необходимую величину давления P_{12} определяют по формуле (2), исходя из максимально возможного снижения, т.е. нагрузку на крюке снижают до нуля. В этом случае $G_к = G_{г.1.2} = L_{1.2} q_т U$.

Высота воздушной подушки $H_{1.2}$ определяется по формуле (4). Здесь $G_к > G_у$, т.е. необходимые снижения веса на крюке больше грузоподъемности буровой установки. (Для отличия параметров воздушных подушек вводился индекс "2". Это означает, что определяемый параметр относится ко второй подушке). Необходимо выдерживать те же условия по величине внутреннего давления, что и при создании первой воздушной подушки. На рис.3 показано положение колонны при опускании ее

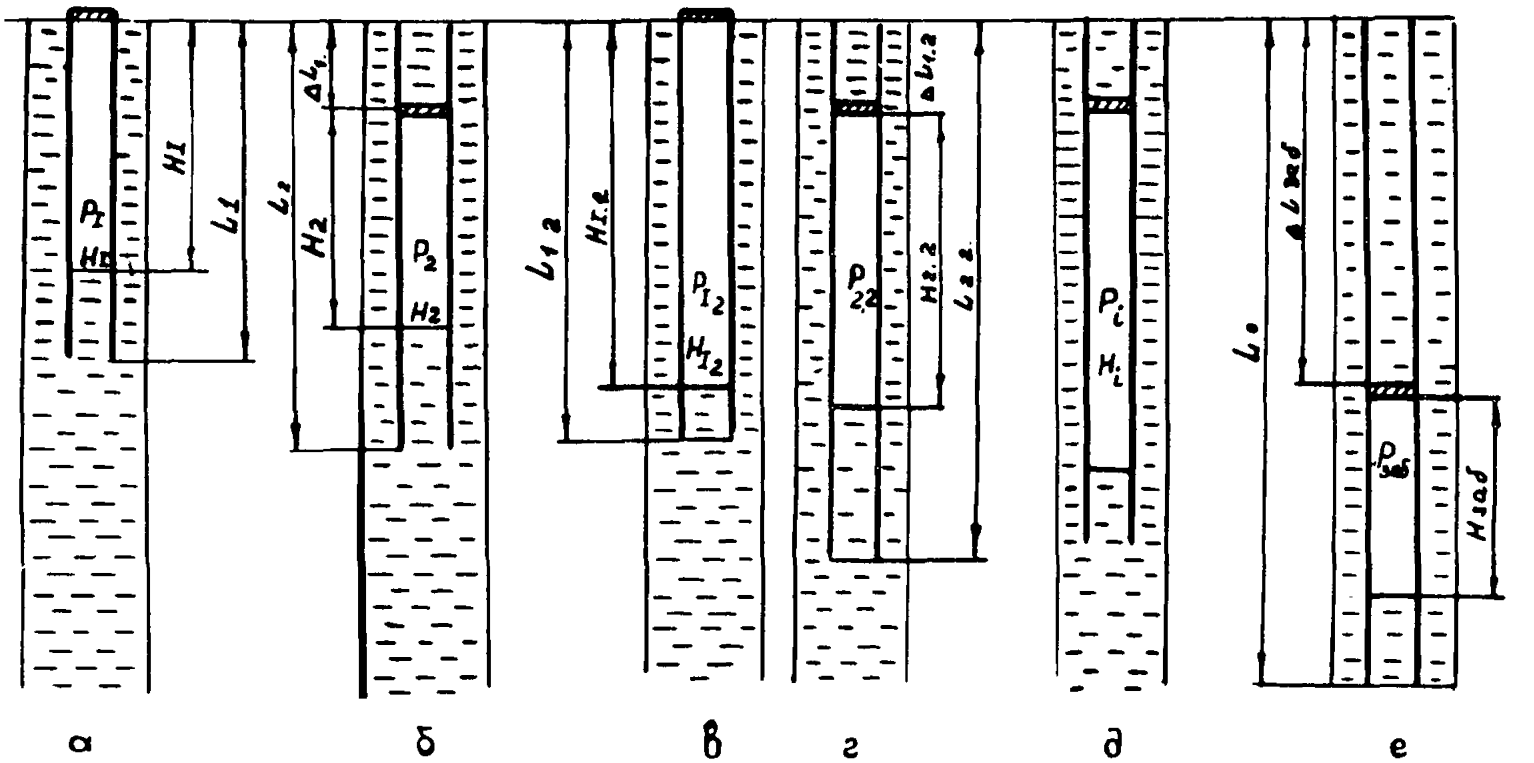


Рис. 3.

на первой и второй воздушных подушках. Возможное приращение колонны определится по формуле (7), в которой

$G_у$ – грузоподъемность буровой установки, Н;

H_I – заменяется на $H_{1.2.}$, а H_2 заменяется на $H_{2.2.}$

т.е. формула примет вид

$$\Delta L_{1.2} = \frac{G_у - \gamma_ж \frac{\pi D_б^2}{4}(H_{I.2.} - H_{2.2})}{q_т U}. \qquad (41)$$

Высота воздушной подушки, соответствующая максимально возможному приращению колонны после первой закачки воздуха до давления $P_{1.2.}$, определится по формуле

$$H_{2.2.} = \frac{G_{1.2.} - G_у}{2(U q_т + q_ж)} + \sqrt{\left(\frac{G_{1.2} - G_у}{2(U q_т + q_ж)}\right)^2 + \frac{U q_т P_{1.2} H_{1.2}}{\gamma_ж (U q_т + q_ж)}} \qquad (42)$$

Давление в воздушной подушке, соответствующее погружению моста на $\Delta L_{1.2.}$, определится по формуле (6).

Дальнейший расчет параметров производится по формулам (9) – (13) с подстановкой соответствующих значений давления, высоты воздушной подушки и приращения колонны над мостом.

Формулы (41) и (42) справедливы и при снижении на первом этапе нагрузки на крюке не до нуля.

3. МЕТОДИКА РАСЧЕТА СПУСКА КОЛОННЫ НА ДВУХ ВОЗДУШНЫХ ПОДУШКАХ ПРИ УРОВНЕ ЖИДКОСТИ В СКВАЖИНЕ НА УСТЬЕ

В некоторых случаях, когда отсутствует компрессор необходимого давления или допустимое внутреннее давление для труб ниже, чем необходимое рабочее при спуске колонны, и в ряде других обстоятельств бывает целесообразно, не ликвидировав предыдущего моста и воздушной подушки, установить новый мост и создать вторую подушку. При этом одновременно будут работать две воздушные подушки. В первой объем воздуха останется неизменным с момента установки второго

моста, а во второй объем воздуха и высота воздушной подушки могут увеличиваться путем последующих подкачек воздуха. Ограничением высоты воздушной подушки будет расстояние между мостами.

Методика расчета наиболее рационального использования действия воздушных подушек следующая. Общее снижение нагрузки на крюке $G_{г.заб}$ в забойном положении колонны

$$G_{г.заб} = G_0 - G_y = (G_{г.1.заб.} + G_{г.2.заб}), \quad (43)$$

где $G_{г.1заб}$ – конечное снижение веса колонны от действия первой воздушной подушки, Н; $G_{г2заб.}$ – конечное снижение веса колонны от действия второй воздушной подушки, Н.

При спуске колонны на первой воздушной подушке необходимо максимально использовать ее возможности, так как возможности второй ограничены. Расчет спуска на первой воздушной подушке сначала ведут по формулам (1)–(15). Когда возможности первой воздушной подушки исчерпаны, колонна будет иметь положение, показанное на рис. 4, а. В этом положении нагрузка на крюке буровой установки максимальная и дальнейшее приращение колонны будет происходить только за счет второй воздушной подушки.

Параметры первой воздушной подушки в забойном положении (рис. 4, д)

$$H_{1заб} = -\frac{L_0 - L_1}{2} + \sqrt{\frac{(L_0 - L_1)^2}{4} + \frac{P_n H_n}{\gamma}}; \quad (44)$$

$$P_{1заб.} = (L_0 - L_1 + H_{1заб})\gamma_{ж}; \quad (45)$$

$$G_{г1заб.} = H_{1заб.} \cdot q_{ж}. \quad (46)$$

В промежуточных положениях б, в, г (рис. 4) параметры воздушной подушки определятся по формулам

$$H_{n+i} = -\frac{\Delta L_{n+i}}{2} + \sqrt{\frac{\Delta L_{n+i}^2}{4} + \frac{P_n H_n}{\gamma_{ж}}}; \quad (44')$$

Рис. 4.

$$P_{n+i} = (\Delta L_{n+i} + H_{n+i})\gamma_{ж}; \qquad (45')$$

$$G_{гn+i} = H_{n+i} \cdot q_{ж}. \qquad (46')$$

Зная необходимое общее снижение веса колонны в конечном положении и $G_{г1заб}$, определим $G_{г2заб}$,

$$G_{г2заб} = G_0 - (G_у + G_{г1заб}). \qquad (43')$$

Высота второй воздушной подушки

$$H_{2заб} = \frac{G_{г2заб}}{q_ж}, \qquad (47)$$

а давление в ней

$$P_{2заб} = (L_0 - L_n + H_{2заб})\gamma_{ж}. \qquad (48)$$

По формулам, аналогичным (23)-(25), определим первоначальные параметры второй воздушной подушки. Если H_{12} окажется большим ΔL_n, то колонна не может быть опущена на второй воздушной подушке при одной закачке воздуха. Если выталкивающая сила второй воздушной подушки при $H_{1.2.}$ больше веса колонны на крюке в положении (рис.4), т.е. если

$$G_{г1.2.} > G_к = G_у \qquad \text{или} \qquad P_{з.в.} < P_{1.2.},$$

спуск будет производиться при ступенчатой закачке.

Если $H_{1.2} \leqslant \Delta L_n$, спуск колонны будет произведен при разовой закачке воздуха, и промежуточные значения параметров воздушной подушки и ее действия определятся по формулам (44')-(46'). Вместо $P_n, H_n, \Delta L_{n+i}$ необходимо подставить соответствующие начальные значения параметров второй воздушной подушки $P_{1.2.}$ и $H_{1.2.}$ и текущее приращение длины колонны над вторым мостом. При ступенчатой закачке первоначальные параметры определяют по методике, изложенной выше, для первого моста с учетом ограничений, изложенных в пп. 1.1-1.3.

В связи с тем, что приращение веса на крюке про-

исходит за счет уменьшения высоты одновременно обеих воздушных подушек и прибавления длины колонны, величину приращения колонны между закачками воздуха $\Delta L_{1.2.}$ и последующие приращения для упрощения расчетов определят путем построения графиков $G_{r\Pi+i}=f(\Delta L_{n+i})$, для первой и второй воздушных подушек.

Очередную подкачку воздуха необходимо производить при длине колонны над вторым мостом, когда сумма ($G_{r1пр}+G_{r2пр}$) выталкивающих сил обеих подушек снизится до разности ($G_{пр}-G_{у}$) веса колонны в скважине и грузоподъемности буровой установки, где $G_{r1пр}$, $G_{r2пр}$, $G_{пр}$ – промежуточные значения выталкивающей силы, воздушных подушек и общего веса колонны в скважине. Параметры воздушной подушки при последней закачке определятся формулами, аналогичными формулам (14) и (15), с подстановкой соответствующего приращения над мостом на этот момент закачки.

4. МЕТОДИКА РАСЧЕТА СПУСКА КОЛОННЫ ПРИ УРОВНЕ ЖИДКОСТИ В СКВАЖИНЕ НИЖЕ УСТЬЯ

В ряде случаев бурение скважины происходит с поглощением промывочной жидкости и уровень на момент спуска колонны и в процессе его практически остается неизменным. В этом случае методика расчета отличается от изложенной в разд. 1–3.

Длина нижней части колонны до установки цементного моста может быть определена по формуле (1), которая при замене выражения $\pi(\mathcal{D}_н-\delta)\delta\gamma_{тр}$ в знаменателе на $q_{vт}$, будет иметь вид

$$L_1=\frac{G_1}{q_{vт}U}, \qquad (49)$$

Выражение (49) не учитывает уровень жидкости в скважине. При учете уровня поправку на длину колонны, можно определить как

$$L_{1отр}=h_c\frac{\gamma_{ж}}{\gamma_{тр}}, \qquad (50)$$

где $L_{1отр}$ – "отрицательная поправка" на длину ко-

лонны, м; h_c – глубина статического уровня в скважине, м.

Приблизительно $L_{1.ОТР.} = 0{,}13 \div 0{,}15 h_c$.

Как и при спуске колонны в скважину, заполненную до устья, могут иметь место разные случаи: колонна опускается до забоя при разовой закачке воздуха или нескольких подкачках, при ликвидации предыдущего моста и установке нового, при нескольких мостах и нескольких одновременно работающих воздушных подушках.

Рассмотрим наиболее общие случаи, когда колонна опускается до забоя на одной воздушной подушке при разовой и ступенчатой закачке воздуха и спуск колонны на второй воздушной подушке.

4.1. Колонна опускается до забоя на одной воздушной подушке при разовой закачке воздуха. В положении, показанном на рис. 5, а, опущена колон-

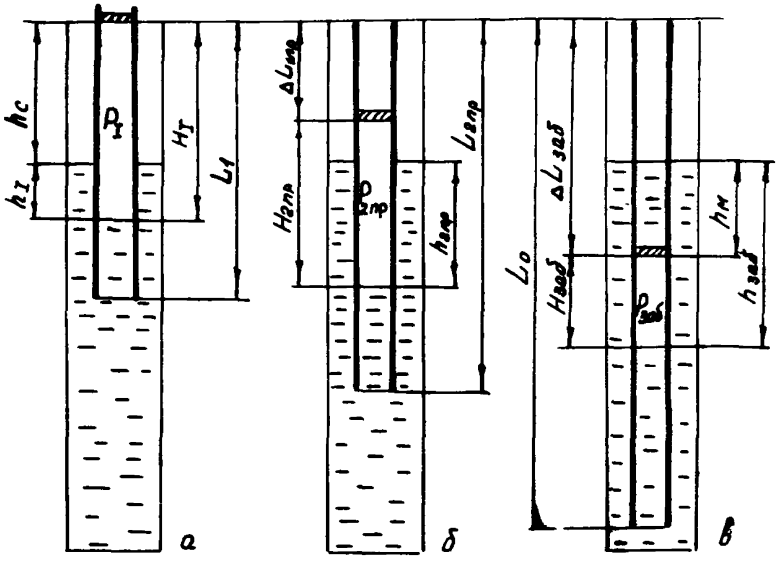


Рис. 5.

на максимально возможной длины, и нагрузка на крюке буровой установки достигла предельной (до закачки воздуха). В положении 5, в колонна достигла забоя. Вес труб в скважине

$$G_0 = L_1 q_т U + \gamma_ж \frac{\pi D_б^2}{4} H_{заб} . \qquad (51)$$

Наибольшее снижение нагрузки (выталкивающая сила воздушной подушки $G_{гзаб}$) на крюке при касании башмаком забоя необходимо

$$G_{гзаб} = H_{заб} \frac{\pi D_б^2}{4} \gamma_ж . \qquad (52)$$

Это снижение равно приращению веса на крюке

$$\Delta L_{заб} q_т U = H_{заб} \frac{\pi D_б^2}{4} \gamma_ж$$

или необходимая высота воздушной подушки в забойных условиях

$$H_{заб} = \frac{\Delta L_{заб} q_т U}{q_{ж}} ; \qquad (53)$$

$$\Delta L_{заб} = L_0 - L_1 . \qquad (54)$$

Давление в воздушной подушке при забойных условиях определим как

$$P_{заб} = (\Delta L_{заб} + H_{заб} - h_c) \gamma_{ж} . \qquad (55)$$

Одним из условий спуска колонны при одной закачке воздуха является равенство объемов воздуха в начале и в конце спуска, $P_I H_I = P_{заб} H_{заб}$.

Из рис. 5,а имеем

$$P_I = h_I \gamma_ж ; \qquad (56)$$

$$H_I = h_c + h_I , \qquad (57)$$

h_I определяем следующим образом:

$$h_I = -\frac{h_c}{2} + \sqrt{\frac{h_c^2}{4} + \frac{P_{заб} H_{заб}}{\gamma_ж}} , \qquad (58)$$

где h_I - высота погружаемой части воздушной подуш -

ки под уровень на первом этапе закачки, м.

Начальная высота воздушной подушки

$$H_I = \frac{h_c}{2} + \sqrt{\frac{h_c^2}{4} + \frac{P_{заб} H_{заб}}{\gamma_ж}} . \quad (59)$$

Промежуточные параметры воздушной подушки при известных первоначальных и величине приращения колонны над мостом $\Delta L_{1пр}$ определяются по формулам

$$H_{2пр} = \frac{h_c - \Delta L_{1пр}}{2} \sqrt{\frac{(h_c - \Delta L_{1пр})^2}{4} + \frac{P_I H_I}{\gamma_ж}} ; \quad (60)$$

$$P_{2пр} = H_{2пр} \gamma_ж ; \quad (61)$$

$$h_{2пр} = H_{2пр} + \Delta L_{1пр} - h_c . \quad (62)$$

При достижении мостом уровня жидкости в скважине, т.е. при

$$\Delta L_{1м} = h_c , \quad (63)$$

уравнение (60) примет вид

$$H_{2м} = \sqrt{\frac{P_I H_I}{\gamma_ж}} , \quad (64)$$

где $H_{2пр}, \Delta L_{1пр}, h_{2пр}, P_{2пр}$ – промежуточные значения высоты воздушной подушки, м, приращения колонны над мостом, м, величины погружения под уровень воздушной подушки, м, и давления в ней при приращении колонны над мостом, Н/м^2, соответственно; $H_{2м}$ – высота воздушной подушки при достижении мостом уровня жидкости в скважине, м.

Из формулы (62) следует, что с ростом $\Delta L_{1пр}$ по абсолютной величине до h_c, $h_{2пр}$ растет

$$G_{гпр} = h_{2пр} q_ж , \quad (65)$$

т.е. выталкивающая сила с погружением моста растет до момента, когда $\Delta L_{1пр} = h_c$,

$$G_{г2м} = H_{2м} q_ж . \quad (66)$$

При $\Delta L_{1пр} > h_c$ как это следует из формулы (60),

$H_{2пр}$ уменьшается, т.е. уменьшается выталкивающая сила воздушной подушки.

Существует такая взаимосвязь между весом одного погонного метра труб и весом жидкости в одном погонном метре труб. Нагрузка на крюке при спуске труб будет уменьшаться, если

$$\frac{q_т U}{q_ж} < \frac{h_{2пр} - h_1}{\Delta L_{1пр}} \qquad (67)$$

или увеличиваться, если

$$\frac{q_т U}{q_ж} > \frac{h_{2пр} - h_1}{\Delta L_{1пр}}. \qquad (68)$$

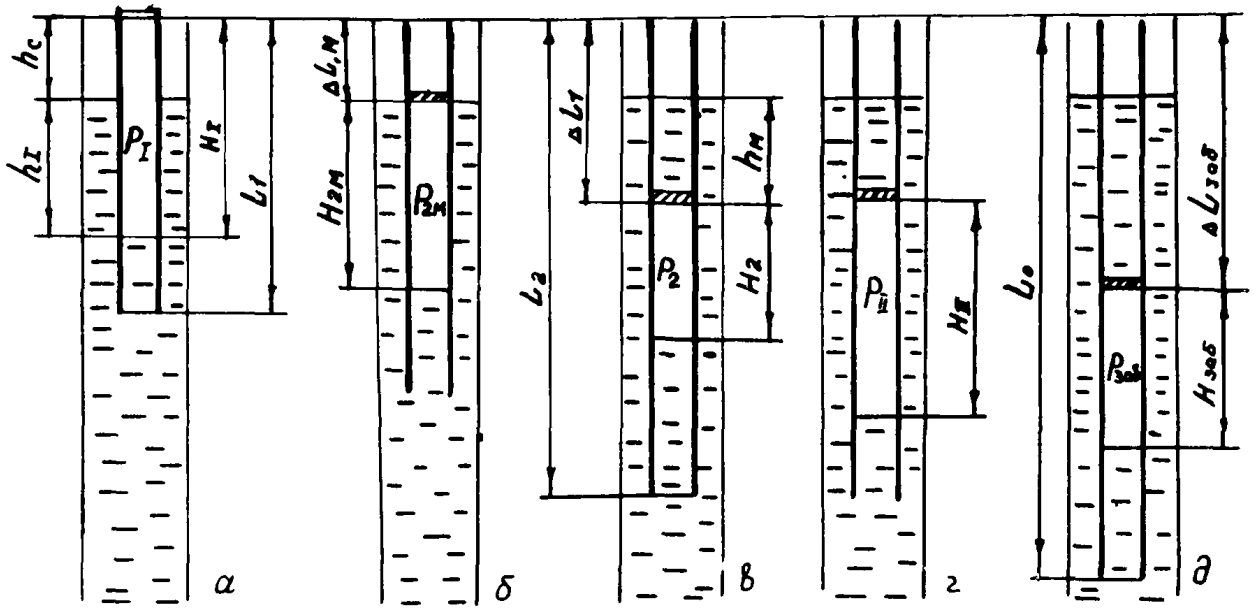
Если определяемые по формулам (61) и (66) величины $P_{2пр}$ или $G_{т2м}$ больше соответственно допустимого внутреннего давления для труб или веса труб в скважине, то колонна не может быть опущена до забоя при одной закачке воздуха и методика расчета параметров в этом случае будет иная. Она изложена ниже. Спуск колонны будет производиться при ступенчатой закачке воздуха или цикличной.

4.2. Колонна опускается до забоя на воздушной подушке при ступенчатой закачке воздуха. Как и в предыдущем случае, длина колонны до установки моста определится формулой (49), а отрицательная поправка на эту длину формулой (50).

Наиболее общим случаем, обусловливающим ступенчатую закачку воздуха, является ограничение величины выталкивающей силы воздушной подушки в положении, изображенном на рис.6,б, когда цементный мост опускается до уровня жидкости в скважине.

Выталкивающая сила не может быть больше веса труб в скважине, т.е. должно выполняться условие

$$G_{т2м} \leqslant (L_1 + h_c)\, q_т U. \qquad (69)$$



h_c
h_I
P_I
H_I
L_1
а
$\Delta L_{1,M}$
H_{2M}
P_{2M}
б
ΔL_1
L_2
h_M
P_2
H_2
в
P_{II}
H_{II}
г
L_0
$\Delta L_{заб}$
$P_{заб}$
$H_{заб}$
д

Рис. 6.

$$G_{т2м} = \frac{\pi D_б^2}{4} \gamma_ж H_{2м} ;$$

отсюда

$$H_{2м} = \frac{4 q_т U (L_1 + h_c)}{\pi D_б^2 \gamma_ж} \quad (70)$$

$$P_{2м} = H_{2м} \gamma_ж = \frac{4 q_т U (L_1 + h_c)}{\pi D_б^2} . \quad (71)$$

$$(72)$$

Исходя из равенства $P_I H_I = P_{2м} H_{2м}$ определяем начальные параметры воздушной подушки P_I и H_I

$$P_I = h_I \gamma_ж ; \quad (73)$$

$$h_I = -\frac{h_c}{2} + \sqrt{\frac{h_c^2}{4} + H_{2м}^2} ; \quad (74)$$

$$H_I = h_I + h_c ;$$

$$H_I = \frac{h_c}{2} + \sqrt{\frac{h_c^2}{4} + H_{2м}^2} . \quad (75)$$

Возможное приращение колонны труб над мостом ΔL_1 до достижения нагрузки на крюке, равной грузоподъемности буровой установки $G_у$, определится как

$$\Delta L_1 = \frac{H_2 q_ж}{q_т U} , \quad (76)$$

где H_2 – высота воздушной подушки в момент, когда нагрузка на крюке достигла грузоподъемности буровой установки, м.

$$H_2 = \frac{h_c q_т U}{2(q_т U + q_ж)} + \sqrt{\frac{h_c^2 q_т^2 U^2}{4(q_т U + q_ж)^2} + \frac{P_I H_I q_т U}{\gamma_ж (q_т U + q_ж)}} . \quad (77)$$

Давление в воздушной подушке при этом

$$P_2 = (H_2 + \Delta L_1 - h_c) \gamma_ж . \quad (78)$$

Промежуточные значения параметров воздушной подушки – высоту $H_{2пр}$ и давление $P_{2пр}$ можем определить по формулам (60), (61), (62).

Если на первом этапе опущена колонна весом $G_к$ менее грузоподъемности буровой установки $G_у$, то приращение над мостом определится формулой

$$\Delta L_1 = \frac{G_у - q_ж(H_I - H_2)}{q_т U}, \qquad (79)$$

где

$$H_2 = \frac{G_у - G_к + h_c q_т U}{2(q_т U + q_ж)} + \sqrt{\frac{(G_у - G_к + h_c q_т U)^2}{4(q_т U + q_ж)^2} + \frac{P_I H_I q_т U}{\gamma_ж (q_т U + q_ж)}}. \qquad (80)$$

После наращивания над мостом колонны длиной ΔL_1, нагрузка на крюке достигает предельной и для продолжения спуска необходимо произвести повторную закачку воздуха. Параметры воздушной подушки зависят от того, будет ли колонна доведена до забоя или потребуется последующая закачка воздуха. Если колонна может быть опущена после второй закачки воздуха, то давление в ней и высоту определяют, исходя из забойных параметров воздушной подушки. Если повторная закачка воздуха не последняя, то параметры определяются из условия максимально возможного снижения нагрузки на крюке на этом этапе. Исходя из последнего, высоту воздушной подушки H_{II} (рис. 6, г) на втором этапе закачки воздуха определим по формуле

$$H_{II} = \frac{L_2 q_т U}{q_ж}. \qquad (81)$$

Давление в ней

$$P_{II} = \left(\frac{L_2 q_т U}{q_ж} + \Delta L_1 - h_c\right)\gamma_ж, \qquad (82)$$

где H_{II} и P_{II} – параметры воздушной подушки – высота, м, давление, Н/м^2, на втором этапе закачки воздуха.

Приращение колонны над мостом на этой ступени

$$\Delta L_2 = \frac{G_y - q_ж (H_{II} - H_3)}{q_T U}, \qquad (83)$$

где ΔL_2 – возможное приращение колонны над мостом после повторной закачки воздуха в воздушную подушку, м. H_3 – высота воздушной подушки после наращивания над мостом общей длины колонны $\Delta L_1 + \Delta L_2$ и достижения на крюке предельной нагрузки, м.

По формуле, аналогичной формуле (77), в которой вместо P_I и H_I подставлено P_{II} и H_{II}, определим H_3

$$H_3 = \frac{h_c q_T U}{2(q_T U + q_ж)} + \sqrt{\frac{h_c^2 q_T^2 U^2}{4(q_T U + q_ж)^2} + \frac{P_{II} H_{II} q_T U}{\gamma_ж (q U + q_ж)}}. \qquad (84)$$

Давление в воздушной подушке при этом

$$P_3 = \frac{P_{II} H_{II}}{H_3}. \qquad (85)$$

Если создаваемые параметры H_I, H_{II}, P_I, P_{II} и т.д. и соответствующие длины и приращения колонны $L_1, L_2, \Delta L_1, \Delta L_2$ и т.д. обозначим с индексом i, а измененные параметры – P_2, P_3, H_2, H_3 и т.д. с индексом n, то параметры воздушной подушки при последующих закачках определятся по формулам

$$H_i = \frac{L_i q_T U}{q_ж}, \qquad (86)$$

$$P_i = \frac{L_i q_T U \delta_ж}{q_ж} + \gamma_ж (L_i - L_1 - h_c); \qquad (87)$$

$$\Delta L_i = \frac{G_y - q_ж (H_i - H_n)}{q_T U}; \qquad (88)$$

$$H_n = \frac{h_c q_T U}{2(q_T U + q_ж)} + \sqrt{\frac{h_c^2 q_T^2 U^2}{4(q_T U + q_ж)^2} + \frac{P_i H_i q_T U}{\gamma_ж (q_T U + q_ж)}}; \qquad (89)$$

$$P_n = \frac{P_i H_i}{H_n}. \qquad (90)$$

Если вторая закачка воздуха последняя или i -тая закачка последняя, то расчет ведут следующим образом. Забойная высота воздушной подушки

$$H_{заб}=\frac{(L_o-L_1)q_т U}{q_ж}, \qquad (91)$$

давление в ней

$$P_{заб}=\gamma_ж(H_{заб}+L_o-L_1-h_c). \qquad (92)$$

Давление в воздушной подушке при последней закачке $P_{пос}$ и высота воздушной подушки $H_{пос}$ определяются по зависимостям

$$P_{пос}=(H_{пос}+L_i-L_1-h_c)\gamma_ж; \qquad (93)$$

$$H_{пос}=\frac{h_c-L_i+L_1}{2}+\sqrt{\frac{(h_c-L_i+L_1)^2}{4}+\frac{P_{заб}H_{заб}}{\gamma_ж}}; \qquad (94)$$

где L_i - длина опущенной колонны до последней закачки воздуха, м.

В случае, если соотношение между величинами $h_c, q_т, q_ж, P_I, H_I,$ и $\gamma_ж$ имеет вид

$$h_c^2>\left|\frac{4P_I H_I(q_т U-q_ж}{\gamma_ж q_т U}\right|, \qquad (95)$$

возможное приращение колонны над мостом до достижения нагрузки на крюке, равной грузоподъемности буровой установки, определится формулой

$$\Delta L_1=h_2\frac{q_ж}{q_т U}, \qquad (96)$$

где

$$h_2=\frac{h_c q_т U}{2(q_т U-q_ж)}+\sqrt{\frac{h_c^2 q_т^2 U^2}{4(q_т U-q_ж)^2}+\frac{P_I H_I q_I U}{\gamma_ж(q_т U-q_ж)}}. \qquad (97)$$

Давление в воздушной подушке

$$P_2=\gamma_ж h_2, \qquad (98)$$

а высота ее

$$H_2 = h_2 + h_c - \Delta L_1 . \qquad (99)$$

Если $\sum \Delta L$ превысит h_c, то приращение колонны, давление в воздушной подушке и высота определяются по формулам (76) - (94).

4.3. Случай 1. Величина внутреннего давления ограничена прочностью труб. Если ограничена величина внутреннего давления для труб, а наибольшая разность давления в трубах и за трубами бывает в положении, показанном на рис. 6, б, то принимают

$$P_{2M} = P_{g.6} ; \qquad (100)$$

$$H_{2M} = \frac{P_{g.6}}{\gamma_ж} . \qquad (101)$$

Исходя из зависимостей (56), (57), (73), получим

$$h_I = -\frac{h_c}{2} + \sqrt{\frac{h_c^2}{4} + \frac{P_{g.6}^2}{\gamma_ж^2}} ; \qquad (102)$$

$$H_I = \frac{h_c}{2} + \sqrt{\frac{h_c^2}{4} + \frac{P_{g.6}^2}{\gamma_ж^2}} ; \qquad (103)$$

$$P_I = h_I \gamma_ж . \qquad (104)$$

Дальнейший расчет параметров спуска колонны ведется по изложенной выше методике, причем на всех этапах подкачки воздуха необходимо соблюдать условие

$$P_i - h_M \gamma_ж \leq P_{g.6} . \qquad (105)$$

4.4. Случай II. Высота воздушной подушки ограничена длиной опущенной колонны. В этом случае высоту воздушной подушки принимают равной длине опущенной колонны

$$H_I = L_1 ; \qquad (106)$$

$$P_I = (L_I - h_c)\gamma_ж . \qquad (107)$$

Дальнейший расчет параметров подушки и спуска труб ведется по формулам (76) - (94). При этом исключают - ся случаи, когда h_I менее критического и $G_{Г2М}$ более веса труб в скважине.

4.5. Случай Ш. Давление в воздушной подушке ограничено давлением компрессора. В случае, если

$$P_{2M} < P_к < P_{II} , \qquad (108)$$

расчет ведется по методике, изложенной в п.4.2 и при расчете P_{II} принимают

$$P_{II} = P_к . \qquad (109)$$

Если при этом колонна не опущена до забоя, то первый мост ликвидируют и устанавливают на устье новый.

При низких давлениях компрессора возможно

$$h_c^2 < \left| \frac{4P_I H_I (q_т U - q_ж)}{\gamma_ж q_т U} \right|$$

или

$$h_c^2 > \left| \frac{4P_I H_I (q_т U - q_ж)}{\gamma_ж q_т U} \right| .$$

В первом случае параметры воздушной подушки и длину приращения колонны определяют по формулам (76)-(94), во втором - по формулам (100) - (104).

5. МЕТОДИКА РАСЧЕТА СПУСКА КОЛОННЫ ПРИ УСТАНОВКЕ ВТОРОГО МОСТА

При установке второго моста вес труб в скважине превосходит грузоподъемность буровой установки. Расчетные схемы могут быть двух видов, как и при спуске на первом мосту, и аналогичны схемам, показанным на рис.5 и 6. Первая - в случае опуска колонны при разовой закачке воздуха, вторая - при ступенчатой закачке.

5.1. Колонна опускается при разовой закачке воздуха. Методика расчета и формулы аналогичны приведенным в п. 4.1, но значения величин, входящих в формулы будут иными и определятся расчетной схемой (рис. 5). Высота воздушной подушки в забойных условиях колонны (рис.5, в)

$$H_{2заб}=\frac{G_0-G_у}{q_ж}. \qquad (110)$$

По формуле (55) будет определяться $P_{заб}$.. Все остальные расчетные конечные параметры и промежуточные их значения, а также особенности изменения и взаимосвязи, выраженные в формулах (65)–(68), остаются в силе.

5.2. Колонна опускается при ступенчатой закачке воздуха. Для упрощения формул и расчета не будем учитывать "отрицательную поправку" при расчете веса колонны в скважине. Начальные параметры $P_{1.2.}$ и $H_{1.2.}$ воздушной подушки определим по методике, изложенной в п.4.2, и формулам (69)–(75).

Возможное приращение колонны над мостом

$$\Delta L_{1,2}=\frac{H_{2.2.}q_ж-(G_{1.2.}-G_у)}{q_т U}, \qquad (111)$$

где $H_{2.2}$ – высота воздушной подушки, при которой вес колонны на крюке достиг грузоподъемности буровой установки, м. $G_{1.2.}$ – вес колонны в скважине при установке второго моста, Н.

$H_{2.2}$ определим по формуле

$$H_{2.2}=\frac{G_{1.2.}-G_у+h_c q_т U}{2(q_т U+q_ж)}+\sqrt{\frac{(G_{1.2}-G_у+h_c q_т U)^2}{4(q_т U+q_ж)^2}+\frac{P_{1.2}H_{1.2}q_т U}{\gamma_ж(q_т U+q_ж)}}. \qquad (112)$$

Давление в воздушной подушке, соответствующее погружению моста на $\Delta L_{1.2}$ определится по выражению, аналогичному формуле (78)

$$P_{2.2}=(H_{2\cdot2}+\Delta L_{1.2}-h_c)\gamma_ж. \qquad (113)$$

Промежуточные значения высоты воздушной подушки и давления в ней будут определяться по заданным приращениям длины колонны над мостом из формул (111) и (113).

Если колонна может быть опущена после второй подкачки воздуха, то параметры воздушной подушки на этом этапе рассчитываются исходя из необходимых забойных параметров и условия

$$P_{II} H_{II} = P_{заб} H_{заб}$$

Так как ΔL_{12}, h_c, $P_{2заб}$, $H_{2.заб}$ известны, то левую часть последнего равенства можно представить как $H_{II.2}(H_{II.2}+\Delta L_{12}-h_c)\gamma_ж$, где $(H_{II.2}+\Delta L_{12}-h_c)\gamma_ж = P_{II.2}$.

Тогда

$$H_{II.2} = \frac{h_c-\Delta L_{1.2}}{2} + \sqrt{\frac{(h_c-\Delta L_{1.2})^2}{4} + \frac{P_{2заб} H_{2заб}}{\gamma_ж}} . \quad (114)$$

Если вторая закачка не последняя, то методика расчета параметров воздушной подушки будет аналогична описанной в п.4.2. Измененные параметры воздушной подушки после вторичной и последующих подкачек будут определяться по формулам (112) и (113) с подстановкой в них соответствующих величин P и H.

6. МЕТОДИКА РАСЧЕТА СПУСКА КОЛОННЫ НА ДВУХ ВОЗДУШНЫХ ПОДУШКАХ ПРИ УРОВНЕ ЖИДКОСТИ В СКВАЖИНЕ НИЖЕ УСТЬЯ

Спуск колонны на двух воздушных подушках производят в случаях, описанных в разд.3. Общее необходимое снижение нагрузки на крюке буровой установки в конечном положении определяется формулой (43).

Эффект действия первой воздушной подушки стремятся использовать максимально. Расчет ее параметров производят по методике, изложенной в пп. 4.1, 4.2 и формулам (60) - (62), (69) - (90).

На рис. 7, а показано последнее положение колонны и воздушной подушки, перед установкой второго моста

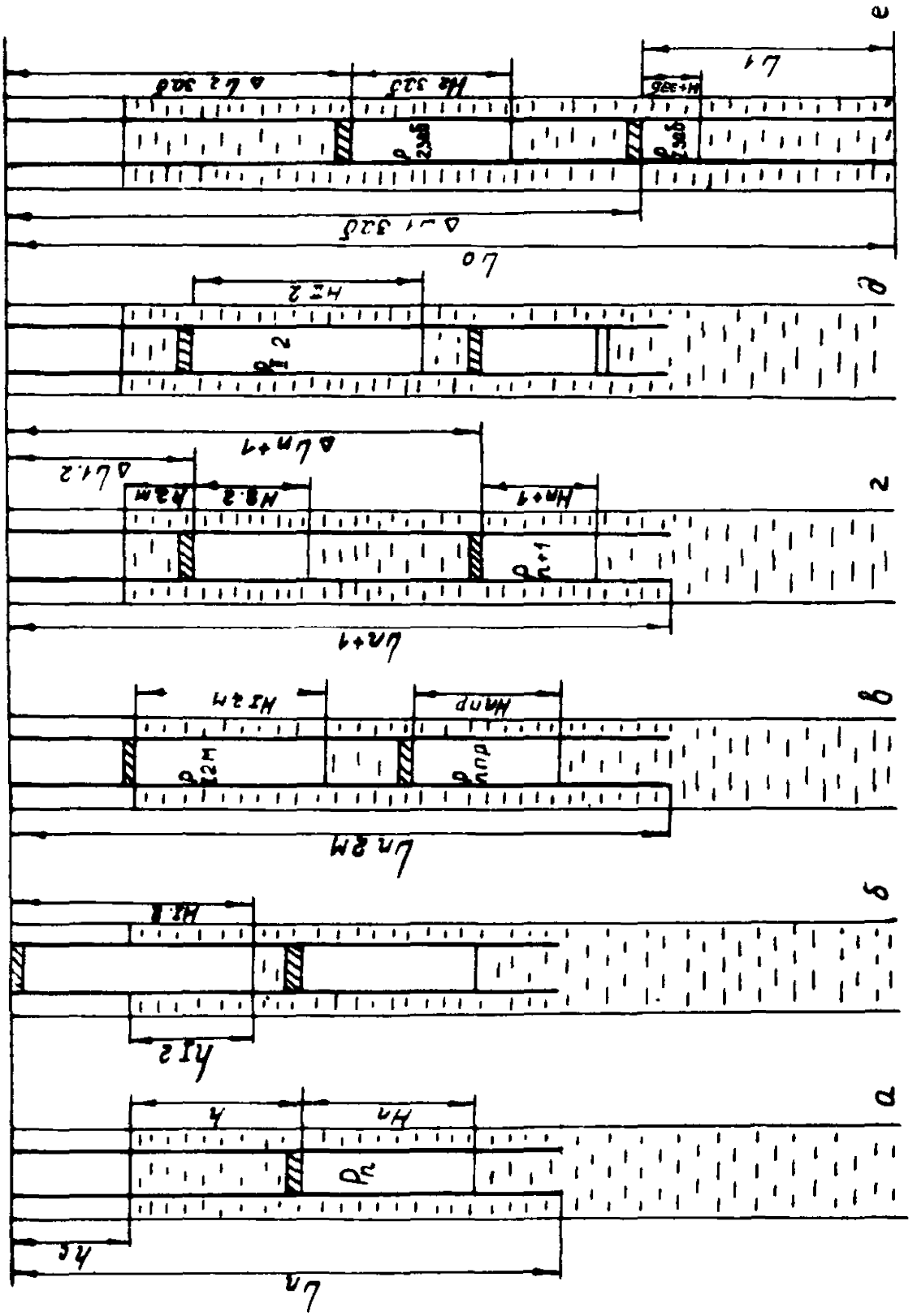


Рис. 7.

и созданием второй воздушной подушки.

По известным $P_п$, $H_п$ и конечному положению колонны и первой воздушной подушки (рис.7, е) определяют ее параметры по формулам

$$H_{1.заб.}=\frac{h_c-\Delta L_{1заб}+\sqrt{(h_c-\Delta L_{1заб})^2+\frac{P_п H_п}{\gamma_ж}}}{2}\quad;\qquad(115)$$

$$P_{1заб.}=(\Delta L_{1заб}-h_c+H_{1.заб})\,;\qquad(116)$$

$$G_{г.1.заб}=H_{1.заб}\,q_ж\,.\qquad(117)$$

Промежуточные параметры воздушной подушки рассчитывают по этим же формулам, подставляя соответствующие величины приращения длины колонны над мостом.

По известному общему необходимому снижению веса колонны от действия воздушных подушек $G_{г.заб}$ и $G_{г.1.заб.}$ из зависимости (43) находят необходимое снижение, которое должна дать вторая воздушная подушка в конечном положении $G_{г.2.заб}$. Высота второй воздушной подушки в забойном положении определяется по формуле (47), а давление в ней по формуле

$$P_{2.заб.}=(L_o-L_п-h_c+H_{2.заб})\gamma_ж\,.\qquad(118)$$

Первоначальные параметры воздушной подушки будут определяться выражениями (56)–(66) с подстановкой в них соответствующих величин, исходя из схемы расчета на рис. 7.

Величина $P_{I.2.}$ (и высота воздушной подушки) ограничены условием суммарной выталкивающей силы обеих воздушных подушек в положении, когда второй мост (рис.7,в) погрузится до уровня жидкости в скважине. Должны соблюдаться условия

$$G_{г.1.пр}+G_{г.2.2м}\leqslant L_{п2м}\,q_т\,U\;;\qquad(119)$$

$$G_{г.2.2м}\leqslant L_{п2м}\,q_т U-G_{г1пр}\,.\qquad(120)$$

$G_{г.1.пр}$ и $G_{г2.2м}$ определим по формулам

$$G_{г1пр}=H_{п\,пр}\,q_ж\quad;\qquad(121)$$

$$G_{г22м} = H_{I2M} q_{ж} . \qquad (122)$$

Если $G_{г2.2м}$, определяемое по формуле (122), не соответствует условию (120), то принимают меньшую величину и по зависимостям

$$H_{I2M} = \frac{G_{г22м}}{q_{ж}} \qquad (123)$$

и

$$P_{I2M} = H_{I2M} \gamma_{ж} \qquad (124)$$

определяют предельные промежуточные параметры воздушной подушки, а по ним и формулам (56) – (58) первоначальные.

В таком случае колонна не может быть опущена при одной закачке. Потребуются подкачки воздуха, в таком количестве, пока не будет достигнуто равенство произведений

$$P_{2заб} H_{2заб} = P_{n+i} \cdot H_{n+i} , \qquad (125)$$

где P_{n+i}, H_{n+i} – соответственно давление в воздушной подушке, Н; и высота ее на данный момент при очередной закачке воздуха, м.

Величину приращения колонны над вторым мостом, при которой будет производиться очередная подкачка воздуха можно определить графически, по методике изложенной в разд.3.

При промежуточных подкачках высота воздушной подушки на каждом этапе ограничивается с одной стороны условием, выраженным формулой (119), т.е. выталкивающая сила обеих воздушных подушек не должна быть больше веса колонны в скважине, а с другой стороны условием формулы (125), т.е. она не должна быть больше необходимой определяемой конечным положением колонны в скважине.

7. РАСЧЕТ ОТВЕРСТИЙ В КОЛОННЕ ДЛЯ ВХОДА ЖИДКОСТИ

После спуска обсадной колонны из последней выпускают воздух. Учитывая, что вход жидкости в обсадную колонну, при установке ее на забой перекрывается, в колонне делают отверстия выше той части, которая погружается в шлам. Отверстия необходимы для заполнения полости колонны под мостом жидкостью находящейся в скважине, в момент выпуска воздуха, чтобы колонну не деформировало наружным давлением жидкости. Скорость заполнения колонны жидкостью должна соответствовать скорости выхода воздуха, а следовательно, диаметр отверстий для входа жидкости в колонну должен быть в определенной зависимости от отверстия для выпуска воздуха.

Скорость истечения воздуха через определенное отверстие определяют по формуле Сен-Венана

$$v=\sqrt{2\frac{k}{k-1}RT\left[1-\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]}, \qquad (126)$$

где v – скорость истечения газа, м/сек; k – адиабатическая постоянная газа (для воздуха k = 1,405); P_1 – давление газа в сосуде, Н/м^2; P_2 – давление газа на выходе, Н/м^2 (при выпуске в атмосферу оно равно атмосферному давлению); R – удельная газовая постоянная (для воздуха R =287 Дж/кг · К); Т – абсолютная температура воздуха, К.

Расход воздуха в единицу времени

$$Q_в=v\omega, \qquad (127)$$

где $Q_в$ – расход воздуха, м^3/сек; ω – площадь сечения отверстия для выхода воздуха, м^2.

Отверстие для входа воды определяется по формуле

$$\omega_1=\frac{Q_в}{C_0\mu\sqrt{2g\frac{P_{доп}}{\gamma_ж}}}=\frac{v\omega}{C_0\mu\sqrt{2g\frac{P_{доп}}{\gamma_ж}}}, \qquad (128)$$

где ω_1 – площадь отверстия для входа воды, м^2; μ – ко-

эффициент расхода (для круглого отверстия в стенке колонны $\mu = 0{,}61$); g – ускорение свободного падения, см/с^2; $P_{дн}$ – допустимое наружное давление на трубы, Н/м^2; $\gamma_ж$ – удельный вес жидкости в скважине, Н/м^3; C_o – безразмерный коэффициент, равный степени сжатия воздуха к началу его выпуска.

Конструкция клапанного устройства имеет определенное отверстие и возможен случай его полного открытия и выход воздуха через все сечение в атмосферу. Из этого условия необходимо исходить при определении ω_1. Учитывая, что обсадная колонна может прилегать к стенке скважины, и в результате чего отверстие для входа воды может быть перекрыто, необходимо в стенке обсадной колонны делать три отверстия под углом 120° друг к другу.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ СПУСКА В СКВАЖИНУ ОБСАДНЫХ КОЛОНН НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ

Научный редактор В.И. Тиль

Литературный редактор Л.А.Порубай
Технический редактор А.Г.Воронцова
Корректор И.А.Соляр

Подписано к печати 4 августа 1978 года.
Объем 1,9 уч.-изд.л. Тираж 175 экз. Заказ № 143.
Ротапринт ВИОГЕМ, Белгород, Б. Хмельницкого, 86.
Цена 28 коп.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3
1. Методика расчета спуска колонны при уровне жидкости в скважине на устье 4
1.1. Случай 1. Колонна опускается до забоя при разовой закачке воздуха 10
1.2. Случай II. Давление в воздушной подушке ограничено допустимым внутренним давлением для труб 13
1.3. Случай III. Высота воздушной подушки на 1 этапе ограничена длиной колонны 14
2. Методика расчета спуска колонны при установке второго моста 15
3. Методика расчета спуска колонны на двух воздушных подушках при уровне жидкости в скважине на устье 17
4. Методика расчета спуска колонны при уровне жидкости в скважине ниже устья 21
4.1. Колонна опускается до забоя на одной воздушной подушке при разовой закачке воздуха 22
4.2. Колонна опускается до забоя на воздушной подушке при ступенчатой закачке воздуха . . 25
4.3. Случай 1. Величина внутреннего давления ограничена прочностью труб 31
4.4. Случай II. Высота воздушной подушки ограничена длиной опущенной колонны 31
4.5. Случай III. Давление в воздушной подушке ограничено давлением компрессора 32
5. Методика расчета спуска колонны при установке второго моста 32
5.1. Колонна опускается при разовой закачке воздуха 33
5.2. Колонна опускается при ступенчатой закачке воздуха 33
6. Методика расчета спуска колонны на двух воздушных подушках при уровне жидкости в скважине ниже устья 34
7. Расчет отверстий в колонне для входа жидкости . . . 38

gost.e-ecolog.ru