

СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ВОДОПОДЪЕМНЫХ КОЛОНН С ПОГРУЖНЫМИ НАСОСНЫМИ АГРЕГАТАМИ

Алиев Н.А. (НИИ ГМ им. М.М. Федорова, г. Донецк, Украина)

In the article experience of exploitation of down-pumpings complexes is analysed in Ukraine and Russia and a conclusion is done about the lack of application in them of conduits with the razor screw-thread of OTTM or OTTG as a connecting element because they are not intended for reusing at implementation of operations «assembling-sorting out».

The developed lock screw-thread of connecting elements, which fully will liquidate possibility of precipice and destruction of elements water-upwards columns during exploitation of down-pumps, will multiply the term of service candles of pipes, will decrease time for editing-dismantling of down-pumpes aggregates, is offered.

Проблема и ее связь с практическими задачами. Основным элементом технологической схемы организации водоотливных комплексов водопонижающих скважин алмазных трубок, при карьерной разработке рудных месторождений, а также некоторых действующих шахт является водоподъемная колонна труб с подвеской на ней погружного вертикального насосного агрегата.

Такое техническое решение и нормы технологического проектирования водоотливных комплексов с погружными насосными агрегатами, применяемыми также и на ликвидируемых угольных шахтах, обоснованы и закреплены рядом нормативных документов [1, 2] как в Украине, так и в Российской Федерации. Поддержание проектной отметки уровня подземных вод, исключая возможности прорыва шахтных вод на близлежащие угледобывающие предприятия, возможность подтопления пониженных участков рельефа, сельхозугодий, жилых массивов обоснованы и увязаны расчетом и выбором погружных насосов при заданных водопритоках и скорости подъема вод. Обоснован выбор числа рабочих, резервных и запасных агрегатов, условия размещения насосов в горных выработках, их монтажа и демонтажа.

В [1, 2] для проведения монтажа и демонтажа систем откачки предложено использование стационарных или передвижных грузоподъемных средств, в качестве оснастки для спуско-подъемных операций – буровое оборудование. Некоторая общность постановки и решения указанной задачи приводит к многовариантности в толковании и реализации этой операции: применению лебедок, кранов, шахтных подъемных машин, талевой оснастки и т.д. Причем, чаще всего эта операция проводится как временная, одноразовая, с последующим демонтажем оборудования.

Регламент разборки вышедшего из строя и спуска запасного насоса не должен по времени превышать 48 часов при условии, что уровень подземных вод поднимается до проектных отметок за период, превышающий 72 часа [1, 2].

Необходимая проектная высота откачки и соответственно длина водоподъемной колонны формируется из одномерных секций труб, так называемых трубных свеч, соединенных между собой чаще всего фланцевыми, быстроразъемными или муфтовыми резьбовыми соединениями. Именно наличие возможного выбора соединительных элементов приводит к разночтению и толкованию в действующих нормах по проектированию водоотливных комплексов с погружными насосными агрегатами. Для ликвидируемых шахт Российской Федерации по рекомендациям [2] соединение труб между собой может быть осуществлено посредством муфт с трапецеидальной резьбой типа OTTM или OTTG при использовании стальных

обсадных труб (ГОСТ 632. Трубы обсадные и муфтовые соединения к ним. Технические условия. М.: 1980 г.) или фланцев при использовании стальных сварных или бесшовных труб. Однако при выборе межтрубных соединений и реализации их в проектных решениях должны быть учтены и взаимоувязаны такие факторы как надежность, долговечность, быстрота разборки и оперативность сборки.

Цель работы и реализуемые задачи.

Обоснование неправомерности применения в качестве соединительных элементов водоподъемных колонн муфты с трапецеидальной резьбой типа ОТТМ и возможности замены ее на коническую замковую резьбу с равнопрочным профилем, с возможностью восприятия статической и динамической нагрузки, возникающей от нестационарных процессов, а также при спуско–подъемных операциях.

Поставленная цель может быть реализована решением ниже перечисленных задач:

1. Определить критические скорости спуска и подъема при учете весовой нагрузки и геометрических параметров водоподъемной колонны.
2. Построить прочностные модели расчета с определением длины нарезанной части соединительных элементов, исполненных на основе трапецеидальной и замковой резьбы на основе равнопрочности колонны и соединительного узла.
3. Проведением сравнительного анализа полученных расчетных параметров определить границы применимости замковой резьбы и ее преимущества при использовании в виде соединительных элементов водоподъемных колонн водоотливных установок шахт.

Анализ исследований и публикаций. При организации откачки водоподъемные трубные колонны, выполняя основную функцию – транспортировку воды и поддержание проектного уровня затопления, одновременно являются связью, прочность которой, как несущего элемента, зависит от статических и динамических нагрузок действующих в системе. К ним в первую очередь следует отнести весовую нагрузку собственно колонны, насосного агрегата с арматурой, текучего, а также нагрузок, вызванных гидравлическими ударами, реактивного момента при запуске и колебаниях трубопровода от неуравновешенности ротора, в момент подрыва насоса от зеркала воды и т.д.

С другой стороны увеличение статической (рост толщин стенок труб) и динамической нагрузки уменьшает запас прочности колонны, особенно в местах подвески, в зоне резьбовых соединений, на участках переходных галтелей, участках повышенной коррозии и износа.

Особенно подверженной износу и коррозии является зона соединительной резьбы и поверхностей, создающих натяг при свинчивании – то есть в районе основной плоскости резьбы. Поэтому как необходимость к таким соединительным элементам водоподъемных колонн предъявляются особые требования: при высокой прочности должна быть обеспечена возможность многократного использования резьбового соединения – до 500 «свинчиваний-развинчиваний», с минимальным износом и скаффингом контактирующих поверхностей. Это связано с тем, что изменение геометрии профиля резьбы за счет износа соединения уменьшает, а в некоторых случаях исключает возможность создания натяга, что часто приводит к тяжелым авариям: обрывам труб и потере насосных агрегатов.

Опыт эксплуатации водоподъемных колонн водоотливных комплексов в Украине и России показал недопустимость применения обсадных труб с трапецеидальной резьбой ОТТМ или ОТТГ в качестве соединительного элемента.

Основным недостатком данного технического решения является то, что трубы с таким соединением не предназначены для многократного использования при выполнении операций «сборка-разборка», что является необходимостью при эксплуатации погружных насосных агрегатов водоотливных комплексов.

Такие соединения даже не рекомендуются повторно применять без ремонта после каждого очередного демонтажа [3].

Постановка задачи и методы ее реализации. Решение задачи заключается в том, что высокая нагруженность, равнопрочность, герметичность и одновременно износостойкость резьбового соединения может быть обеспечена только коническими формами резьбы, к которым относятся все виды профилей замковой резьбы, а также трапецеидальной резьбы ОТТМ и ОТТГ. То есть к оборудованию и инструменту для нарезания такой резьбы и их контролю предъявляются высокие требования как по точности сопряжения, так и по выполнению геометрии формообразующих поверхностей.

К преимуществам конических резьб по сравнению с цилиндрическими следует отнести: 1) возможность обеспечения герметичности соединения без применения уплотняющих средств; 2) самоликвидация в резьбе зазоров, которые могут возникать вследствие износа, путем осевого перемещения рабочего участка резьбы; 3) более равномерное распределение нагрузки между витками резьбы; 4) сокращение времени на сборку и разборку соединения.

До разработки и испытаний специальных замковых соединений в Украине межтрубные соединения не были регламентированы и в основном применялись муфтовые с трапецеидальной резьбой ОТТМ (шахты «Черноморка», «Центральная», «Александровская», «Миусская» и др.), или фланцевые соединения (шахта «им. Лютикова»).

Опыт эксплуатации муфтовых соединений показал, что при достижении 5-10 «свинчиваний-развинчиваний» трапецеидальные резьбы ОТТМ или ОТТГ изнашиваются, вплоть до разрушения, и дальнейшее их использование становится невозможным.

Причем, при рассмотрении проектных решений в НИИГМ им. М.М. Федорова для шахты №27 «Миусская» и для шахты «Черноморка» автор неоднократно предупреждал о возможных последствиях использования такого резьбового соединения и неправомерности его применения для водоподъемных колонн шахтных водоотливных комплексов.

Требование срочного изменения проектного решения и замены муфтовых соединений с трапецеидальной резьбой на замковые еще в июле 2004 г. (в год постройки комплексов) было принято во внимание, однако не реализовано по ряду причин:

- отсутствие разработанных и утвержденных в установленном порядке технических условий (ТУ) на замковые соединения;
- в связи с ликвидацией чрезвычайной ситуации на шахте № 27 «Миусская» в срочном порядке были изготовлены водоподъемные колонны с резьбой ОТТМ.

В итоге на шахте №27 «Миусская» уже к 2005 г. была проведена ротация работающих колонн на резервные, а затем вообще при спуско-подъемных операциях муфты к трубам прикреплялись сваркой. Аналогичная ситуация сложилась на шахте «Черноморка», где муфты также фиксируют на трубных свечах посредством сварки со всеми вытекающими из этого последствиями.

Изложение материала, результаты исследований и реализации технических решений. В 2005 г. при содействии НИИГМ имени М.М. Федорова были

спроектированы, изготовлены и испытаны замковые соединения (рис. 1), на основе которых были разработаны технические условия ТУ У 27 .233904951001:2006 КОЛОНИ ВОДОПІДЙОМНІ (КОЛОННЫ ВОДОПОДЪЕМНЫЕ) [4].

В технические условия ТУ У 27. 233904951001:2006 КОЛОНИ ВОДОПІДЙОМНІ, как альтернатива для водоотливных комплексов с геодезическими высотами до 200 м, вошли также и быстроразъемные соединения БС с буртами, монтируемыми на трубной свече посредством резьбового соединения. В рамках данного документа фланцевые соединения, ограниченные по применению геодезической высотой расположения погружных насосов, монтируются также посредством резьбы, с нормируемой перпендикулярностью плоскости разреза к оси трубы (рис. 2). При этом быстрой разборке фланцевого соединения способствует применение оригинальных болтовых соединений с защитой от коррождения как резьбы, так и тела болта [5].

Концепция прочности замковых резьбовых соединений должна быть построена на совершенно иных подходах и принципах, чем это принято для общемашиностроительных соединений такого типа. В первую очередь это связано с тем, что данное резьбовое соединение служит подвеской с одновременным восприятием нагрузок как статических, так и динамических.

При таком исполнении распределение нагрузки по виткам происходит более равномерно из-за высокой упругой податливости колонны. Многоконтактная связь в виде винтовой поверхности представляет собой демпфер с коэффициентом гашения колебаний близким к пружинным амортизаторам. Кроме того, секционирование водоподъемной колонны относительно длинными замками увеличивает жесткость системы подвески, что также способствует демпфированию колебаний и благоприятно влияет на работу насоса.

Ниже приводится и обосновывается прочностной расчет замковых резьбовых соединений и их сравнение с прочностью трапецидальной резьбы типа ОТТМ и ОТТГ с обоснованием их неприменимости для водоподъемных колонн.

Прочность колонны под действием максимальной статической нагрузки, действующей на систему:

$$\sigma_T = \frac{4Q_{\max}}{\pi(D_{H.T.}^2 - D_0^2)} \leq [\sigma_T] \quad (1)$$

где Q_{\max} – максимальная нагрузка на водоподъемную колонну в месте посадки замка на клинья элеватора при установке его на подвесную шайбу.

Учитывая, что в момент экстренного подъема или торможения талевой оснасткой колонна не освобождена от текущего, выражение для нагрузки принимает вид:

$$Q = q(L - nl_0) + \frac{1}{4} D_0^2 \pi \gamma_1 L + n \cdot \gamma_2 \frac{(D_{H.з.}^2 - D_0^2)}{4} \pi l_0 + q_0 \quad (2)$$

где q – погонный вес трубы водоподъемной колонны; L – длина колонны от устья до фланца погружного насоса; n – число соединительных элементов (узлов) колонны; l_0 – длина соединительного узла колонны; D_0 – внутренний диаметр трубной свечи водоподъемной колонны; γ_1 – удельный вес транспортируемого текущего водоподъемной колонны; γ_2 – удельный вес материала трубной свечи;

$D_{н.з.}$ - наружный диаметр соединительного узла трубы водоподъемной колонны; q_0 —вес насосного агрегата; $D_{н.т.}$ —наружный диаметр трубной свечи;

Из решения задачи продольных колебаний бурильной колонны при посадке ее на клиньювой захват, равномерном спуске или подъеме талевого оснастки [7] можно определить предельную скорость спуска $V_{к.р.}$, лимитирующую прочность колонны.

Для данного решения, заменяя гидростатическое давление бурового раствора на давление перекачиваемой жидкости при подвеске погружного насоса на проектном уровне, имеем для предельной скорости спуска водоподъемной колонны:

$$V_1 = V_{к.р.} = \frac{a}{E} \{ [\sigma_T] - (\gamma_2 - \gamma_1)L \}, \quad (3)$$

где $a = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ - скорость распространения продольных волн вдоль колонны; E –

модуль упругости материала труб; ρ -плотность материала трубы; σ_T – предел текучести материала колонны.

После решения соотношения (3) относительно $[\sigma_T]$ получим зависимость для определения напряжения текучести, при котором произойдет обрыв колонны водоподъемных труб при спуске ее со скоростью V_1 :

$$\sigma_T = \frac{1}{a} [V_1 E + aL(\gamma_2 - \gamma_1)] \quad (4)$$

Равнопрочность по напряжениям текучести позволяет определить предельную (критическую) скорость подъема для данной компоновки водоподъемной колонны и геодезической высоты откачки L :

$$V_{1.кр.} = \frac{4Q}{\pi \sqrt{E\rho} (D_{н.т.}^2 - D_0^2)} - \frac{L(\gamma_2 - \gamma_1)}{\sqrt{E\rho}} \quad (5)$$

Величина допускаемого напряжения при растяжении определится как: $[\sigma_p] = \sigma_T / [n]_3$, где $[n]_3$ —коэффициент запаса прочности.

В таком случае прочность колонны водоподъемных труб с обеспечением ее работоспособности под действием статической нагрузки:

$$\sigma_p = \frac{4Q}{\pi [n_3] (D_{н.т.}^2 - D_0^2)} \leq [\sigma_p], \quad (6)$$

Согласно работам проф. Н.Е.Жуковского распределение нагрузки Q по виткам резьбы (при числе витков $n_r=10$) представляет экспоненту, где на первый виток приходится: $Q_1=0,34Q$, а на последний – десятый $Q_{10}=0,01Q$.

Принимая нагрузку на первый виток в виде:

$$Q_{max.} = Q_1 = k_{нз.} \cdot Q_{ср.} = \frac{k_{нз.} \cdot Q}{n_r}, \quad (7)$$

где $k_{нз.}$ – коэффициент нагрузки, принимаемый на основе исследований [7]. $k_{нз.} \approx 2$ для круглой резьбы при $n_r = 6$ и $k_{нз.} \approx 3$ для резьбы, применяемой в общем машиностроении с $n_r=10$; для резьбовых соединений с $n_r > 10$ специальных, выполненных в виде подвесных, самоустанавливающихся систем, требующих особой прочности и обеспечения высокой надежности: $k_{нз.} \approx 4...5$.

Рассмотрим вопросы обеспечения прочности замковой резьбы и сравним ее с применяемой в качестве соединительного элемента трубных свеч из обсадных труб трапецеидальной резьбы ОТТМ или ОТТГ по ГОСТ 632 при условии равнопрочности резьбы и труб водоподъемной колонны.

Профили замковой резьбы и соотношения между ее параметрами представлены на рис. 3, профиль трапецидальной резьбы ОТТМ и ее параметры - на рис. 4.

Условие прочности замковой резьбы на срез по высоте срезаемого сечения S_0 витка резьбы (рис. 3):

$$\tau_{ср.} = \frac{1,25 \cdot \kappa_{нз.} \cdot Q \cdot \cos \varphi}{H_{Г.ср.} \sqrt{T^2 + \pi^2 (D_2 - H)^2}} \leq [\tau_{ср.}], \quad (8)$$

где принято, что высота полного профиля нарезанной части соединительного элемента равна: $H_Г = n_Г \cdot T$; T —шаг резьбы, принимаемый для конической резьбы как проекция на ось резьбы отрезка, соединяющего соседние вершины остроугольного профиля резьбы; φ —угол уклона резьбы; D_2 —средний диаметр резьбы, отнесенный к основной плоскости. H – теоретическая высота исходного профиля резьбы; $[\tau_{ср.}]$ – допускаемые напряжения на срез, принимаемые как: $[\tau_{ср.}] = (0,65 \dots 0,75)[\sigma_p]$;

Таблица 1. Расчет критической скорости спуска колонны

Наименование параметра	Обозначение	Диаметр трубы		
		Ø 273	Ø 219	Ø 168
Модуль упругости материала труб, Н/м²	E	2,06·10 ¹¹		
Плотность материала трубной свечи водоподъемной колонны, кг/м³	ρ	7850		
Погонный вес трубы водоподъемной колонны, Н	q	680	520	390
Длина колонны от устья до фланца погружного насоса, м	L	400		
Число соединительных элементов колонны, шт	n	39		
Длина соединительного узла колонны, м	l _о	1,00	0,80	0,72
Внутренний диаметр трубной свечи водоподъемной колонны, м	D _о	0,2526	0,203	0,154
Наружный диаметр трубной свечи водоподъемной колонны, м	D _{нт}	0,273	0,219	0,168
Наружный диаметр соединительного узла трубы водоподъемной колонны, м	D _{нз}	0,320	0,266	0,215
Удельный вес транспортируемого текучего, Н/м³	γ ₂	12750		
Удельный вес материала трубной свечи водоподъемной колонны, Н/м³	γ ₁	77000		
Вес погружного насосного агрегата, Н	q ₀	36400	21300	17500
Коэффициент запаса прочности	[n] _з	5		
Тип погружного насосного агрегата	АНПШ	375-400	210-400	160-420
Нагрузка на колонну в месте посадки замка на клинья элеватора, Н	Q	628484	433890	295767
Предельная скорость спуска колонны, м/с	V _{1.кр.}	5,33		

При условии равнопрочности соединительного элемента поперечному сечению водоподъемной колонны при действии полной вертикальной нагрузки (2) получим длину нарезанной части $H_{Г.ср.}$ для соединительного элемента с замковой резьбой из условия прочности на срез:

$$H_{Г.ср.} = \frac{1,875 \cdot \kappa_{нз} \cdot \pi \cdot (D_{Н.Т.}^2 - D_0^2) \cdot \cos \varphi}{4 \cdot \sqrt{T^2 + \pi^2 (D_2 - H)^2}} \quad (9)$$

Аналогично, для условия равнопрочности соединительного элемента поперечному сечению водоподъемной колонны при действии нагрузки (2) получим длину нарезанной части Нг.см. соединительного элемента на замковой резьбе из условия прочности на смятие:

$$H_{Г.см.} = \frac{\kappa_{нз} \cdot (D_{Н.Т.}^2 - D_0^2) \cdot \sin \alpha}{4 \cdot d_2 \left[\cos \frac{\alpha}{2} - 0,7 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \right]} \quad (10)$$

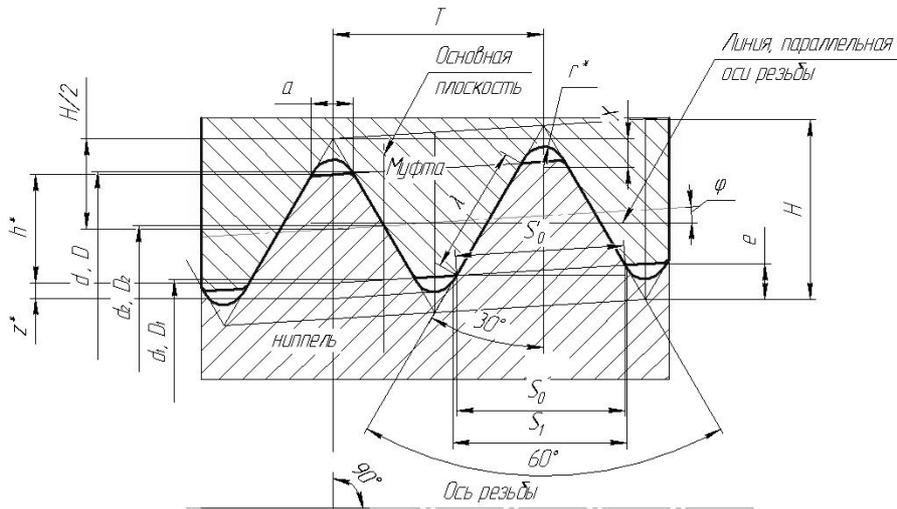


Рис.3. Профиль конической замковой резьбы.

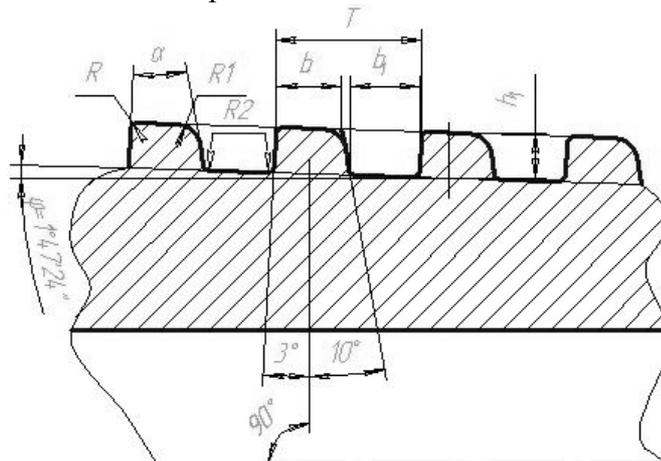


Рис. 4. Профиль трапецеидальной резьбы ОТТМ ГОСТ 632

Из условия прочности на срез трапецеидальной резьбы ОТТМ и ее равнопрочности поперечному сечению водоподъемной колонны при действии той же нагрузки (2) получаем длину нарезанной части $H_{Г.ср.}^{ОТТМ}$ соединительного элемента:

$$H_{Г.ср.}^{ОТТМ} = \frac{1,55 \cdot \kappa_{нз} \cdot T_{от.} \cdot (D_{Н.Т.}^2 - D_0^2)}{4 \cdot d_{ви.} (T_{от.} - b_1)}, \quad (11)$$

где $T_{от.}$ – шаг резьбы ОТТМ или ОТТГ; $d_{вн.}$ – внутренний диаметр трапецеидальной резьбы ОТТМ в основной плоскости; b_1 — ширина профиля, h_1 — высота профиля резьбы ОТТМ (см. рис.4).

Длина нарезанной части $H_{Г.см.}^{ОТТМ}$ соединительного элемента, выполненного на основе трапецеидальной резьбы ОТТМ из условия прочности на смятие поверхности витка и равнопрочности поперечному сечению водоподъемной колонны, определится:

$$H_{Г.см.}^{ОТТМ} = \frac{\kappa_{нз} \cdot T_{от.} \cdot (D_{н.т.}^2 - D_0^2)}{16 \cdot h_1 \cdot (d_{вн.} + h_1)} \quad (12)$$

В таблицах 2 и 3 приведены рассчитанные по полученным зависимостям (6) - (12) длины нарезанных частей соединительных элементов водоподъемных колонн, выполненных на основе конической замковой резьбы и трапецеидальной резьбы ОТТМ. Как показывает анализ данных таблицы 2 длина нарезанной частей соединительных элементов на замковой резьбе при расчете на смятие и срез близки по величине друг другу для всех типов применяемых типоразмеров труб.

Таблица 2. Расчет высоты гайки с конической замковой резьбой

Наименование параметра	Обозначение	Диаметр трубы		
		Ø 273	Ø 219	Ø 168
Коэффициент нагрузки	$K_{нз}$	5,00		
Наружный диаметр трубной свечи водоподъемной колонны, мм	$D_{нт}$	273,00	219,00	168,00
Внутренний диаметр трубной свечи водоподъемной колонны, мм	D_0	252,60	199,00	148,00
Угол профиля конической замковой резьбы	$\alpha?$	60,00		
Средний диаметр конической замковой резьбы в основной плоскости, мм	D_2	277,82	223,82	172,82
Угол наклона образующей конуса конической замковой резьбы к оси трубы	$\varphi?$	3,58		
Шаг конической замковой резьбы, мм	T	6,35		
Теоретическая высота профиля конической замковой резьбы, мм	H	5,49		
Высота гайки с конической замковой резьбой из условия прочности на смятие, мм	$H_{Г.см.}$	80,97	78,36	76,72
Высота гайки с конической замковой резьбой из условия прочности на срез, мм	$H_{Г.ср.}$	92,10	89,57	88,35

Для трапецеидальной резьбы ОТТМ длина нарезанной части (высота гайки $H_{Г.ср.}^{ОТТМ}$) при расчете на срез в 3,75...3,80 раз превышает допустимую высоту гайки при расчете ее на смятие $H_{Г.см.}^{ОТТМ}$. При этом расчетная высота гайки $H_{Г.ср.}^{ОТТМ}$ превышает в 1,5 раза (см. таблицу 3) длину резьбы ОТТМ с полным профилем по ГОСТ 632. То есть расчетную нагрузку по (2), приложенную к колонне с учетом скорости спуска и подъема (5), трапецеидальная резьба ОТТМ выдержать не может, так как расчетные напряжения на срез превысят допускаемые в полтора раза. Приблизительно во столько

же раз напряжения при расчете на срез для резьбы ОТТМ превысят (при прочих равных условиях) напряжения на срез для замковой резьбы.

Следовательно, применение резьбы ОТТМ для соединительных элементов водоподъемных колонн неприемлемо из-за превышения напряжений среза допусаемым значениям напряжений на срез по корню витка резьбы.

В отличие от этого к особенностям предложенной замковой резьбы согласно данным таблицы 2 можно отнести ее элементную равнопрочность по видам напряженно-деформированного состояния, в отличие от трапецеидальной резьбы ОТТМ. Этот факт для резьбы ОТТМ выражен в разнице высот гайки при расчете на срез $H_{Г.ср.}^{ОТТМ}$ и смятие $H_{Г.см.}^{ОТТМ}$, превышающих друг друга в 3,75...3,80 раз.

Для примененной резьбы ОТТМ в водоотливных комплексах некоторых шахт (см. выше) после вторичной разборки наблюдалось отслаивание и срезание части витка, нарушение допустимого зазора по торцу, невозможность создания натяга. Решение об использовании резьбы ОТТМ для водоотливных комплексов связана с неполным пониманием ее предназначения: цель и функции резьбы ОТТМ - единовременная фиксация обсадных труб в буровой скважине.

Цель и функции резьбы ОТТМ - единовременная фиксация обсадных труб в буровой скважине. Переход на замковые резьбы соединительных элементов полностью ликвидирует возможность обрыва и разрушения элементов водоподъемных колонн при эксплуатации погружных насосов, увеличит срок службы трубных свеч, соразмерит требование нормативной документации по регламенту времени сборки, уменьшит время для монтажа-демонтажа погружных насосных агрегатов.

Таблица 3. Расчет высоты гайки с резьбой ОТТМ

Наименование параметра	Обозначение	Диаметр трубы		
		Ø 273	Ø 219	Ø 168
Ширина профиля резьбы ОТТМ, мм	b_1	2,43		
Наружный диаметр трубной свечи водоподъемной колонны, мм	$D_{нт}$	273,00	219,00	168,00
Внутренний диаметр трубной свечи водоподъемной колонны, мм	D_o	252,60	199,00	148,00
Внутренний диаметр резьбы ОТТМ в основной плоскости, мм	$d_{вн}$	269,85	215,88	165,08
Высота профиля резьбы ОТТМ, мм	h_1	1,60		
Шаг резьбы ОТТМ, мм	$T_{от}$	5,08		
Коэффициент нагрузки	$K_{нз}$	5,00		
Высота гайки с резьбой ОТТМ из условия прочности на смятие, мм	$H_{Г.см.}^{ОТТМ}$	39,19	38,14	37,62
Высота гайки с резьбой ОТТМ из условия прочности на срез, мм	$H_{Г.ср.}^{ОТТМ}$	147,58	143,83	142,20

Приведенные в таблице значения предельных скоростей при спуско-подъемных операциях должны быть снижены в 8...10 раз для безопасной работы, особенно для плавной безударной посадки водоподъемной колонны на аппарель с шайбой. Рекомендованная посадочная скорость не более 0,08...0,1 м/сек, что может быть обеспечено (в случае аварийного монтажа насосов) лебедками 1ЛГКНМ2Э, 1ЛГКНМ2П, ЛПЭП-10 а также ЗЛП. Диапазон изменения скоростей для лебедок этого типа составляет 0,098...0,167 м/с, что достаточно близко к вышеуказанным пределам.

ВЫВОДЫ.

1. Обеспечение гидробезопасности действующих шахт при ликвидации закрывающихся и затапливаемых шахт реализуется с использованием ствола в качестве водосборника и размещением в нем погружных средств откачки на водоподъемной колонне, формируемой из одномерных секций труб, соединяемых между собой посредством фланцевых, быстроразъемных или резьбовых соединений.

2. Опыт эксплуатации водоотливных комплексов в Украине и России показал недопустимость применения в них обсадных труб с трапецеидальной резьбой ОТТМ или ОТТГ в качестве соединительного элемента, так как недостатком данного технического решения является то, что трубы с таким соединением не предназначены для многократного использования при выполнении операций «сборка-разборка».

3. Прочностной расчет спроектированных замковых резьбовых соединений и их сравнение с прочностью трапецеидальной резьбой типа ОТТМ и ОТТГ показал, что для ОТТМ длина нарезанной части при расчете на срез под действием расчетной нагрузки, приложенной к колонне с учетом скорости спуска и подъема, в 3,75...3,80 раз превышает допустимую высоту гайки при расчете ее на деформацию смятия, в 1,5 раза больше длины нарезанной части замковой резьбы и длины резьбы ОТТМ с полным профилем по ГОСТ 632.

4. Геометрические соотношения по прочности трапецеидальной резьбы ОТТМ не удовлетворяют приложенным к колонне нагрузкам для всего ряда применяемых типоразмеров труб, так как расчетные напряжения, при прочих равных условиях, превышают допускаемые, а также расчетные в элементах замковой резьбы в полтора раза, чем и обосновывается ее неприменимость для водоподъемных колонн.

5. Разработанная замковая резьба соединительных элементов полностью ликвидирует возможность обрыва и разрушения элементов водоподъемных колонн при эксплуатации погружных насосов, увеличит срок службы трубных свеч, соразмерит требование нормативной документации по регламенту времени сборки, уменьшит время для монтажа-демонтажа погружных насосных агрегатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ: 1. Технологические нормы проектирования и правила эксплуатации погружных насосов для выдачи воды из стволов (скважин) ликвидируемых шахт. – Донецк: Научно-исследовательский институт горной механики имени М.М. Федорова, 2002. – 27 с. 2. ВНТП 1 – 2000. Временные нормы технологического проектирования водоотливных комплексов с погружными насосными агрегатами, применяемых на ликвидируемых угольных шахтах / Комитет угольной промышленности МинЭнерго России. – С: Срок введения с 01.01.2001г. - 4 с. 3. Трубы нефтяного сортамента: Справочник. Под общей редакцией А.Е. Сарояна. - М.: Недра, – 1987. - 488 с. 4. ТУ У 27 .233904951001:2006 КОЛОНИ ВОДОПДІЙОМНІ (КОЛОНИ ВОДОПОДЪЕМНЫЕ). – Срок действия с 2006 до 2010г. - Донецк, 2005. – 27 с. 5. Патент України на корисну модель №10077 А. Фланцеве з'єднання трубопроводу / Алієв Н.А., Коваль А.М., Манець І.Г., Дубров В.Г. F16L23/02, F16L27/00. – Опубл. 15.11.2005. Бюл. № 11. 6. А.Х. Мирзаджанзаде, З.Г. Керимов, М.Г. Копейкис. Теория колебаний в нефтепромысловом деле. – Баку; –Маариф, 1976. - 364 с. 7. В.А. Дмитриев. Детали машин. – Л: Судостроение, 1970. - 792 с.

Сдано в редакцию 20.01.07