УДК 622.245

© Зверев Г.В., Тарасов А.Ю., 2013

РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД НА КРЕПЛЕНИЕ СКВАЖИНЫ № 338 ВАНКОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ

Г.В. Зверев, А.Ю. Тарасов

Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет, Иркутск, Россия

В настоящее время все наиболее перспективные нефтегазовые месторождения России находятся в зонах распространения мерзлых пород различного типа. Первоочередной причиной повышенной аварийности являются длительные остановки эксплуатационных скважин или их консервация, после которых отмечены случаи смятия обсадных колонн в интервале многолетнемерзлых пород (ММП).

При эксплуатации скважин тепловое воздействие на ММП становится крайне интенсивным. Лед, превращаясь в воду, занимает меньший объем, в результате зона протаивания и кавернообразования превращается в термокарстовую воронку. Порода теряет свою несущую способность, что является причиной возникновения оползней, возможно обрушение мерзлых пород при достижении воронкой определенной критической длины крепи скважины, образование приустевых кратеров и проседание устья скважин, что ведет к укорочению колонны, обрыву устьевого обвязки, открытым фонтанам и выбросам в окружающую среду, а также к полной потере скважины.

В данной работе произведен расчет действующей эксплуатационной скважины № 338 Венгерского месторождения на действие сминающих усилий, возникающих при обратном процессе смерзания талых пород в интервале 0–540 м мерзлых пород. Вычислены давления в межколонном пространстве при смерзании жидкости, образовавшейся вследствие наличия в цементном растворе давления, развиваемого тальными породами с учетом различных диаметров каверн. Дана оценка радиусов растепления и влияния, объема оттаявших пород за периоды 1, 5, 10, 20 лет.

Исходя из полученных расчетных значений, выделены зоны возможного смятия обсадных колонн, перекрывающих ММП, даны рекомендации по выбору подходящей марки колонн, а также требуемой толщины колонны.

Ключевые слова: ММП, давление смятия, кратер, обвалы, осыпь, криолитозона, воронка, термокарст, каверзность, зона растепления, зона влияния, льдистость, телескопическое соединение, крепь, горное давление, боковое давление.

CALCULATION AND ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF PERMAFROST ON WELL NO. 338 FIXING OF VANKORSKOE FIELD DURING OPERATION

G.V. Zverev, A.Iu. Tarasov

National Research Irkutsk State Technical University, Irkutsk, Russian Federation

Nowadays, the most promising oil and gas fields in Russia are located in permafrost zones of various types. The primary causes of increased accidents are long stops of producing wells or their preservation, after which there were cases of casing collapse in permafrost interval.

During operation wells thermal influence on the permafrost interval becomes extremely intense. Ice turning into water takes up less space, and as a result, thawing and caving zone turns into a thermokarst funnel. Rock loses its load-carrying capacity, which is the cause of landslides, permafrost collapse is possible when the funnel becomes of certain critical length of well casing, formation of wellhead craters and wellhead subsidence, which leads to a shortening of the column, wellhead piping breakage, open fountains and emissions into the environment as well as the complete loss of the well.

In this paper there was a calculation of existing production well no. 338 of the Vengerskoe field on the crushes forces action arising in the reverse process of melt rocks freezing in the range 0–540 m of permafrost. Pressure in the annular space during freezing liquid, which was formed due to the presence in the cement pressure developed by melt rocks taking into account different diameters of cavities was calculated, as well as the effect was estimated. The estimation of thawing and influence radii, the volume of thawed rocks for periods of 1, 5, 10, 20 years is given.

Based on the calculated values, the zones of possible casing collapse overlapping permafrost interval is presented, recommendations on the choice of the relevant columns brand, as well as the desired thickness of the column are given.

Keywords: permafrost interval, collapse pressure, crater, landslides, talus, ozone cryolite, funnel, thermokarst, cavingness, thawing zone, influence zone, ice content, telescopic connection, casing, rock pressure, lateral pressure.

Введение

К числу сложных проблем разработки рациональной конструкции скважин в районах Крайнего Севера относится наличие в разрезе многолетнемерзлых пород (ММП). Проблема усложняется в связи со значительным перепадом температуры мерзлых пород и забойной температуры пластовых флюидов. Применение традиционной технологии бурения и используемых конструкций скважин в этих условиях не всегда обеспечивает сохранность обсадных колонн при длительной эксплуатации скважин [1].

На территории многолетней мерзлоты находятся значительные запасы природных газов и нефти. Считалось, что распространение многолетнемерзлых пород ограничивается глубиной 600–700 м, однако результаты бурения и исследования теплового режима Мархинской скважины на северо-западе Якутии доказали существование многолетнемерзлых пород на глубине 1400 м. В этой скважине на глубине 1800 м пластовая температура составила +3,8 °С, а в интервале глубин 250–1400 м минимальное значение отрицательной температуры –3 °С.

Бурение в районах многолетней мерзлоты ведется давно, и уже накоплен достаточно большой опыт. По мере накопления этого опыта и развития техники и технологии бурения изменялись и конструкции скважин [2]. Облегченные конструкции удовлетворяют условиям бурения в мерзлых породах умеренной мощности. При больших мощностях (более 500 м) многолетнемерзлых пород в районах Крайнего Севера, при проектировании конструкции скважин, требуется решение многих проблем, связанных с проводкой и креплением скважин.

Основной объем буровых работ на этих территориях составляют эксплуатационные скважины глубиной до 2500–2700 м. На ряде площадей ведут бурение глубоких поисковых и разведочных скважин.

Как эксплуатационные, так и разведочные скважины имеют преимущественно

одноколонную конструкцию с преобладающим сочетанием диаметров смежных обсадных колонн 245×168 (146) мм и 324×219 мм. Разведочные скважины глубиной более 3000 м бурились по двухколонной конструкции 324×219×146 мм [3].

При бурении скважин в интервалах, сложенных многолетнемерзлыми породами в результате воздействия на них положительных температур циркулирующего бурового раствора и растепления песчаных отложений, сцементированных льдом, наблюдается интенсивное кавернообразование [4]. Наиболее неустойчивы породы четвертичного возраста, в интервале залегания которых (0–200 м) фактический объем ствола при существующей конструкции скважин и технологии бурения может превосходить номинальный в 3 раза и более.

Мерзлые породы значительно снижают качество цементирования скважин и надежность крепления их в целом вследствие неполного вытеснения бурового раствора тампонажным ввиду наличия больших по размерам каверн. Кроме того, в результате сильного кавернообразования часто отмечаются недоподъемы цементного раствора до устья скважин за всеми колоннами вследствие поглощений и ошибок в подсчете необходимого количества тампонажного материала и объемов кольцевых пространств [5].

Известно, что при длительной эксплуатации скважин будет происходить постепенное прогревание мерзлых пород, прилегающих к стволу, за счет теплоотдачи газа или нефти, отбираемых из более глубоких пластов с относительно высокой температурой. Поэтому процесс таяния мерзлого грунта начинается снизу и будет постепенно распространяться к верхней границе мерзлоты. Когда этот процесс распространится до такой высоты, при которой прочность сцепления мерзлых пород с цементным камнем и силы трения в разрыхленных оттаявших породах окажутся неспособными противостоять весу труб кондуктора,

натяжению промежуточной и эксплуатационной колонны и весу фонтанных труб, произойдет укорочение колонны и устье скважины вместе с фонтанной арматурой опустится.

Расчеты показывают, что амплитуда осевого смещения устья скважины может достигать 0,5 м и более в зависимости от мощности слоя вечной мерзлоты, веса кондуктора и длины незацементированной части колонны. В результате возможно нарушение прямолинейности колонны под действием сжимающих напряжений и герметичности ее резьбовых соединений. Поскольку опускание колонны может произойти внезапно, разрушение устьевой обвязки скважины может привести к открытому фонтанированию. При длительных остановках эксплуатационных скважин отмечены случаи смятия обсадных колонн в интервале криолитозоны при повторном смерзании.

Анализ фактического материала выявляет несовершенство одноколонных конструкций скважин месторождений Крайнего Севера.

Применяемые одноколонные конструкции скважин в районах многолетней мерзлоты удовлетворяют требованиям, предъявляемым к разведочным скважинам, поскольку обеспечивают достаточную герметичность крепления ствола на период бурения и опробования. Однако эта конструкция неприемлема для эксплуатационных скважин, предназначенных для длительного периода эксплуатации.

Описание исследований

Процесс растепления многолетнемерзлых пород происходит в два этапа: во время бурения скважины и в период ее эксплуатации.

При эксплуатации скважин тепловое воздействие на мерзлые породы становится крайне интенсивным. Лед, превращаясь в воду, занимает меньший объем, в результате зона протаивания и кавернообразования превращается в тер-

мокарстовую воронку [6]. Порода теряет свою несущую способность, что является причиной возникновения оползней, возможны обрушение мерзлых пород при достижении воронкой определенной критической длины крепи скважины, образование приустьевых кратеров и проседание устья скважин, что ведет к укорочению колонны, обрыву устьевой обвязки, открытым фонтанам и выбросам в окружающую среду, а также к полной потере скважины [7].

Целью данной работы является нахождение радиуса изменения агрегатного состояния пород, радиуса влияния скважины, объема оттаявших пород с течением времени в период ее эксплуатации, максимального давления, которое развивает замерзающая вода в герметичной полости (каверне) при известной температуре окружающей среды, и времени, через которое оно достигается. Также необходимо учесть давление при замерзании жидкости в межколонном пространстве и величину давления в зависимости от температуры охлаждения. Расчет горного и бокового давлений имеет второстепенное значение, однако следует понимать, что из-за разности плотностей льда и воды давления, действующие на крепь скважины, будут существенно отличаться.

Аналитические исследования по оценке размеров зоны растепления и воздействия ее на эксплуатационную скважину выполнены для условий действующей эксплуатационной скважины № 338.

Многолетнемерзлые грунты и породы на Ванкорском месторождении распространены до глубины 540 м со средней температурой -3°C . Наиболее сложные мерзлотные условия связаны с залеганием четвертичных отложений мощностью 75–80 м. Средняя льдистость верхней зоны составляет $250\text{--}300\text{ кг/м}^3$. Кавернозность ствола при этом может достигать 1,5 и более номинального диаметра скважины. Температура пластового флюида 65°C .

Учитывая значительную разность температур и длительность работы скважины, можно уверенно предсказать нарушение термодинамического равновесия в многолетнемерзлых породах, в результате которого возможны посткриогенные явления вокруг ствола скважины и образование вокруг кондуктора огромных каверн с проседанием устьевой обвязки и нарушением труб кондуктора.

Развитие приустьевых воронок в теплоизолированной скважине связано с возникновением значительных зазоров – каверн за цементным кольцом – и провалом в них оттаявших пород. Развитие зазоров – провалов вокруг скважины определяется радиусами оттаивания пород вокруг них. Расчет радиусов влияния скважины и радиусов протаивания мерзлых пород и формирования во времени зазоров – провалов за кондуктором выполнен в соответствии с методикой ВРД 39-1.9-015–2000 (ОАО «Газпром») для интервала 0–540 м.

Полученные расчетные данные представлены в табл. 1, в которой также вычислен объем оттаявшего грунта в каждом интервале разреза.

Расчет показал, что максимальные радиусы оттаивания (рис. 1) и влияния скважины (рис. 2) будут наблюдаться в интервалах залегания глин 184–238 м, 346–500 м, что будет способствовать увеличению каверно- и сводообразования.

Следует также отметить, что радиус оттаивания не ограничивается вычисленными значениями. С увеличением радиуса влияния скважины, вследствие особенностей поведения пород при оттаивании на промежутке влияния, породы частично находятся в талом состоянии, частично в мерзлом [8].

Температурную границу полного оттаивания породы можно определить только в лабораторных условиях, принятые теоретические значения определены в СНиП 2.02.04–88 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах», согласно

Таблица 1

Расчет радиусов влияния и оттаивания, объема оттаявшей породы
за периоды 1, 5, 10, 20 лет

Индекс стратиграфического подразделения	Краткое название горной породы	Кровля, м	Радиус изменения агрегатного состояния, м				Радиус влияния скважины, м				Объем оттаявшей породы, м ³			
			1 год	5 лет	10 лет	20 лет	1 год	5 лет	10 лет	20 лет	1 год	5 лет	10 лет	20 лет
Q	супески	0	0,06	0,26	0,42	0,68	0,65	3,00	4,80	6,72	1,63	10,35	20,52	42,94
	суглинки	19	0,05	0,22	0,35	0,63	0,57	2,63	4,21	5,89	1,33	8,06	15,63	38,68
	пески	38	0,06	0,30	0,54	0,98	0,56	2,59	4,15	5,80	1,72	12,55	30,36	79,84
	глины	56	0,04	0,17	0,30	0,54	0,65	3,00	4,80	6,72	0,77	4,99	11,35	28,13
K _{2tn}	глины	75	0,04	0,17	0,30	0,54	0,65	3,00	4,80	6,72	2,27	14,75	33,57	83,17
	алевриты	130	0,01	0,03	0,05	0,09	0,71	3,29	5,26	7,36	0,35	1,80	3,45	6,86
	пески	184	0,05	0,24	0,44	0,79	0,73	3,37	5,40	7,56	3,38	24,29	58,36	152,47
	глины	238	0,06	0,27	0,48	0,87	0,65	3,00	4,80	6,72	3,76	27,76	67,62	178,91
	алевриты	292	0,03	0,13	0,23	0,42	0,71	3,29	5,26	7,36	1,68	10,32	22,69	54,13
	пески	346	0,08	0,36	0,65	1,17	0,73	3,37	5,40	7,56	5,28	42,75	108,61	298,08
	глины	400	0,13	0,63	1,13	2,04	0,65	3,00	4,80	6,72	20,35	200,95	549,52	1597,65
K _{2sp}	алевриты	505	0,07	0,34	0,61	1,10	0,71	3,27	5,24	7,33	0,64	5,10	12,86	35,07
	пески	512	0,11	0,53	0,95	1,71	0,73	3,37	5,40	7,56	0,62	5,76	15,41	44,09
	глины	516	Зона пород с $T > 0^{\circ}\text{C}$											
K _{2ns}	алевриты	540												
	глины	577												
	пески	616

- Радиус изменения агрегатного состояния, м
1 год
- ▲— Радиус изменения агрегатного состояния, м
5 лет
- Радиус изменения агрегатного состояния, м
10 лет
- Радиус изменения агрегатного состояния, м
20 лет

Рис. 1. Максимальные радиусы оттаивания

- Радиус влияния скважины, м
1 год
- ▲— Радиус влияния скважины, м
5 лет
- Радиус влияния скважины, м
10 лет
- Радиус влияния скважины, м
20 лет

Рис. 2. Максимальные радиусы влияния скважины

которому, например, температура полного оттаивания глин составляет $-1 \dots -3^\circ\text{C}$ и зависит от породообразующего минерала глины.

На рис. 3 приведены диаграммы, показывающие объем оттаявшего грунта в каждом интервале за периоды 1, 5, 10, 20 лет.

При оттаивании зернистые и дисперсные породы испытывают различные поперечные знакопеременные нагрузки, а именно: в интервалах песчаных пород будут наблюдаться растягивающие нагрузки относительно крепи скважины, напротив, в интервалах глин – сжимающие нагрузки [9].

Изучив диаграммы, можно с большой долей вероятности предположить, что пласт глины 238–292 м, находящийся между двумя пластами песка 184–238 м, 346–400 м, будет испытывать повышен-

ное напряжение сжатия, увеличивающееся по мере оттаивания пород, что, в свою очередь, приведет к увеличению бокового давления на конструкцию скважины, что в конечном счете может привести к смятию обсадных колонн.

Для того чтобы в полной мере осознать физические процессы, происходящие при остановке и консервации скважины, необходимо комплексно подойти к пониманию данной проблемы. Учитывая, что при замерзании воды увеличивается объем твердой фазы по сравнению с жидкой, можно с большой долей вероятности предположить возможность смятия или разрыва обсадных колонн в интервале мерзлых пород [10].

В данной работе произведена оценка величины сминающих нагрузок. В приведенной ниже таблице (табл. 2) следует обратить внимание на значение давления жид-

Рис. 3. Диаграммы объема отстоявшей породы за период 1 год (а), 5 лет (б), 10 лет (в), 20 лет (г), м³

Таблица 2

Значения горного, бокового давлений, давления в межколонном пространстве и давления в каверне

Кровля (от), м	Подолва (до), м	Краткое название горной породы	Горное давление $P_{гор}$ (м), МПа	Радиальное давление $P_{рад}$ (м), МПа	Горное давление с учетом взвешенной воды $P_{гор(в)}$ (м), МПа	Радиальное давление с учетом взвешенной воды $P_{рад(в)}$ (м), МПа	$P_{(счит)} О.К. в МПа при T = -0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$	$P_{(счит)} О.К. в МПа при T = -1 \text{ } ^\circ\text{C}$	$P_{(счит)} О.К. в МПа при T = -1,5 \text{ } ^\circ\text{C}$	$P_{(счит)} О.К. в МПа при T = -2 \text{ } ^\circ\text{C}$	$P_{(счит)} О.К. в МПа при T = -2,5 \text{ } ^\circ\text{C}$	$P_{(счит)} О.К. в МПа при T = -3 \text{ } ^\circ\text{C}$	$P_{(счит)} в МПа при R_{(каверн)} > R_{(ок)}$ на 10 см	$P_{(счит)} в МПа при R_{(каверн)} > R_{(ок)}$ на 20 см	$P_{(счит)} в МПа при R_{(каверн)} > R_{(ок)}$ на 40 см
0	18,8	супески	0,23	0,13	0,24	0,14	6,4	12,6	18,8	24,9	30,9	36,8	1,8	2,6	3,2
18,8	37,6	суглинки	0,50	0,17	0,53	0,18							2,3	3,0	3,7
37,6	56,4	пески	0,72	0,40	0,78	0,43							2,4	3,2	3,8
56,4	75	глины	1,01	0,34	1,09	0,36							3,1	3,8	4,5
75	130	глины	1,88	0,63	2,00	0,67							4,2	5,0	5,6
130	184	алевриты	2,70	0,90	2,87	0,96							5,2	5,9	6,6
184	238	пески	3,45	1,92	3,67	2,04							6,0	6,8	7,4
238	292	глины	4,30	1,43	4,57	1,52							7,6	8,3	9,0
292	346	алевриты	5,12	1,71	5,44	1,81							8,4	9,1	9,8
346	400	пески	5,87	3,26	6,24	3,47							9,1	9,9	10,5
400	505	глины	7,53	2,51	7,99	2,66							12,0	12,8	13,4
505	512	алевриты	7,63	2,54	8,10	2,70							11,8	12,5	13,2
512	516	пески	7,68	4,27	8,16	4,54							11,3	12,1	12,7
516	540	глины	8,07	2,69	8,55	2,85							14,0	14,7	15,4

кости в межколонном пространстве при охлаждении в зависимости от начальной и конечной температур горной породы (рис. 4). Таким образом, при анализе скважины не исключаем возможность замерзания жидкости в межтрубном пространстве (замкнутая полость), которое сопровождается быстрым ростом давления в момент ее переохлаждения, что и приводит к мгновенному смятию колонн.

В этом случае, пользуясь эмпирической формулой Бриджмена – Таммана, вычисляем максимально возможные дав-

ления для различных интервалов охлаждения жидкости.

Так, в интервале температур 0...–0,5 °С значение давления составляет 6,4 МПа, что является достаточным для смятия кондуктора 324 мм с толщиной стенки 8,5 мм марки Д. А уже в интервале 0...–3 °С значение давления достигает 36,8 МПа, что практически в 2 раза превышает допустимое давление на эксплуатационную колонну 178 мм с толщиной стенки 8,1 мм марки Д. Следует отметить, что чем ниже начальная температу-

ра мерзлых пород, тем больше давление, развиваемое льдом в межколонном пространстве. Возможной рекомендацией в данном случае является оптимальный выбор марки стали и толщины стенки колонны.

Рис. 4. График давлений в межколонном пространстве при температуре жидкости t , МПа

Далее, анализируя вычисленные значения горного и бокового давлений (рис. 5), мы можем с точностью дать прогноз, что действие взвешенной талой воды в объеме горной породы носит незначительный характер и качественно и количественно

Рис. 5. График изменения горного и бокового давлений в мерзлых и талых породах, МПа:

- горное давление $P_{гор(м)}$;
- радиальное давление $P_{рад(м)}$;
- горное давление с учетом взвешенной воды $P_{гор(в)}$;
- радиальное давление с учетом взвешенной воды $P_{рад(в)}$

не является параметром, который следует учитывать при оценке смятия обсадных колонн. Однако в данной работе значение льдистости принималось постоянным по разрезу 250–300 кг/м³, что является минимально возможным значением. Если же учесть тот факт, что с увеличением глубины льдистость уменьшается и в верхних интервалах принимает максимальное значение (до 900 кг/м³), в нижних – смесь воды и льда (200 кг/м³), а также наличие целиков льда, то данный параметр будет оказывать существенное влияние на значения горного и бокового давлений.

Не менее существенным параметром, который необходимо учитывать, является диаметр каверны за колонной, перекрывающей ММП. Диаметр каверны начинает формироваться в процессе бурения скважины, зависит от кавернозности породы (минеральный состав породы, вид цемента породы и т.п.). Затем, в период эксплуатации, вследствие теплообмена системы скважина – порода, каверна увеличивается в диаметре с течением времени.

Величина возможных сминающих нагрузок на обсадные трубы при замерзании жидкости за колонной может быть определено из выражения

$$P = \frac{E \cdot \alpha (D_k^2 - d^2)^2}{2(1 - \mu) D_k^2} + H - g - \gamma,$$

где P – внешнее давление на колонну; μ , E – коэффициент Пуассона и модуль упругости породы; α – коэффициент объемного расширения жидкости при замерзании; d , D – наружный диаметр колонны; D_k – диаметр каверны; H – глубина; γ – плотность горной породы.

Расчет был выполнен для условий диаметра каверны, превышающего наружный диаметр кондуктора на 100, 200, 400 мм (рис. 6). Согласно полученным данным, для кондуктора интервал возможного смятия 130–540 м, для промежуточной колонны 346–540 м. Для эксплуатационной колонны, при максимально

Рис. 6. Радиусы каверн, превышающие радиус кондуктора:
1 – на 10 см; 2 – на 20 см; 3 – на 40 см

допустимом давлении 20,3 МПа, максимальное значение достигается в интервале 516–540 м и составляет 15,4 МПа, при разнице диаметров каверны и наружного диаметра колонны 400 мм.

В интервале 346–540 м рассчитанные значения давления превышают допустимые для кондуктора и промежуточной колонны. Следовательно, будет нарушена целостность этих колонн, а в эксплуатационной колонне будут увеличиваться сжимающие напряжения, а именно: в данном примере они достигнут 15,4 МПа, приближаясь к максимально допустимому значению для 178 мм колонны с толщиной стенки 8,1 мм марки Д 20,3 МПа. Таким образом, целостность конструкции скважины в данном интервале будет нарушена, а при последующем увеличении давления на эксплуатационную колонну и достижении критического значения последует потеря герметичности скважины, что приведет к аварийной ситуации.

Предотвращение осложнений в скважинах, вызванных таянием многолетнемерзлых пород, достигается в настоящее время применением чисто технических

решений. Наместились два пути решения проблемы: надлежащая обвязка и подвеска обсадных колонн, обеспечивающие сохранность скважины при растеплении мерзлоты и оседании грунта, и термоизоляция обсадных колонн с целью недопущения растепления многолетнемерзлых пород.

Первый способ может быть осуществлен спуском в интервале многолетнемерзлых пород обсадной колонны со скользящими соединениями, которые должны приводиться в действие при усилиях меньше сжимающих для обсадных труб; спуском обсадной колонны, которая бы полностью противостояла усилиям, возникающим при оседании пород.

Второй способ предусматривает применение средств, предотвращающих растепление горных пород в криолитозоне в процессе эксплуатации скважины, при условии, что интервал многолетней мерзлоты полностью перекрыт кондуктором, спускаемым на 100–150 м ниже уровня мерзлых пород.

За эксплуатационной (или промежуточной) колонной цементный раствор

поднимается на 150 м выше башмака кондуктора, а кольцевое пространство между кондуктором и этими колоннами должно быть заполнено до устья скважины незамерзающим теплоизолятором. Теплоизолятор выполняет тройную функцию: предотвращает интенсивный теплообмен между рабочим агентом (нефть, газ) и стенками скважины (мерзлыми породами), а также снижает потерю тепла газом и тем самым уменьшает вероятность образования гидратов в скважине. Кроме того, наличие незамерзающего пространства, заполненного теплоизолятором, предотвращает смятие колонн, которое может произойти в случае длительной остановки скважины при наличии в межтрубном пространстве промысловой жидкости или при циклическом растеплении и смерзании ММП.

Простейший путь обеспечения охлаждения в колонне обсадных труб заключается в том, что в скважину спускают дополнительную делящую колонну труб, которая свободно подвешивается на устье. Эта колонна делит затрубное пространство таким образом, что обеспечивается круговая циркуляция охлаждающего агента. При этом с целью улучшения теплоизоляции могут использоваться и другие кольцевые пространства.

Для предупреждения таяния мерзлых пород у поверхности земли некоторые фирмы в конструкции скважин предусматривают спуск специального направления «термокейса» [11]. Оно сконструировано с использованием 609 и 460 мм труб, располагаемых концентрично одна в другой и свариваемых в одну трубу длиной 18–20 м. В кольцевом пространстве между трубами создается вакуум для обеспечения термической изоляции. Снаружи к трубе 609 мм приваривают охлаждающий трубопровод в виде меевика.

Направление в собранном виде устанавливают в скважину диаметром 760 мм

и цементируют. Трубки для охлаждения устанавливают также на восьми сваях, непосредственно окружающих основную скважину. В качестве жидкости для охлаждения применяют гликоль, который охлаждают в теплообменнике холодильной установки.

В настоящее время значительное внимание уделяется вопросу возможности растепления многолетнемерзлых пород и связанных с этим аварий с обсадными колоннами. Исследованиями на Аляске доказано, что мерзлота может оттаять в радиусе 30–60 м. Отмечается возможность оттаивания пород до 150 м. Усилия, возникающие при оседании растепленных многолетнемерзлых пород, передаются обсадным трубам в результате трения оттаявшего песчаника и гравия, перемещающихся вниз по отношению к обсадной колонне, и составляют примерно 100 кН/м^2 на глубине 150 м. В связи с этим некоторые фирмы предложили использовать специальные конструкции обсадных колонн и способы их крепления.

Предложено в состав кондуктора включать несколько скользящих (телескопических) соединений с длиной свободного хода 3 м, устанавливаемых в наиболее опасных участках ствола скважины. Верхняя часть кондуктора не цементируется. Применение специального оборудования на устье скважины позволяет перемещаться внешним обсадным трубам вниз, в то время как внутренняя обсадная колонна остается в первоначальном положении.

Во избежание аварий с обсадными колоннами в эксплуатационных скважинах, вызванных конвекционным переносом тепла при движении флюида от продуктивного пласта к поверхности земли, предлагается использовать устройство для гидроподвески обсадных труб. Оно позволяет эксплуатационной колонне перемещаться вдоль оси при возникнове-

нии значительных перепадов температур. При этом сохраняется полнопроходность обсадных труб.

Крепление скважин в многолетнемерзлых породах требует особого подхода к выбору тампонажного материала и технологии цементирования. Вследствие низких температур ($-6/-9\text{ }^{\circ}\text{C}$) обычно применяемые цементные растворы замерзают прежде, чем начнется процесс гидратации. Проведенные опыты показали, что в условиях многолетней мерзлоты лучшими являются чистые кальцево-глиноземистые цементы и смесь этих цементов с золой уноса в отношении 50:50. В качестве ускорителей сроков схватывания добавляется до 2 % CaCl_2 , вода затворения подогревается. Данными

промысловых работ установлено, что минимальная температура цементного раствора, закачиваемого в интервал многолетнемерзлых пород, должна быть $+16\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Главное преимущество применения растворов на основе глиноземистых цементов заключается в быстром выделении тепла гидратации при их схватывании. Через 2 ч после затворения отдача тепла этими растворами примерно в 3 раза больше, чем у обычного портландцемента.

Таким образом, успешное освоение громадных запасов нефти и газа, сосредоточенных в арктических зонах Сибири, потребует решения чрезвычайно сложных технических проблем в области бурения и добычи нефти и газа в этих районах.

Список литературы

1. Булатов А.И., Измаилов Л.Б., Лебедев О.А. Проектирование конструкций скважин. – М.: Недра, 1979. – 280 с.
2. Кудряшов Б.Б., Яковлев А.В. Бурение скважин в мерзлых породах. – М.: Недра, 1983.
3. Грязнов Г.С. Конструкции газовых скважин в районах многолетнемерзлых пород. – М.: Недра, 1978.
4. Марамзин А.В., Рязанов А.А. Бурение разведочных скважин в районах распространения многолетнемерзлых пород. – М.: Недра, 1971.
5. Грязнов Г.С. Особенности глубокого бурения скважин в районах вечной мерзлоты. – М.: Недра, 1969.
6. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов. – М.: Высшая школа, 1973. – 448 с.
7. Медведский Р.И. Строительство и эксплуатация скважин на нефть и газ в вечномерзлых породах. – М.: Недра, 1987. – 230 с.
8. Goodman M.A., Wood D.B. A mechanical model for permafrost freeze-back pressure behavior // J. Soc. Petrol. Eng. – 1975. – Vol. 15, № 4. – P. 287–301.
9. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов. – М.: Недра, 1980. – 360 с.
10. Мамедов А.А. Нарушение обсадных колонн при освоении и эксплуатации скважин и способы их предотвращения. – М.: Недра, 1974.
11. Goodman M.A. How permafrost thaw/freez creates wellbore loading // World oil. – 1977. – Vol. 185, № 5. – P. 107–112.

References

1. Bulatov A.I., Izmailov L.B., Lebedev O.A. Proektirovanie konstruktssii skvazhin [Structural design of wells]. Moscow: Nedra, 1979. 280 p.
2. Kudriashov B.B., Iakovlev A.V. Burenie skvazhin v merzlykh porodakh [Drilling wells in permafrost]. Moscow: Nedra, 1983. 286 p.
3. Griaznov G.S. Konstruktsii gazovykh skvazhin v raionakh mnogoletnemerzlykh porod [Construction of gas wells in areas of permafrost]. Moscow: Nedra, 1978. 135 p.
4. Maramzin A.V., Riazanov A.A. Burenie razvedochnykh skvazhin v raionakh rasprostraneniia mnogoletnemerzlykh porod [Exploratory drilling in areas of permafrost]. Moscow: Nedra, 1971. 148 p.
5. Griaznov G.S. Osobennosti glubokogo bureniia skvazhin v raionakh vechnoi merzloty [Features of deep drilling in permafrost regions]. Moscow: Nedra, 1969. 102 p.

6. Tsytoich N.A. Mekhanika merzlykh gruntov [Mechanics of frozen soils]. Moscow: Vysshaia shkola, 1973. 448 p.
7. Medvedskii R.I. Stroitel'stvo i ekspluatatsiia skvazhin na nef't' i gaz v vechnomerzlykh porodakh [Construction and operation of wells for oil and gas in permafrost]. Moscow: Nedra, 1987. 230 p.
8. Goodman M.A., Wood D.B. A mechanical model for permafrost freeze-back pressure behavior. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 1975, vol. 15, no. 4, pp. 287–301.
9. Borisov A.A. Mekhanika gornykh porod i massivov [Rock mechanics and arrays]. Moscow: Nedra, 1980. 360 p.
10. Mamedov A.A. Narushenie obsadnykh kolonn pri osvoenii i ekspluatatsii skvazhin i sposoby ikh predotvrashcheniia [Violation of casings during the development and operation of wells and how to prevent them]. Moscow: Nedra, 1974. 200 p.
11. Goodman M.A. How permafrost thaw/freezes creates wellbore loading. *World oil*, 1977, vol. 185, no. 5, pp. 107–112.

Об авторах

Зверев Георгий Васильевич (Иркутск, Россия) – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры нефтегазового дела Национального исследовательского Иркутского государственного технического университета (664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83; e-mail: info@istu.edu).

Тарасов Александр Юрьевич (Иркутск, Россия) – Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет (664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83; e-mail: tarasovau1990@mail.ru).

About the authors

Georgii V. Zverev (Irkutsk, Russian Federation) – Ph.D. in Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Department of Oil and Gas Engineering, National Research Irkutsk State Technical University (664074, Irkutsk, Lermontova st., 83; e-mail: info@istu.edu).

Aleksandr Yu. Tarasov (Irkutsk, Russian Federation) – National Research Irkutsk State Technical University (664074, Irkutsk, Lermontova st., 83; e-mail: tarasovau1990@mail.ru).

Получено 28.08.2013