

5. Авербух В. М. Алгоритм технологического прогнозирования и его информационное обеспечение // Вестник СКФУ. 2014. № 3 (42). С. 30–36.
6. Авербух В. М. Информационное обеспечение научно-технического прогнозирования // НТИ. 1982. Сер.1, № 5. С. 7–9.
7. Авербух В. М. Основные положения и этапы создания банка данных по физико-химическим свойствам люминофоров // Сб. трудов ВНИИ люминофоров «Исследования и свойства люминофоров и особо чистых веществ». Вып. 26. Ставрополь, 1984. С. 135–141.
8. Авербух В. М. Составление обзоров о состоянии технического уровня производства в отрасли (по профилю ВНИИ люминофоров) в сопоставлении с передовыми достижениями мировой практики. Разработка прогноза развития отрасли на XI пятилетку (отчет по НИР). № Гос. регистр. 76061771. От 06.07.1976. Инв. № Б982646. 58 с.
9. Авербух В. М., Михалева Р. И. и др. Система отраслевых обзоров, как информационная база прогнозирования и перспективного планирования // НТИ. 1974. Сер.1, № 7. С. 24–25.
10. Авербух В. М., Бутримович В. В., Чебанов О. П. Информационная деятельность и вопросы прогнозирования // НТИ. 1971. Сер. 2, № 8. С. 5–7.
11. Авербух В. М., Бунин А. М., Анфимова И. В. Стандартизация работ по научно-техническому прогнозированию в НИИ // Стандарты и качество. 1981. № 7. С. 26–28.

УДК 622.276.55

**Васильев Владимир Андреевич, Гунькина Татьяна Александровна,
Ливинцев Петр Николаевич, Турская Ольга Юрьевна**

К ВОПРОСУ ДИАГНОСТИКИ СКВАЖИН ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ ГАЗА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА КОЭФФИЦИЕНТОВ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

В статье рассматривается диагностика скважин подземных хранилищ газа по результатам анализа коэффициентов фильтрационных сопротивлений. Результаты вычислений для скважин Касимовского ПХГ с гравийными фильтрами представлены и сравнены.

Ключевые слова: призабойная зона, режим эксплуатации, гравийный фильтр, фильтрация газа.

**Vasiliev Vladimir A., Gunkina Tatyana A., Livintsev Petr N.,
Turskaya Olga Yu.**

REGARDING THE ISSUE OF WELLS DIAGNOSTICS OF UNDER-GROUND GAS STORAGE BASED ON FILTRATION RESISTANCE COEFFICIENT

The item offers a view on the diagnostics of wells in underground gas storage based on filtration resistance coefficient. There is also a presentation and comparison of the outcomes of calculation for the wells of Kasimivsky underground gas storage with gravel filter.

Key words: well bottom zone, exploitation mode, gravel filter, gas filtration.

Эффективность эксплуатации подземного хранилища газа во многом определяется продуктивной характеристикой скважин. Исходной информацией для установления режима работы скважин в цикле «закачка – отбор» газа являются данные газодинамических исследований при установившейся фильтрации. Исследования при неустановившейся фильтрации обычно не проводятся ввиду быстротечности процесса восстановления давления в высокопроницаемом пласте.

Интерпретация результатов исследований представляет определенные трудности, особенно в условиях слабоустойчивых терригенных коллекторов, склонных к пескопроявлению, тем более что существующие конструкции забойного оборудования эксплуатационных скважин ПХГ не позволяют оценить состояние фильтровой части прямыми замерами, в том числе методами ГИС.

Циклическая работа ПХГ, знакопеременные нагрузки по расходу газа и по пластовому давлению, изменяющийся состав кольматирующего материала находят свое отражение в результатах исследования.

Выявление факторов, изменяющих фильтрационные характеристики пласта и продуктивность скважин и их учет при проектировании режимов работы эксплуатационного фонда определяет основную цель диагностики скважин.

Диагностика призабойных зон скважин ПХГ по результатам газодинамических исследований при установившейся фильтрации выполнена в работе [1]. Газодинамические исследования скважин, подтверждают нелинейную зависимость дебита от депрессии на пласт. Уравнение притока газа к скважине имеет вид

$$P_{пл}^2 - P_{заб}^2 = A Q_o + B Q_o^2,$$

где $P_{пл}$ – пластовое давление; $P_{заб}$ – забойное давление; Q_o – дебит газа при нормальных условиях; A и B – коэффициенты фильтрационных сопротивлений.

Коэффициент A учитывает потери давления за счет внутреннего трения слоев газа друг о друга и трения газа о стенки поровых каналов. Коэффициент B характеризует потери давления на преодоление инерционных сопротивлений, зависящих от величины пористости пласта, обусловленных изменением величин и направлений скоростей частиц флюида из-за извилистости поровых каналов, изменения их просветных площадей.

Величины коэффициентов A и B определялись по результатам газодинамических исследований.

В табл. 1 и 2 представлены доли скважин в процентах за 1981–1996 годы (для Касимовского ПХГ приведены также данные по результатам ГДИ в 2010 году) при вариации значений коэффициентов A и B (В Канчуринском и Степновском ПХГ тип коллектора карбонатный, в остальных ПХГ – терригенный).

Таблица 1

Доли скважин в процентах при вариации значений коэффициента A

Наименование ПХГ	Газонас. толщина h _{гн} , м	Вариации значений коэффициента A , 10^{-2} МПа ² / (тыс. м ³ /сут), %					
		меньше 0,1	0,1–0,5	0,5–2	2–5	5–15	15–50
Касимовское, 1981–1986 гг.	10	–	21,4	61,4	14,3	2,9	–
Касимовское, 2010 г.	10	14,5	23,2	37,7	20,3	4,3	–
Канчуринское	14–106	7,0	72,0	7,0	7,0	7,0	–
Степновское	20	6,7	26,7	43,2	16,7	6,7	–
Елшано– Курдюмское	20–25	4,2	33,9	45,8	11,0	5,1	–
Песчано– Уметское	10–30	7,3	9,8	49,3	29,2	9,8	–
Увязовское	10	7,7	23,1	46,1	15,4	7,7	–
Кущевское, вертик. скв	16–33	1,7	1,7	8,3	8,3	28,3	46,7
Кущевское, гориз. скв	16–33	–	6,7	20,0	53,3	20,0	–

Таблица 2

Доли скважин в процентах при вариации значений коэффициента В

Наименование ПХГ	Газонас. толщина h _{гн} , м	Вариации значений коэффициента А, 10 ⁻² МПа ² / (тыс. м ³ /сут), %					
		меньше 0,0005	0,0005–0,001	0,001–0,005	0,005–0,02	0,02–0,1	0,1–0,5
Касимовское, 1981–1986 гг.	10	6,6	7,0	38,8	34,3	9,1	4,2
Касимовское, 2010 г.	–	3,1	8,7	40,5	36,2	10,1	1,4
Канчуринское	14–106	21,4	21,4	43,0	7,1	7,1	–
Степновское	20	–	10,3	37,9	34,5	17,3	–
Елшано– Курдюмское	20–25	14,4	15,3	39,0	22,0	6,8	2,5
Песчано– Уметское	10–30	14,6	9,8	36,6	31,7	7,3	–
Увязовское	10	5,9	7,8	25,5	33,3	21,6	5,9
Кушевское, вертик. скв	16–33	–	–	6,9	20,7	43,1	26,3
Кушевское, гориз. скв	16–33	3,4	24,1	45,0	24,1	3,4	–

Распределение значений коэффициентов фильтрационных сопротивлений А и В в таблицах 1 и 2 характеризуется существенными вариациями (по А – от величин меньших 0,1 до 50) · 10⁻² МПа² / (тыс. м³/сут), (по В – от значений меньших 0,0005 до 0,5) · 10⁻² МПа² / (тыс. м³/сут)² · 10⁻² по скважинам ПХГ. Однако, для каждого хранилища газа основная доля скважин приходится на некоторый определенный интервал значений А и В. Основные доли скважин находятся в пределах численных значений коэффициента А = (0,1 – 2) · 10⁻² МПа² / (тыс. н м³/сут), коэффициента В = (0,001 – 0,02) · 10⁻² МПа² / (тыс. м³/сут)² · 10⁻².

Хотя, как указано выше, физический смысл коэффициентов А и В различен, для исследователей, обрабатывающих индикаторные диаграммы, будет полезным отметить следующее. Основной интервал численных значений коэффициента А для рассматриваемых ПХГ оказался на два порядка выше чем для коэффициента В.

На Кушевском ПХГ с низкими коллекторскими свойствами доля вертикальных скважин имеет самые большие сопротивления трения А и нет горизонтальных скважин с самыми низкими и самыми высокими сопротивлениями А. На нем нет вертикальных скважин в первых областях малых значений коэффициента В.

Динамика коэффициентов А и В во времени проанализирована по результатам газодинамических исследований скважин Касимовского ПХГ.

Из сравнения результатов табл. 1, следует, что за 14 лет на Касимовском ПХГ произошло значительное изменение фильтрационных сопротивлений трения А. С 61,4 до 37,7 % уменьшилась доля скважин в области основных пределов величин. Поэтому появилось 14,5 % скважин с коэффициентами сопротивлений меньше А = 0,1 · 10⁻², несколько увеличились и доли скважин в остальных областях пределов величин. Таким образом, в результате длительной циклической работы Касимовского ПХГ значительно увеличилось рассеяние коэффициента А в сторону малых его значений при уменьшении доли скважин в области основных пределов его величин и некотором увеличении доли скважин в оставшихся пределах величин. При вскрытии пласта пропластки в той или иной мере кольматировались твердой фазой глинистого раствора. При последующей циклической работе ПХГ пропластки постепенно освобождались, образовались локальные каналы фильтрации с повышенной проницаемостью, что и обусловило полученные результаты.

Из табл. 2 видно, что за прошедшие 14 лет на Касимовском ПХГ распределение скважин по значениям коэффициента инерционных фильтрационных сопротивлений B изменилось незначительно – в областях самых малых и самых больших значений коэффициентов доля скважин немного снизилась, а в остальных областях повысилась.

Касимовское ПХГ – самое крупное газохранилище, созданное в водоносном пласте. Объектом закачки и отбора газа на Касимовском ПХГ является нижняя песчаная пачка щигровского горизонта мощностью до 20 м, которая характеризуется значительной фациальной изменчивостью и представлена незакономерным по площади и разрезу чередованием слабосцементированных песчано-алевролитовых пород, содержащих отдельные прослои глин. Глубина залегания кровли пласта – коллектора в сводовой части поднятия 760–780 м, на погружениях 820 м. Сетка скважин 60×60 м и 100×100 м. Скважины оборудованы эксплуатационной колонной диаметром 168 мм и колонной НКТ в основном диаметром 89 мм (в 13 скважинах 73 мм, в 8 скважинах 144 мм).

Основные проблемы эксплуатации ПХГ связаны с разрушением пласта-коллектора и выносом песка из пласта в скважину. Метод защиты от пескопроявления – оборудование забоя скважин фильтрами. Используются четыре типа фильтров: Союзбургаза – 11 скважин, ВНИИгаза в перфорированной колонне – 142 скважины, ВНИИгаза с расширенным забоем – 129 скважин, лавсановый фильтр – 5 скважин. Затрубное пространство каждой скважины над фильтром герметизировано пакером. Вскрытая толщина пласта в среднем 10 м. Длина фильтра от 6 до 12 метров. Проницаемость пласта в среднем 2,2 мкм², пористость до 0,29. Скважины сгруппированы в 8 кустов, из которых газ поступает на групповой сборный пункт (ГСП).

Интерес представляет анализ значений коэффициентов A и B в зависимости от типа фильтра. В табл. 3 и 4 показаны результаты обработки гидродинамических исследований, проведенных в 2010 году на скважинах Касимовского ПХГ с фильтрами (ВР) в расширенной ПЗП, с фильтрами (ВП) в перфорированной колонне.

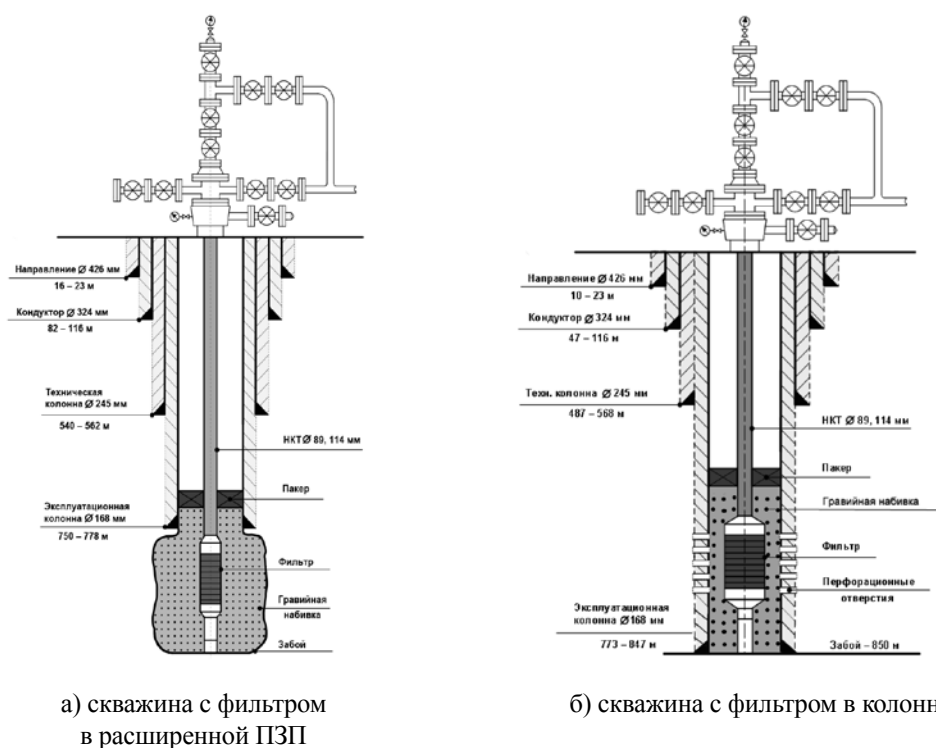


Рис. 1. Конструкции забоя скважин с двумя типами фильтров на Касимовском ПХГ

Таблица 3

**Доли скважин в процентах с фильтрами (ВР) в расширенной ПЗП,
в перфорированной колонне (ВП) при вариации значений коэффициента A**

Тип фильтра	Вариации значений коэффициента A , $10^{-2}\text{МПа}^2 / (\text{тыс. м}^3/\text{сут}), \%$				
	меньше 0,1	0,1–0,5	0,5–2	2–5	5–15
ВР, 40скв., ГСП 1-6	15	32,5	22,5	25	5
ВП, 26скв., ГСП 1-6	15,4	11,4	61,5	7,8	3,9
ВР, 14 скв. большого диаметра, ГСП 8	50	50	–	–	–

Из табл. 3 видно, что на Касимовском ПХГ:

- при заполнении песком пространства вокруг фильтра (ВР) в расширенной ПЗП доли скважин распределились сравнительно равномерно по выбранным неравным интервалам фильтрационных сопротивлений трения A , с основной долей скважин в 32,5 % при $A=(0,1 - 0,5)\times 10^{-2}$, но к малой доле скважин (5 %) в интервале наибольших величин сопротивлений A ;
- при заполнении песком пространства вокруг фильтра (ВП) внутри перфорированной колонны доля скважин в интервале наименьших величин A такова же как и для фильтра (ВР), в остальных интервалах эти доли меньше чем для (ВР), кроме основного интервала $A=(0,5 - 2,0)\times 10^{-2}$ (большим чем для фильтра ВР) со всплеском доли скважин до 61,5 %;
- естественно, что в скважинах большого диаметра заполнение песком пространства вокруг фильтра (ВР) в расширенной ПЗП оказалось наименее плотным, поэтому доли скважин распределились между интервалами с наименьшими фильтрационными сопротивлениями трения A .

Таблица 4

**Доли скважин в процентах с фильтрами (ВР) в расширенной ПЗП, (ВП)
в перфорированной колонне при вариации значений коэффициента B**

Тип фильтра	Вариации значений коэффициента B , $10^{-2}\text{МПа}^2 / (\text{тыс. м}^3/\text{сут}), \%$				
	меньше 0,0005	0,0005–0,0010	0,0011–0,0050	0,0051–0,0200	0,0201–0,1000
ВР, 40скв., ГСП 1-6	5	12,5	40	32,5	10
ВП, 26скв., ГСП 1-6	–	–	46,2	42,3	11,5
ВР, 14 скв. большого диаметра, ГСП 8	78,6	14,3	7,1	–	–

Из таблицы 4 видно, что на Касимовском ПХГ доли скважин при вариации значений коэффициента инерционного сопротивления B распределились так:

- по скважинам оборудованным фильтрами (ВР) в расширенной ПЗП с рассеянием по всем выбранным интервалам распределения величин коэффициента B ;
- при оборудовании фильтрами (ВП) в перфорированной колонне отсутствовали скважины с инерционными сопротивлениями меньшими $B = 0,001 \cdot 10^{-2}\text{МПа}^2/(\text{тыс. м}^3/\text{сут})^2 \cdot 10^{-2}$;
- при значительном преобладании доли скважин большого диаметра с фильтрами (ВР) в расширенной ПЗП в области инерционных сопротивлений меньших $0,0005 \cdot 10^{-2}\text{МПа}^2/(\text{тыс. м}^3/\text{сут})^2 \cdot 10^{-2}$.

Механизм кольтатации гравийных фильтров рассмотрен в отчете ВНИИгаза [2,3], где также утверждается возможность образования струйных потоков с дальнейшим абразивным износом каркаса фильтра. На Касимовском ПХГ отмечаются случаи локального разрушения каркаса фильтров, вынос гравийной набивки и кусков породы размером до 5 см.

Литература

1. Арутюнов А. Е., Удодов Д. А., Борхович С. Ю., Васильев В. А. Диагностика газовых скважин, оборудованных фильтрами, по результатам газодинамических исследований // Проблемы капитального ремонта скважин и эксплуатации ПХГ. Сборник научных трудов СевКавНИПИгаза, Ставрополь, 2001 г., вып. 34. С. 71-77.
2. Выполнить разработку по оптимизации режима эксплуатации ПХГ, созданных в слабосцементированных коллекторах с учетом знакопеременных нагрузок и длительности их работы. М.: ВНИИГаз, 1993.
3. Прогноз выноса песка и обоснование предельных дебитов по фонду скважин Касимовского ПХГ. М.: ВНИИГаз, 2011.

УДК 624.154.1

**Галай Борис Федорович, Сербин Виталий Викторович,
Плахтюкова Виктория Сергеевна**

ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ПОД ВЗРЫВООПАСНЫЕ ОБЪЕКТЫ ПРИКУМСКОГО ЗАВОДА ПЛАСТМАСС (ООО «СТАВРОЛЕН») В Г. БУДЕННОВСК

Взрывоопасные объекты крупнейшего в России нефтехимического комплекса были вначале за-проектированы на ненадежных забивных сваях в просадочных грунтах. В отличие от «Атоммаша» в г. Волгодонске, предаварийную ситуацию в Буденновске удалось предотвратить в процессе строи-тельства, а в некоторых случаях отказаться от свай. Рекомендовано изучить состояние фундаментов после 40 лет их эксплуатации в агрессивно-сульфатных грунтовых водах и повышенной сейсмичности площадки.

Ключевые слова: взрывоопасные объекты, просадочные грунты, проектирование свайных фун-даментов.

Galay Boris F., Serbin Vitaly V., Plakhtyukova Viktoria S.
**ISSUES IN DESIGNING PILES FOUNDATION FOR POTENTIALLY EXPLOSIVE
FACILITIES AT PRIKUMSKY PLASTICS PLANT (JSC STAVROLEN)
IN CITY OF BUDENNOVSK**

The potentially explosive facilities of Russia's largest oil-chemical plant were initially designed on improper piles in subsiding soils. Unlike Atommas (City of Volgograd, Russia), the emergency in Budennovsk was averted at the stage of construction, and in some cases the pile construction was rejected. It is recommended that the fundaments be examined after 40 years of being used in aggressive sulfate ground waters and increased seismic activity of the site.

Key words: explosive facilities, subsiding soils, piles foundation design.

Прикумский завод пластмасс с самого начала был запроектирован как крупнейший в мире ком-плекс по производству высококачественного полиэтилена, затем он был переименован в ПО «Став-ропольполимер» и ныне ООО «Ставролен» как дочернее предприятие ОАО «ЛУКОЙЛ». Сегодня это крупнейший нефтехимический комплекс России с высокотехнологичным оборудованием, который производит полиэтилен, пропилен, бутилен, бензол нефтяного и других производств (рис. 1). Став-ролен является основным градообразующим предприятием Буденновска, на котором трудится более трех тысяч человек, ежегодно отчисляет в бюджет края свыше 1 млрд. рублей.

Площадка завода расположена к западу от жилой застройки. Территория Буденновска характе-ризуется сплошным распространением просадочных лёссовых грунтов [1], которые с самого начала осложнили строительство взрывоопасных объектов Прикумского завода пластмасс.