УДК 622.692.24.69

ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ТОННЕЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ В МАЛОМОЩНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ СОЛИ

POSSIBILITIES OF CREATION OF TUNNEL RESERVOIRS IN LOW THICKNESS SALT DEPOSITS

Гурбанов Абдулага Наби
доктор технических наук,
профессор,
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности
qabdulaga@mail.ru

Сардарова Иджавика Зийа
кандидат технических наук,
доцент,
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

Gurbanov Abdulaga Nabi
Doctor of Technical Sciences,
Professor,
Azerbaijan State University of Oil and Industry
qabdulaga@mail.ru

Sardarova Ijavika Ziya
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Azerbaijan State University of Oil and Industry

Аннотация. В последние годы в развитых зарубежных странах сохраняется устойчивая тенденция к приоритетному использованию ПХГ в месторождениях каменной соли для покрытия пиковых нагрузок газопотребления. В составе системы газоснабжения Азербайджанской Республики в настоящее время эксплуатируются Калмазское и Гарадагское ПХГ, сооруженные на базе старых углеводородных месторождений. Наряду с мероприятиями по увеличению объема действующих ПХГ, SOCAR работает над созданием подземного газохранилища в Нахичеванской Автономной Республике на базе месторождения соли. В статье отмечено, что использование пластов каменной соли малой мощности для строительства подземных хранилищ наиболее эффективно при сооружении резервуаров в виде протяженной (тоннельной) выработки с поперечными сечениями, ограниченными мощностью пласта. Технологические схемы сооружения тоннельных резервуаров можно классифицировать по следующим признакам: по количеству скважин на один резервуар; по виду и компоновке скважин резервуара; по занимаемому положению центральной колонны в горизонтальном стволе скважины в процессе сооружения резервуара; по способу подачи растворителя. Используя предложенные в работе схемы сооружения горизонтальных тоннельных резервуаров можно создать ПХГ в соляных отложениях участка Тумбул в Нахичеванской АР для регулирования неравномерности обеспечения газом и покрытия сезонных пиков потребления газа.

Ключевые слова: подземных хранилищах газа (ПХГ), месторождениях каменной соли, промывка солей, тоннельных резервуаров, вертикальных тоннельных резервуаров.

Annotation. In recent years, in foreign advanced country there remains a steady trend towards priority use of UGS in rock salt deposits to cover peak loads in gas consumption. Kalmaz and Garadagh underground gas storages constructed on the basis of old hydrocarbon fields are currently operated as part of Gas Supply System in the Republic of Azerbaijan. Along with efforts to increase the storage capacity of the existing UGS, SOCAR works on the creation of underground gas storage on the basis of salt deposits in the Nakhichevan Autonomous Republic. The article mentions that utilization of low-power rock salt beds for the creation of underground storage is more efficient when reservoirs are constructed as extended tunnel excavation with cross-sections, limited to the reservoir capacity. Technological schemes of tunnel reservoirs construction can be classified due to: number of wells per a reservoir; type and layout of the reservoir wells; position of central column in the horizontal wellbore under the reservoir construction; method for supply of solvent. Using the layouts of horizontal tunnel storage facilities proposed in the paper we can create UGS in Tumbul salt deposits to control non-uniformity of gas supply and cover seasonal peak gas consumption in Nakhichevan AR.

Keywords: underground gas storage, salt fields, leaching of salt, tunnel reservoir, vertical tunnel reservoir.

Введение. Как известно, около 20 % территории Азербайджанской Республики, включая 7 районов Карабахского региона находилась под оккупацией. Одновременно, Нахичеванская Автономная Республика уже более 30 лет находится в блокаде со стороны Армении, что создает проблему обеспечения ее необходимым объемом газа во время сезонных пиковых нагрузок. Учитывая, что в Нахичеванской АР нет месторождений нефти и газа, в которых после истощения можно было бы создать подземное хранилище газа (ПХГ) для указанных целей, рассматривается проблема создания на ее территории хранилища в отложениях каменной соли.

В последние годы в развитых зарубежных странах сохраняется устойчивая тенденция к приоритетному использованию ПХГ в месторождениях каменной соли для покрытия пиковых нагрузок газопотребления. Под пиковыми нагрузками понимается дефицит газопотребления в периоды резких

похолоданий, аварий, стихийных бедствий. ПХГ в каменной соли является самым рациональным источником покрытия пикового спроса на газ. Будучи не велики по объему хранимого газа, они могут эксплуатироваться в «рывковом» режиме со значительно большей производительностью при отборе газа. Темпы отбора газа из соляных каверн обычно ограничены только мощностью наземных установок осушки отбираемого газа [1].

Еще одним преимуществом ПХГ в соляных месторождениях является небольшой объем буферного газа, составляющий 20–25 % общего объема, тогда как в подземных хранилищах, созданных в пористых структурах, он составляет около 50 % общего объема газа.

В настоящее время ПХГ в отложениях каменной соли составляют 13,2 % от общего числа хранилищ, а объем активного газа – 6 %, но их количество с каждым годом растет (рис. 1).

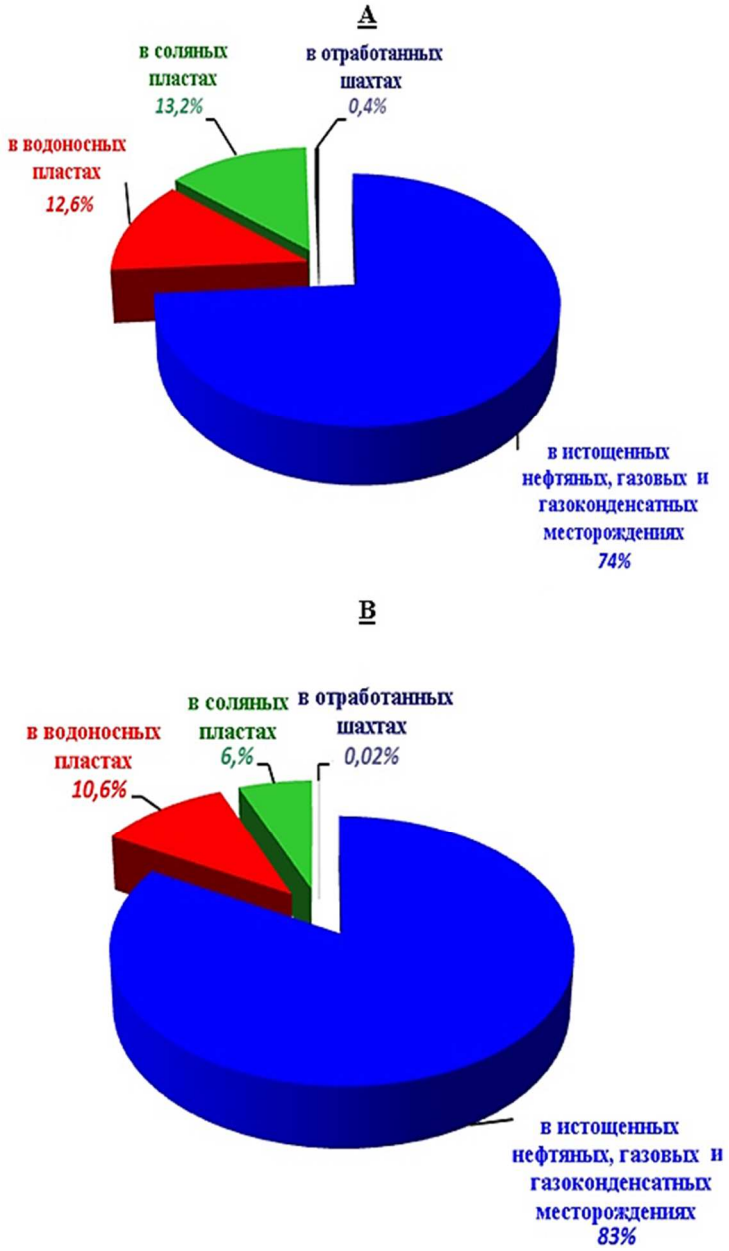

Рисунок 1 – Распределение ПХГ по количеству (А) и объему активного газа (Б)

Выделение общий проблемы. В составе системы газоснабжения Азербайджанской Республики в настоящее время эксплуатируются Калмазское и Гарадагское ПХГ, сооруженные на базе старых углеводородных месторождений. Наряду с мероприятиями по увеличению объемов действующих ПХГ, Государственная Нефтяная Компания Азербайджанской Республики работает над созданием подземного газохранилища в Нахичеванской Автономной Республике (НАР), находящейся в блокаде. Газохранилище в НАР планируется создать на базе месторождения соли [2].

Основные критерии, необходимые для создания ПХГ в каменной соли следующие [3]:

– глубина залегания соляной залежи не должна превышать 1700 м (приемлемый интервал 400–1500 м);

– минимальная мощность соляного пласта определяется экономической целесообразностью создания ПХГ (≥ 40 м);

– отсутствие быстро растворимых прослоев калийно-магниевых солей;

– мощность не солевых пропластков не более 2,5 м;

– содержание в соли рассеянных нерастворимых пород не более 35 %;

– отсутствие в соляной залежи тектонических нарушений;

– герметичность выше- и нижележащих горизонтов;

– приемлемые физико-механические свойства каменной соли.

Основной материал исследования. В рамках планов по созданию нового хранилища на участке «Тумбул» месторождения «Нехрям» Нахичеванской АР уже были пробурены три разведочные скважины. Согласно первичным данным, мощность соли здесь составляет 52 метра, тогда как уже при толщине залегания в 40 метров создание подземного газохранилища считается целесообразным. Для обеспечения газом Нахичеванской АР было принято решение о создании подземного газохранилища с объемом хранения 150 млн м^3.

При разведочном бурении для поиска соленосных отложений с целью создания ПХГ ставилась задача установить глубину залегания и изменения мощностей соленосной толщи, определить физико-механические свойства соляных отложений, наличия покрышки над солью, ее характеристики и т.д. При этом преследовалась цель детально изучить не только соленосную толщу, но и перекрывающие и подстилающие отложения с тем, чтобы установить их роль в качестве покрышки и убедиться в отсутствии притоков вод.

Проведенный анализ показал, что глубина залегания соляной залежи, физико-механические свойства каменной соли, не большое содержание рассеянных нерастворимых пород, отсутствие легко растворимых солей – все эти параметры благоприятные и показывают на целесообразность дальнейшего развития геологоразведочных работ по созданию ПХ на изучаемом объекте.

Использование пластов каменной соли малой мощности для строительства подземных хранилищ наиболее эффективно при сооружении резервуаров в виде протяженной (тоннельной) выработки с поперечными сечениями, ограниченными мощностью пласта [4].

Технологические схемы сооружения тоннельных резервуаров можно классифицировать по следующим признакам: по количеству скважин на один резервуар; по виду и компоновке скважин резервуара; по занимаемому положению центральной колонны в горизонтальном стволе скважины в процессе сооружения резервуара; по способу подачи растворителя.

Односкважинные резервуары. Вертикально-горизонтальные скважины бурят с направлением горизонтальной части ее ствола по падению или простиранию пласта соли. Для максимального использования мощности соляного тела горизонтальную ветвь скважины располагают как можно ближе к подошве пласта соли. Скважину закрепляют обсадной колонной с заглублением башмака в верхнюю часть пласта соли. В скважину опускают центральную технологическую колонну труб и дополнительную внешнюю технологическую колонну труб. В обсадную колонну труб подают жидкий или газообразный нерастворитель [5]. Технологическая схема односкважинного тоннельного резервуара показана на рисунке 2. Указанный способ сооружения подземного хранилища в отложениях каменной соли ограниченной мощности применен на Талаканском газонефтяном месторождении в Якутии. Мощность пласта каменной соли составляет 44 м. Из одной скважины возможно создать два подземных резервуара следующим образом: из скважины извлекают технологические колонны труб. В нижней части вертикального участка скважины, ниже башмака обсадной колонны труб, устанавливают перемычку и производят бурение другого наклонно-горизонтального участка скважины, направленного в противоположную сторону относительно первоначального. По этим схемам возможно создание нескольких резервуаров с использованием одного и того же вертикального участка скважины.

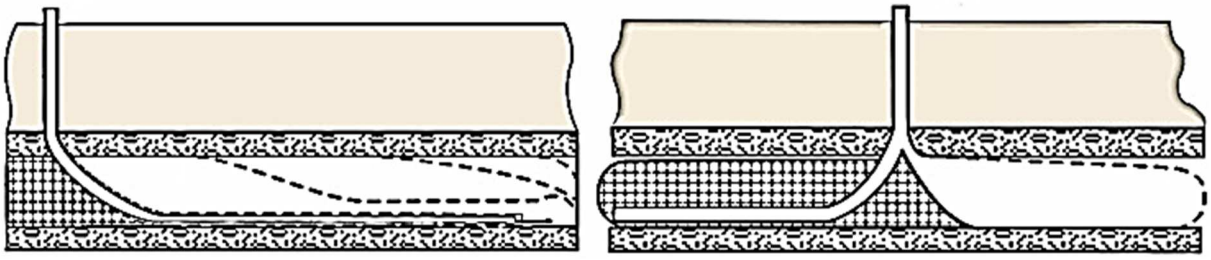

Рисунок 2 – Схема односкважинного тоннельного резервуара

Резервуары в пределах горизонтальной ветви вертикально-горизонтальной скважины сооружают по двум схемам: с неизменным положением рабочих колонн скважины, с периодическим перемещением рабочих колонн скважины [6].

В работе предлагается создание тоннельного резервуара последовательно с помощью субполостей. Выщелачивание резервуара можно проводить двумя способами: посредством создания отверстий во внешней технологической колонне труб и путем бурения в прилегающий слой, содержащий малорастворимые соли или вообще не растворимые породы. Толщина соляного отложения может быть от 30 до 100 м. Первой создается субполость, отдаленная от устья скважины. Далее водоподающая колонна вытягивается назад до следующего отверстия. В итоге формируется открытый контур для циркуляции.

Учитывая недостатки, присущие технологии строительства тоннельных резервуаров с применением односкважинного варианта растворения каменной соли, разработана технология строительства двухскважинных тоннельных резервуаров.

Двухскважинные резервуары. Рассматриваются два варианта технологии создания тоннельного резервуара с применением двух скважин. Первый вариант технологии позволяет осуществить строительство тоннельного резервуара через две вертикальные скважины методом рециркуляции растворителя (рис. 4) [1].

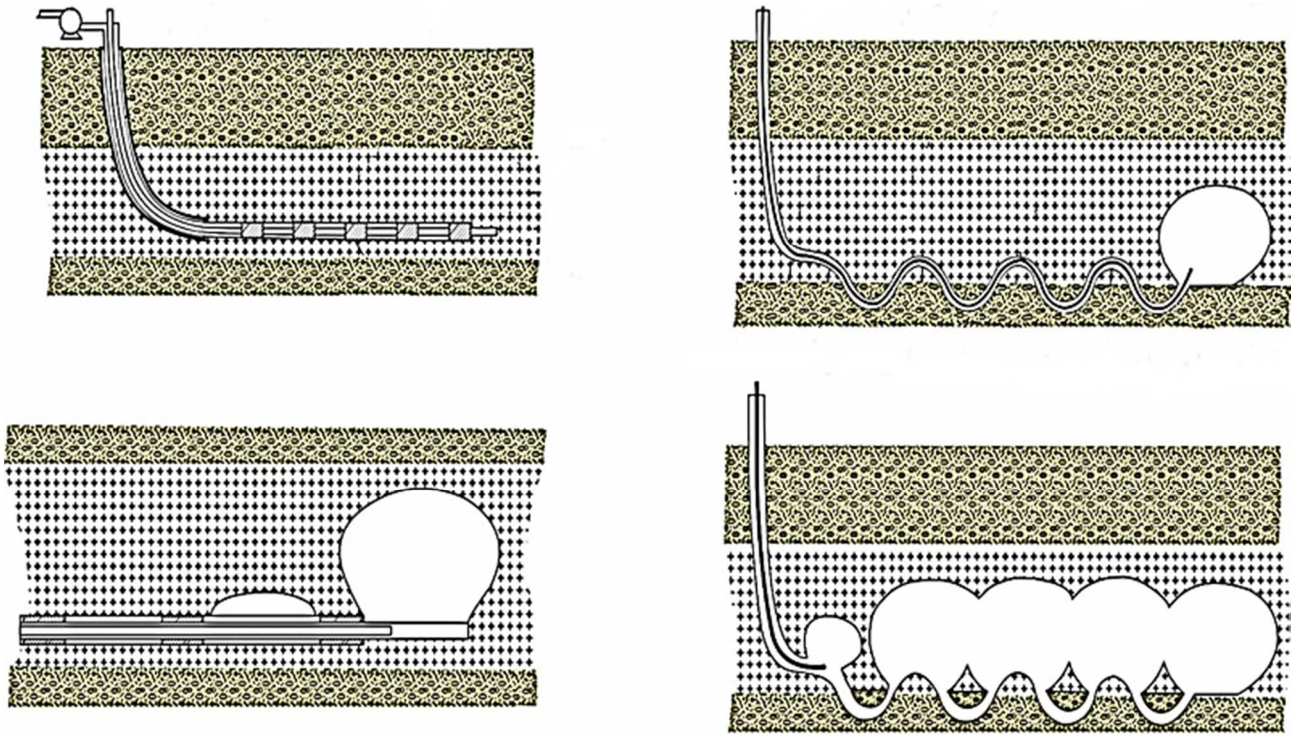

Рисунок 3 – Схема создания тоннельного резервуара с использованием субполостей

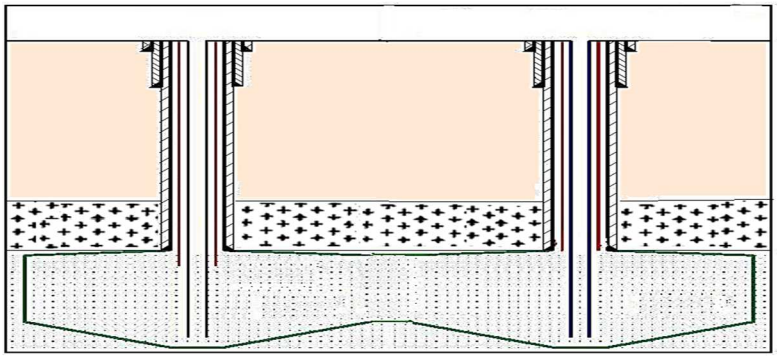

Рисунок 4 – Схема создания тоннельного резервуара с помощью вертикальных скважин

Второй вариант реализуется с использованием вертикально-горизонтальной и вертикальной скважины (рис. 5) [7]. Существуют две схемы сооружения резервуаров по второму варианту: с неизменным положением рабочих колонн вертикально-горизонтальной скважины, с периодическим перемещением рабочих колонн вертикально-горизонтальной скважины [8]. На начальном этапе растворения пород между башмаками обсадной и технологической колонн труб вертикально-горизонтальной и

вертикальной скважин создают подготовительную выработку на проектную высоту подземного тоннельного резервуара. В технологическую колонну труб вертикально-горизонтальной скважины подают воду, а образующийся рассол отбирают по технологической колонне труб вертикальной скважины на поверхность. В обсадные колонны труб скважин подают нерастворитель с поддержанием уровня границы раздела нерастворитель-рассол в верхней части подготовительной выработки или при ступенчатом растворении пород – на уровне кровли каждой ступени формирования подземного тоннельного резервуара.

Преимуществом двухскважинных технологии является меньший срок строительства подземного резервуара по сравнению с односкважинной технологией, что обусловлено ведением процесса растворения через две скважины.

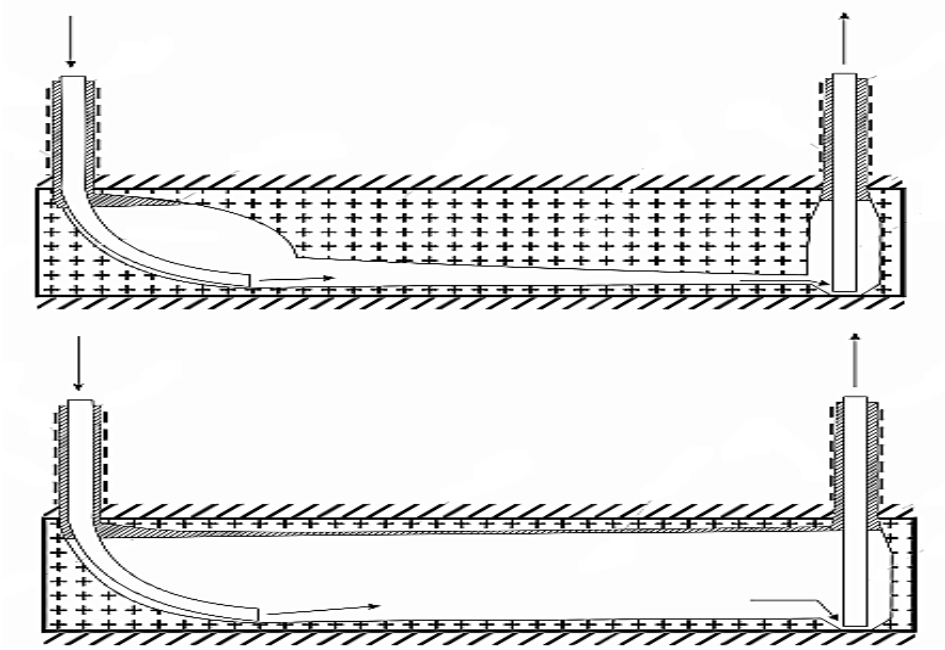

Рисунок 5 – Схема создания тоннельного резервуара посредством вертикальной и горизонтальной скважин

Создание горизонтального резервуара возможно и с помощью наклонной и вертикальной скважин. Технологическая колонна труб наклонной скважины перфорируется, а конец трубы блокируется. Растворитель подается по наклонной скважине, а отбирается из вертикальной. Чтобы максимально использовать соленосный пласт в работе предлагается схема создания серии пещер (рис.6). В центре бурятся наклонные скважины, а вокруг вертикальные. В работе также предложен второй способ создания горизонтального резервуара путем перемещения технологической колонны назад или вперед по мере размыва.

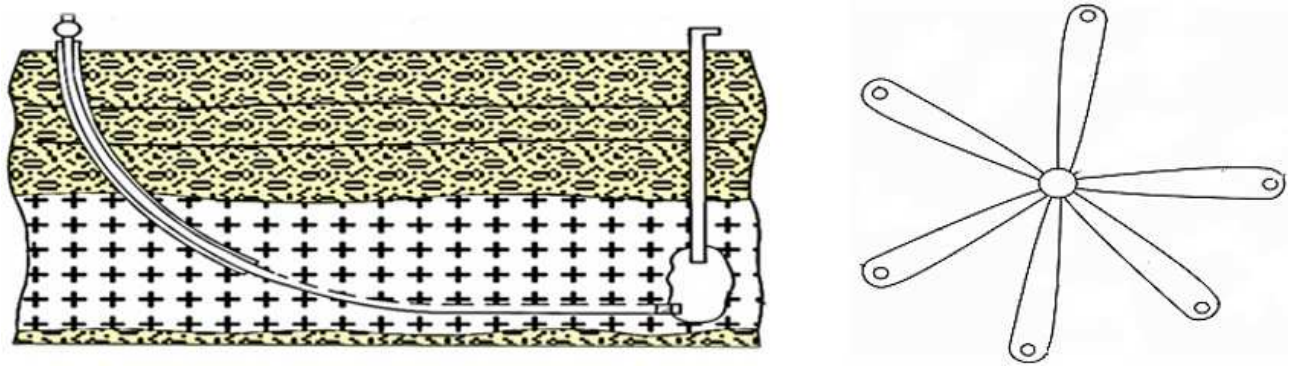

Рисунок 6 – Схема создания тоннельного резервуара с помощью наклонной и вертикальной скважины

В работе [9] с помощью вертикальной и горизонтальной скважин вблизи вертикальной скважины (откуда производится закачка растворителя) предлагается создание «слепого тоннеля» (рис. 7). Из-за

разности плотностей воды и рассола открытый конец «слепого тоннеля» должен быть ниже закрытого. В показана возможность создания слепого тоннеля посредством одной горизонтальной скважины.

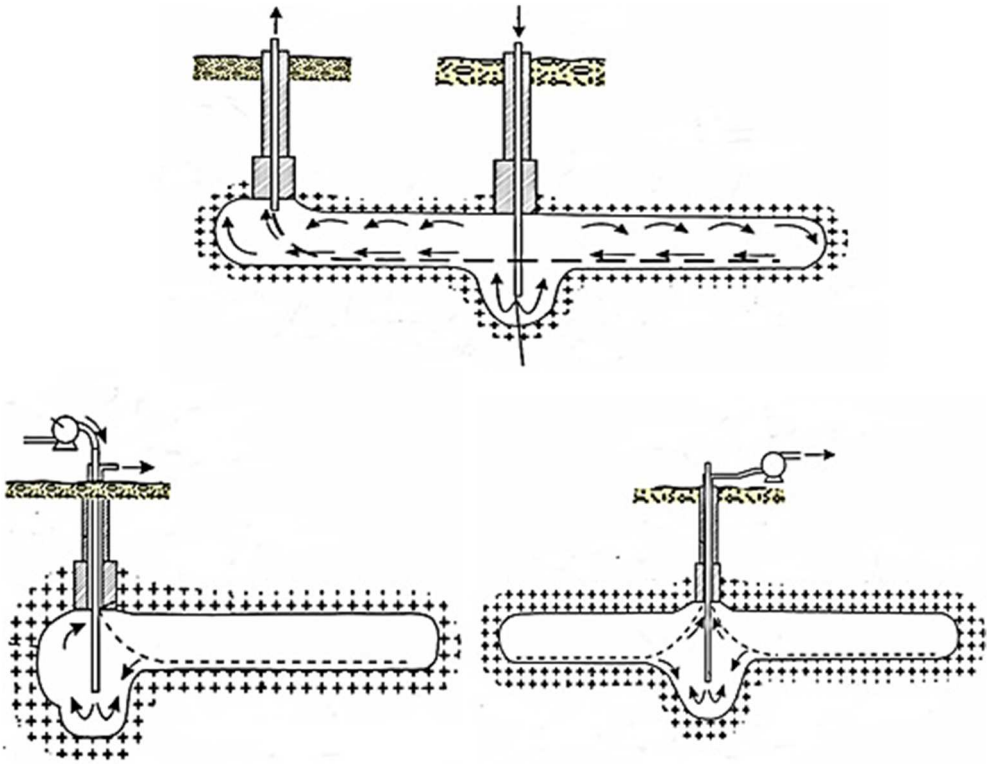

Рисунок 7 – Схема создания горизонтального резервуара

Известны также устройства для создания горизонтальных выработок в каменной соли [10, 11]. Эти устройства позволяют ускорить время строительства резервуаров, производить сбойку двух резервуаров.

Почти все хранилища в соляных полостях эксплуатируются циклами сжатие-расширение газа между минимальным ($P\min$) и максимальным ($P\max$) давлениями, определяемыми критериями стабильности и герметичности [12].

Минимальные запасы ($S\min$) при минимальном давлении определяются из уравнения состояния газа:

$$S_{\min} = V\frac{P_{\min}}{P_o}\cdot\frac{T_o}{T_{\min}}\cdot\frac{1}{Z(P_{\min},T_{\min})},$$

где V – свободный объем газа в резервуаре; P_0, T_0 – стандартные показатели давления и температуры; T_{min} – минимальное значение температуры; Z – коэффициент сверхсжимаемости газа.

Аналогично максимальные запасы (S_{min}) при максимальном давлении

$$S_{\max} = V\frac{P_{\max}}{P_o}\cdot\frac{T_o}{T_{\max}}\cdot\frac{1}{Z(P_{\max},T_{\max})}.$$

Полезные запасы газа определяются из выражения:

$$\Delta S = S_{\max} - S_{\min} = V\cdot\frac{T_o}{P_o}\left[\frac{P_{\max}}{Z(P_{\max},T_{\max})\cdot T_{\max}} - \frac{P_{\min}}{Z(P_{\min},P_{\min})\cdot T_{\min}}\right].$$

Таким образом, используя предложенные схемы сооружения горизонтальных тоннельных резервуаров можно создать ПХГ в соляных отложениях участка Тумбул для регулирования неравномерности обеспечения газом и покрытия сезонных пиков газопотребления Нахичеванской АР.

Заключение

Исследование способов сооружения подземных хранилищ газа в отложениях каменной соли показали, что при указанных выше условиях имеются возможности создания:

– нескольких резервуаров с использованием одного и того же вертикального участка скважины. Первый вариант технологии позволяет осуществить строительство тоннельного резервуара через две вертикальные скважины методом рециркуляции растворителя;
– тоннельного резервуара посредством вертикальной и горизонтальной скважин;
– тоннельного резервуара посредством вертикальной и горизонтальной скважин;
– тоннельного резервуара с помощью наклонной и вертикальной скважины;
– горизонтального резервуара.

Список литературы:

1. Сооружение и эксплуатация подземных хранилищ углеводородов в отложениях каменной соли / В.П. Нагорный, В.М. Глоба. – К., 2010. – 176 с.
2. Асланов В.Д. Геологические основы создания подземных хранилищ газа в связи с решением проблемы газоснабжения Баку. – Нурлан, 2001. – 162 с.
3. Правила обустройства и безопасной эксплуатации подземных хранилищ природного газа в отложениях каменной соли. ПБ-08-83-95 / В.И. Смирнов [и др.]. – М. : НТЦ «Подземгазпром» РАО «Газпром» Госгортехнадзор РФ, 1995. – 41 с.
4. Моделирование процесса сооружения подземных резервуаров тоннельного типа в маломощных пластах / В. Хлопцев [и др.] // Тезисы конференции «ПХГ – безопасная эксплуатация и эффективные технологии» 13–14 ноября, 2012 г. Австрия.
5. Способ сооружения подземных резервуаров в пластах каменной соли ограниченной мощности / В.В. Александров, В.И. Салохин, А.С. Хрулев // Патент на изобретение № 2213032.
6. Process for hollowing out a cavity formed of a plurality of sub-cavities in a thin layer of salt // Durup Jean-Gerard, Boris Guy, Charnavel Yvon/EP 0833037 B1 (United States Patent 5988760).
7. Способ сооружения подземного тоннельного резервуара в пласте каменной соли ограниченной мощности / В.В. Борисов [и др.] // Патент на изобретение № 2258652.
8. Horizontal natural gas storage caverns and methods for producing same // Anthony Russo/ United States Patent 5431482.
9. Process for excavating a cavity in a thin salt layer // Durup Jean-Gerard, Boris Guy, Charnavel Yvon/ EP 0819834 B1 (United States Patent 5957539).
10. Устройство для создания горизонтальных выработок в каменной соли / Н.Н. Пышков, Н.Н. Чумиков // Патент на изобретение № 2014269.
11. Способ создания резервуаров в формациях каменной соли и устройство для его осуществления / С.П. Мозер [и др.] // Патент на изобретение № 2477702.
12. Энциклопедия газовой промышленности / Под ред. К.С. Басниева. – М. : «Твант», 1994.

List of references:

1. Construction and operation of underground hydrocarbon storage facilities in rock salt deposits / V.P. Nagorny, V.M. Globa. – K., 2010. –176 p.
2. Aslanov V.D. Geological bases of creation of underground gas storages in connection with the solution of the problem of gas supply of Baku. – Nurlan, 2001. – 162 p.
3. Rules of arrangement and safe operation of underground natural gas storages in rock salt deposits. PB-08-83-95 / V.I. Smirnov [et al.]. – M. : STC «Podzemgazprom» RAO «Gazprom» Gosgortechnadzor RF, 1995. – 41 c.
4. Modeling of the process of construction of underground tanks of tunnel type in low thickness formations / V. Khloptsev [et al.] // Abstracts of the conference «UGS – safe operation and efficient technologies» November 13–14, 2012, Austria. Austria.
5. Method of construction of underground reservoirs in rock salt beds of limited capacity / V.V. Aleksandrov, V.I. Aleksandrov, V.I. Salokhin, A.S. Khrulev // Patent for invention № 2213032.
6. Process for hollowing out a cavity formed of a plurality of sub-cavities in a thin layer of salt // Durup Jean-Gerard, Boris Guy, Charnavel Yvon/EP 0833037 B1 (United States Patent 5988760).
7. Method of construction of underground tunnel reservoir in rock salt bed of limited capacity / V.V. Borisov [et al.] // Patent for invention № 2258652.
8. Horizontal natural gas storage caverns and methods for producing same // Anthony Russo/United States Patent 5431482.
9. Process for excavating a cavity in a thin salt layer // Durup Jean-Gerard, Boris Guy, Charnavel Yvon/ EP 0819834 B1 (United States Patent 5957539).
10. Device for creating horizontal excavations in rock salt / N.N. Pyshkov, N.N. Chumikov // Invention Patent № 2014269.
11. Method of creating reservoirs in rock salt formations and a device for its realization / S.P. Moser [et al.] // Invention Patent № 2477702.
12. Encyclopedia of gas industry / Edited by K.S. Basniev. – M. : «Twant», 1994.