



DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-3-391-397

УДК 622.691.24:624.953 (470.26)

ФЛОТАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВЫРАБОТК-ЕМКОСТЕЙ МЕТОДОМ ПОДЗЕМНОГО РАСТВОРЕНИЯ КАМЕННОЙ СОЛИ С БОЛЬШИМ СОДЕРЖАНИЕМ ГАЗА

В.П. Малюков, Ю.И. Старовойтова

Российский университет дружбы народов
Подольское ш., 8/5, Москва, Россия, 115419

Проанализированы экспериментальные и натурные исследования флотационных процессов при строительстве выработок-емкостей для резервирования углеводородов методом подземного растворения каменной соли с большим содержанием газа. В зависимости от размеров частиц нерастворимых включений, перешедших в раствор в процессе растворения каменной соли, раствор может быть в виде суспензии или коллоидной системы (при растворении каменной соли с глинистыми включениями сферической формы на месторождении Ходжа-Мумыне). У кровли выработки-емкости, которая сооружается в каменной соли со значительным содержанием газа и с применением в качестве нерастворителя дизельного топлива, образуется пенный слой. Пенный слой у кровли выработки на Лейковском месторождении представлен скоплением пузырьков газа, равномерно распределенным между тонкими прослойками из твердых частиц малого размера с дизельным топливом и раствором.

Ключевые слова: каменная соль, подземная выработка-емкость, скважина, растворитель, дисперсные системы, нерастворитель, дизельное топливо, газ, нерастворимые включения, флотационные процессы, пенный слой

Строительство подземной выработки-емкости методом подземного растворения каменной соли с большим содержанием газа в значительной степени определяется физико-химическими, гидродинамическими процессами и массоотдачей в приконтурной зоне выработки различной формы. При подаче растворителя через буровую скважину при гидродинамическом воздействии на границе «каменная соль — флюид» протекают процессы массоотдачи, характеризующие скорость строительства подземной выработки-емкости и ее формообразование.

Коэффициент массоотдачи при растворении каменной соли определяет общую величину подвижки межфазной границы вглубь массива при растворении каменной соли в единицу времени при проявлении различных механизмов переноса массы при разных условиях контактирования фаз (молекулярная диффузия, конвективный перенос, перенос при воздействии на поверхность каменной соли самоорганизующихся гидродинамических вихревых структур, перенос при переходе газа и частиц нерастворимых включений в раствор).

При определении коэффициента массоотдачи на образцах ядра каменной соли из интервала заложения выработок-емкостей обнаружено повышенное содержание газа в породе на Лейковском штоке (Украина) и месторождении Тюз-

Гелю (Турция) [1]. Из породы Лейковского штока при растворении происходит выделение пузырьков газа разных размеров из межкристаллического пространства, а при растворении образцов соли месторождения Тюз-Гелю происходит выделение пузырьков газа примерно одного размера из кристаллов соли.

Методом подземного растворения каменной соли на Лейковском месторождении со значительным содержанием газа построены 10 выработок-емкостей (полезный объем выработок-емкостей по проектному регламенту 50 или 75 тыс. м³).

На Лейковском соляном штоке со значительным содержанием газа в межкристаллическом пространстве каменной соли и примесях отмечено увеличение коэффициента массоотдачи каменной соли при растворении примерно на 30% и более быстрое строительство выработок-емкостей по сравнению с расчетными параметрами (примерно на 10%).

На рисунке 1 представлены вертикальные сечения (форма) выработки-емкости 4Т (по материалам звуколокации), сооруженной на Лейковском месторождении.

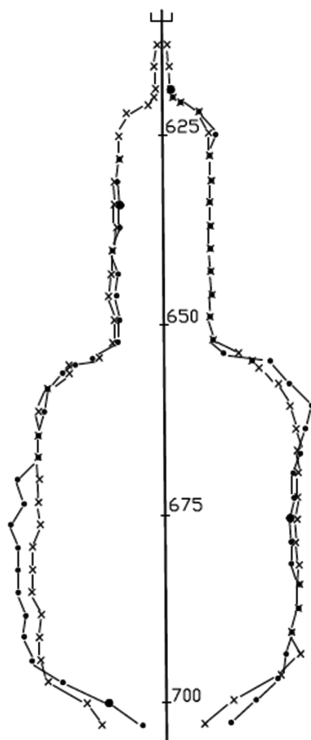


Рис. 1. Вертикальные сечения подземной выработки 4Т по материалам звуколокации.
Сечения: •—•—•— юг-север; ×—×—×— запад-восток

На различных стадиях строительства выработок-емкостей методом подземного растворения каменной соли с подачей воды-растворителя через буровые скважины происходит растворение каменной соли и разрушение нерастворимых включений (ангидрита, доломита, глины и др.), которые могут быть в рассеянном состоянии или в виде пропластков. В соли могут находиться газы в различных количествах, которые при растворении соли переходят в соляной раствор.

Различают два вида жидких дисперсных смесей: суспензии (взвеси) — дисперсные системы из взвешенных в растворе мелких твердых частиц; эмульсии — дисперсные системы, состоящие из мелких капель жидкости (дисперсной фазы), распределенных в другой жидкости (дисперсионной среде) [2]. Суспензии подразделяются в зависимости от размеров твердых частиц. Коллоидные (тонко-высокодисперсные) системы — дисперсные системы, в которых размеры частиц дисперсной фазы не превышают 1 мкм. Золи (коллоидные системы), в которых частицы дисперсной фазы (мицеллы) размером от 1 нм до 1 мкм. В зависимости от размеров частиц нерастворимых включений, перешедших в раствор в процессе растворения каменной соли, раствор может быть в виде суспензии или коллоидной системы (при растворении каменной соли с глинистыми включениями сферической формы на Ходжа-Мумыне) [3]. В эмульсиях размеры дисперсной фазы (капель) могут находиться в широких пределах. Многие эмульсии под действием силы тяжести расслаиваются, однако если размеры капель менее 0,5 мкм эмульсии становятся устойчивыми.

Гидродинамика взвешенных частиц в турбулентной среде отличается гораздо большей сложностью и интенсивностью, чем в ламинарной.

Для управления процессом строительства подземных выработок-емкостей применяют жидкие (например, дизельное топливо) или газообразные нерастворители, которые находятся в кровле выработки (рис. 2). На разных стадиях отработки подземной выработки-емкости нерастворитель перемещают и увеличивают высоту выработки-емкости.

На схеме стрелками справа стороны обозначен прямоток, слева — противоток. Растворитель представлен раствором с газовыми пузырями разных размеров и формы и с частицами нерастворимых пород также разных размеров и формы. Взвешенные частицы горных пород разной плотности и размеров, как и газовые пузыри, находятся во всем объеме раствора. С правой стороны схемы изображены процессы выделения газа из межкристаллического пространства и частиц нерастворимых пород при растворении соли с большим содержанием газа (характерно для растворения соли на Лейковском месторождении). С левой стороны схемы представлен процесс выделения газа из кристаллов соли и частиц нерастворимых пород при растворении соли с большим содержанием газа. Пузырьки газа выделяются из породы, а пузырьки воздуха выделяются из подаваемой в выработку-емкость воды.

Флотационный процесс при строительстве выработок-емкостей методом подземного растворения каменной соли через буровые скважины — процесс разделения мелких твердых частиц минералов и горных пород в соляном растворе в процессе строительства выработок-емкостей, когда в раствор происходит выделение частиц разрушенной горной породы и пузырьков газа при растворении каменной соли, а также выделение пузырьков воздуха из закачиваемой в выработку воды.

Процесс флотации характеризуется индивидуальной способностью различных минералов и горных пород к смачиванию в системе «жидкость — твердые частицы — газ». Несмачиваемыми соляным раствором являются гидрофобные частицы (рассолофобные). Гидрофильные частицы обладают хорошей смачиваемостью соляным раствором (рассолофильные).

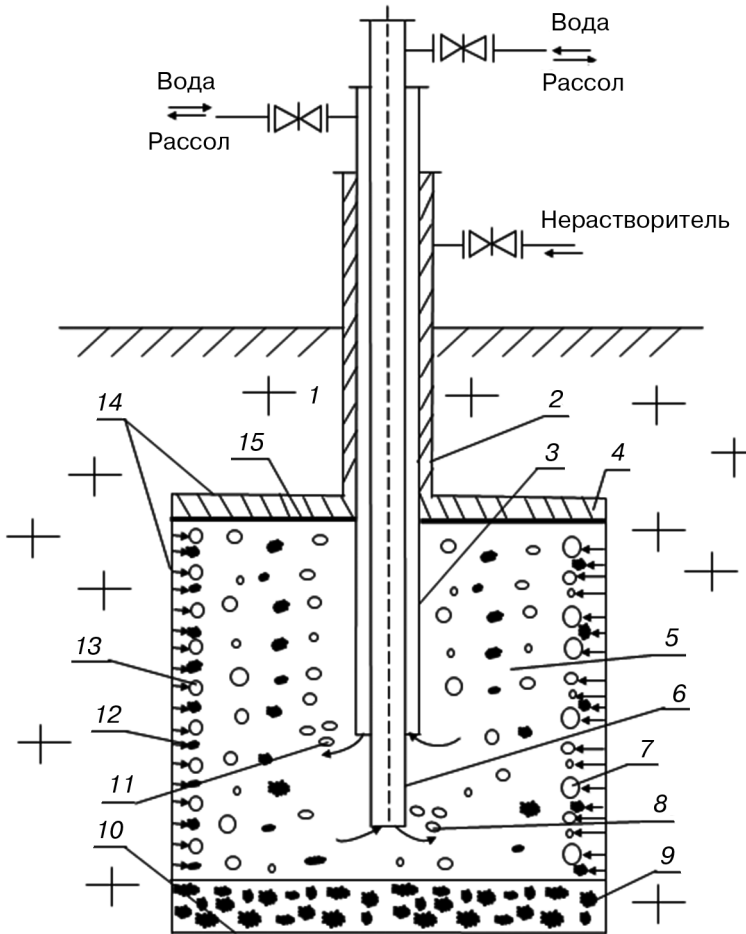


Рис. 2. Принципиальная схема флотационных процессов при строительстве выработки-емкости методом подземного растворения каменной соли с большим содержанием газа: 1 — каменная соль; 2 — основная обсадная колонна; 3 — внешняя подвешенная колонна; 4 — пенный слой; 5 — растворитель; 6 — центральная подвешенная колонна; 7 — газовые пузыри из межкристаллического пространства каменной соли; 8 — газовые пузыри из воды при прямотоке; 9 — выпавшие нерастворимые включения; 10 — забой; 11 — газовые пузыри из воды при противотоке; 12 — взвешенные частицы горных пород; 13 — газовые пузыри из кристаллов каменной соли; 14 — контур выработки-емкости в процессе строительства; 15 — уровень раздела нерастворитель-рассол

Флотация — это процесс, при котором частицы минералов и горных пород в соляном растворе (рассоле) прилипают к газовым пузырькам и переходят вместе с ними в **пенный слой у кровли выработки-емкости** (слой дизельного топлива с газовыми пузырьками и твердыми частицами при применении в качестве нерастворителя дизельного топлива). Газовые пузырьки могут переносить в пенный слой некоторое количество раствора.

Процесс флотации — физико-химический процесс, который заключается в создании комплекса «пузырек — частица».

Процесс флотации (непосредственного образования комплекса из частицы и пузырька) происходит поэтапно: приближение пузырька к частице; соприкосновение пузырька и частицы; прилипание частицы к поверхности пузырька.

При протекании процесса флотации в подземной выработке-емкости происходит образование флотационных агрегатов (частиц минералов и пузырьков газа) — аэрофлокул (в общем случае, газофлокул).

У кровли выработки-емкости, которая сооружается с применением в качестве нерастворителя дизельного топлива образуется пенный слой. Образованный пенный слой отмечен при строительстве выработок-емкостей на Лейковском штоке, когда в каменной соли содержалось значительное количество газа. По составу газ практически чистый метан, который на поверхности при извлечении из рассола мог воспламениться.

Обобщенно флотация при строительстве выработок-емкостей методом подземного растворения каменной соли через буровые скважины характеризуется этапами: в процессе растворения каменной соли в соляной раствор выделяются газ и частицы нерастворимых минералов и пород; гидрофобные частицы сближаются с пузырьком газа; прослойка раствора между гидрофобной частицей и газовым пузырем постепенно истончается и разрывается в связи с тем, что сила взаимодействия между компонентами раствора больше, чем сила адгезивного контакта раствор — частица; образуется комплекс гидрофобной частицы с пузырьком газа; этот флотирующий комплекс всплывает в верхнюю часть выработки-емкости, так как он менее плотный, чем система, в которой он находится.

Пены — структурированные дисперсные системы, представляют собой скопление пузырьков газа (дисперсная фаза), разделенных тонкими прослойками жидкой дисперсионной среды. **Пенный слой у кровли выработки** на Лейковском месторождении представлен скоплением пузырьков газа, равномерно распределенным между тонкими прослойками из твердых частиц малого размера с дизельным топливом и раствором.

Частицы минералов и горных пород, находящиеся во взвешенном состоянии в растворе с пузырьками газа частично попадают в пенный слой у кровли выработки, частично выдаются вместе с раствором и пузырьками газа через скважину на поверхность, а более тяжелые частицы оседают на забое выработки-емкости.

В развитии теории флотации важную роль сыграли работы русских физико-химиков: И.С. Громека, впервые сформулировавшего в конце XIX века основные положения процесса смачивания; Л.Г. Гурвича, разработавшего в начале XX века положение о гидрофобности и гидрофильности. П.А. Ребиндер развил теорию адсорбционных и поверхностно-активных процессов, указал на роль флокуляции в процессе флотации. Теория взаимодействия реагентов с минералами при флотации развита И.Н. Плаксиным и его школой. Вопросы электрохимических взаимодействий при флотации впервые рассмотрел А.Н. Фрумкин, а затем Р.Ш. Шафеев и В.А. Чантурия [4].

Природные флотационные процессы при строительстве выработок-емкостей методом подземного растворения каменной соли протекают при подаче под давлением в выработку-емкость растворителя (воды) и выдаче рассола. По этому принципу природную флотацию в выработке-емкости можно отнести к напорной флотации.

Образование флотационных агрегатов (частиц и пузырьков газа) происходит при взаимодействии частиц с пузырьками газа. На флотацию влияют размер и

количество частиц и пузырьков газа; плотность частиц и раствора; физико-химические особенности частиц (гидрофобность или гидрофильность), состав газа (включение кислорода), гидродинамические условия, температура.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Малюков В.П.* Особенности строительства подземных выработок-емкостей для хранения газонефтепродуктов в каменной соли с большим содержанием газа // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: «Инженерные исследования»*. 2012. № 3. С. 36–48.
- [2] *Лантев А.Г., Башаров М.М., Фарахова А.И.* Явления турбулентного переноса тонкодисперсных частиц в жидкой фазе динамических сепараторов // *Научный журнал КубГАУ*. 2011. № 68(04). С. 1–31.
- [3] *Малюков В.П.* Образование колец Лизеганга в каменной соли с наночастицами // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2016. № 10. С. 242–248.
- [4] *Чантурия В.А.* Химия поверхностных явлений при флотации. М.: Недра, 1977.

© Малюков В.П., Старовойтова Ю.И., 2017

История статьи:

Дата поступления в редакцию: май 2017

Дата принятия к печати: август 2017

Для цитирования:

Малюков В.П., Старовойтова Ю.И. Флотационные процессы при строительстве выработок-емкостей методом подземного растворения каменной соли с большим содержанием газа // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: «Инженерные исследования»*. 2017. Т. 18. № 3. С. 391–397. DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-3-391-397

Сведения об авторах:

Малюков Валерий Павлович, кандидат технических наук, доцент департамента геологии, горного и нефтегазового дела инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Контактная информация:* e-mail: v.malyukov@mail.ru

Старовойтова Юлия Игоревна, магистрант департамента геологии, горного и нефтегазового дела инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Контактная информация:* e-mail: st.julia2010@yandex.ru

FLOTATION PROCESSES DURING THE CONSTRUCTION WORKINGS-TANKS BY UNDERGROUND DISSOLUTION OF ROCK SALT WITH A HIGH CONTENT OF GAS

V.P. Malyukov, Y.I. Starovoytova

Peoples' Friendship University of Russia
Podolsk highway, 8/5, Moscow, Russia, 115149

Analyzed experimental and field studies of flotation processes in the construction of mines-tanks for backup of hydrocarbons by the method of underground dissolution of rock salt with a high content of gas.

Key words: rock salt, underground production-capacity, bore, dis-solvent, disperse systems, herstorical, diesel fuel, gas, insoluble inclusions, flotation process, froth layer

REFERENCES

- [1] Malyukov V.P. Peculiarities of construction of underground openings of storage tanks, gazonefteprovodov in rock salt with a high content of gas. *Bulletin of the Russian University of friendship of peoples. Series: "Engineering research"*. 2012. No. 3. P. 36–48.
- [2] Laptev A.G., Basharov M.M., Farakhov A.I. Phenomena turbulent transport of fine particles in the liquid phase of dynamic separators. *The scientific journal of the Kuban state agrarian University*. 2011. No. 68(04). S. 1–31.
- [3] Malyukov V.P. The Formation of rings of Liesegang in rock salt with nanoparticles. *Mining information-analytical Bulletin*. 2016. No. 10. P. 242–248.
- [4] Chanturia V.A. *The Chemistry of surface phenomena in flotation*. M.: Nedra, 1977.

Article history:

Received: May 2017

Accepted: August 2017

For citation:

Malyukov V.P., Starovoytova Y.I. (2017) Flotation processes during the construction workings-tanks by underground dissolution of rock salt with a high content of gas. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 18(3), 391–397. DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-3-391-397

Bio Note:

Valeriy P. Malyukov, PhD (in Technical Sciences), associated professor Department of Geology, mining, oil and gas industry, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Contact information:* e-mail: v.malyukov@mail.ru

Yulia I. Starovoytova, graduate student of the Department of Geology, mining, oil and gas industry, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Contact information:* e-mail: st.julia2010@yandex.ru