



Рис. 1. Переходная характеристика исследуемого распределителя

Разработана методика определения динамических характеристик распределителя, которая учитывает влияние встроенного клапана предохранительного. Представленная математическая модель позволяет получить следующие характеристики: период, кобательность, частоту колебаний и погрешность регулирования при определении динамики распределителя. Такая методика может применяться для расчета других распределителей данного типа на производстве и в теоретических исследованиях.

#### Литература

1. Гидропневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин: Теория системного автоматического управления : учеб. пособие для вузов / В. П. Автушко [и др.] ; под ред. Н. В. Богдана, Н. Ф. Метлюка. – Минск : ПИОН, 2001. – 396 с.
2. Попов, Д. Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем / Д. Н. Попов. – М. : Машиностроение, 1977. – 424 с.
3. Руководство по проектированию систем автоматического управления : учеб. пособие для вузов / под ред. В. А. Бесекерского. – М. : Высш. шк., 1983. – 296 с.

### ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ МАСШТАБОВ ЗАСОЛОНЕНИЯ И РАССОЛЕНИЯ КОЛЛЕКТОРОВ ПРИ РАЗВЕДКЕ И РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА

С. Л. Порошина, В. А. Семенова

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

А. Д. Порошина

*Российский государственный университет нефти и газа имени И. М. Губкина, г. Москва*

Научный руководитель В. Г. Жогло

Нефтяные и газовые месторождения Припятской нефтегазоносной области (НГО), нефтегазоносных провинций (НПП) и областей юга Сибирской платформы, бассейна Чу-Сарысу, центральной части Северо-Западноевропейской провинции, Триасовой провинции в Алжире, нефтегазоносных бассейнов штата Мичиган в США, а также

ряда других нефтегазоносных регионов мира залегают в засоленных породах-коллекторах. Такие породы широко представлены в подсолевом и межсолевом нефтегазоносных комплексах Припятского прогиба и юга Сибирской платформы. Засолонение пород существенно ухудшает их пористость и проницаемость, что снижает эффективность проводимых геологоразведочных работ на нефть и газ в участках его наиболее интенсивного проявления. Способность галита, частично или полностью заполняющего первичное пустотное пространство пород продуктивных горизонтов, растворяться при взаимодействии с закачиваемыми для ППД водами, приводит к существенному изменению емкостных и фильтрационных свойств коллекторов в процессе разработки нефтяных залежей, что оказывает заметное влияние на эксплуатацию скважин и месторождений углеводородов (УВ). Все это свидетельствует о необходимости всестороннего изучения данного процесса и учета особенностей его проявления при проведении поисково-разведочных работ, подсчете запасов, анализе, контроле, моделировании и регулировании разработки нефтяных залежей [1].

Засолонение пород Лено-Тунгусской НГП и Припятской НГО отмечено в середине 20-го столетия при изучении литологического состава подсолевых и межсолевых отложений в 60–70-е гг. прошлого столетия. Впервые на наличие кристаллов галита в продуктивных горизонтах Марковской площади юга Сибирской платформы указывали В. С. Муляк и Ф. Н. Яковенко (1965), а также Ю. И. Марьенко с В. Г. Постников (1967). В настоящее время засоленность пород коллекторов фиксируется здесь практически на всех нефтегазопроисловых площадях и месторождениях УВ. Первые сведения о засоленности межсолевых и подсолевых пород Припятского прогиба нашли отражение в опубликованных работах А. В. Кудельского и К. М. Обморышева (1971), Р. С. Сахибгареева (1974), В. В. Панова (1975), В. Л. Тюменцева (1977). Наиболее полная характеристика этих, а также авторских данных по засолонению пород различных регионов можно найти в обобщающих работах А. А. Махнача (1982, 1989). При этом первоначально литологическое, описательное исследование засоленных пород, присущее большинству исследователей, переводится в плоскость комплексного литогидрогеохимического изучения условий формирования галитовых выделений в пустотном пространстве подэвапоритовых толщ. В этот же период появляются работы преимущественно гидрогеохимического исследования данной проблемы. Делаются попытки решить эти вопросы путем изучения степени насыщенности пластовых вод подсолевых и межсолевых комплексов по хлориду натрия (В. Г. Жогло, 1977; Букаты и др., 1981), а также путем восстановления гидрогеохимических условий, существовавших во время засолонения коллекторов по сведениям о химическом составе вторичного галита (В. Л. Тюменцев, 1977; В. Д. Порошин, 1981; А. А. Махнач, В. В. Шиманович, 1988).

Литологическое исследование подсолевых и межсолевых пород рассматриваемых регионов указывало на широкое распространение засоленных пород. Массовые лабораторные исследования степени заполнения пустотного пространства нефтегазоносных пластов вторичным галитом по ряду скважин нефтяных и газовых месторождений Восточной Сибири, Республики Саха (Якутия), а также Беларуси свидетельствовали о существенном влиянии процесса засолонения на их пористость и проницаемость [1], [2]. В разных районах рассматриваемых территорий устанавливается приуроченность засолонения к определенным литофациям. Однако такими исследованиями охарактеризована лишь небольшая часть разреза отдельных скважин, что не позволяло корректно оценить масштабы проявления процесса галитизации пород подсолевых и межсолевых комплексов. Учитывая то, что засолонение по-

род произошло в катагенезе и связано с выпадением галита из рапы древних соленых бассейнов и межкристальных рассолов соленосных толщ, оценить количественно масштабы проявления этих процессов путем изучения современного состава пластовых вод подсолевых и межсолевых комплексов также не представляется возможным. Более обстоятельно такая оценка может быть проведена при изучении процесса рассоления таких коллекторов в процессе эксплуатации нефтяных месторождений, разработка которых ведется с закачкой в продуктивные пласты пресных или слабоминерализованных вод для поддержания пластовых давлений в залежах и вытеснения нефти к забоям добывающих скважин. Впервые такой подход к оценке масштаба засоления продуктивных пород был предложен и апробирован в 1996 г. В. Д. Порошиным на примере ряда наиболее крупных белорусских залежей нефти. С этого времени такого рода исследования начали проводиться регулярно для большинства скважин белорусских нефтяных месторождений, добывающих обводненную продукцию. В результате этих исследований установлены существенные масштабы растворения галитовых выделений трещин, пор и каверн продуктивных горизонтов по ряду нефтяных залежей при их разработке. Показано, что эти процессы активно продолжаются на всех белорусских залежах, разработка которых ведется с закачкой пресных и слабоминерализованных вод, и в настоящее время. Результаты такой оценки, выполненной одним из авторов (С. Л. Порошина, 2020) с использованием новых методических приемов [3] по воронежской залежи Золотухинского месторождения, приведены в таблице.

Общий объем растворенного и вынесенного с попутными водами галита за весь период эксплуатации залежи оценивается в  $7581 \text{ м}^3$ . Построенные по этим данным схематические карты свидетельствуют о том, что для западной части воронежской залежи нефти характерны повышенные значения этих показателей. Отмеченная особенность может свидетельствовать в пользу того, что вытеснение нефти к забоям добывающих скважин в данной части залежи происходило в целом более равномерно, чем в восточной. Перемещение смешанных вод, вытеснявших нефть в западной части залежи, происходило с охватом непромытых и слабо промытых коллекторов. В восточной же части залежи основная доля закачиваемой воды прорывалась к скважинам по отмытым от галита каналам, что приводило к слабому охвату вытеснением нефти из коллекторов с более низкими фильтрационными свойствами.

Приводимые выше материалы свидетельствуют о том, что оценку масштабов засоленности продуктивных коллекторов нефти и газа и изучения процесса их рассоления при разработке залежей углеводородов целесообразно проводить комплексно, используя методы литологических, литолого-фациальных, гидрогеохимических и промысловых гидрохимических (литогеохимических) исследований.

#### **Результаты расчета объемов растворенного в продуктивных пластах и вынесенных попутными водами галита для воронежской залежи Золотухинского месторождения**

Скважина	Этап	Интервал времени, месяц, год	$Q_{\text{поп.в.}}$ , тыс. м <sup>3</sup>	$Q_{\text{тех.обр.}}$ , тыс. м <sup>3</sup>	$Q_{\text{поп.в.}} - Q_{\text{тех.обр.}}$ , тыс. м <sup>3</sup>	$\text{NaCl}_{\text{изб.}}$ , мг/л	$m\text{NaCl}$ , т	$V\text{NaCl}$ , м <sup>3</sup>
56		02.02–н. в.	19,163	2,809	16,354	81272	1329	618
58		07.01–н. в.	33,555	5,754	27,801	82483	2293	1067
73		09.06–н. в.	22,416	2,198	20,218	31511	637	296
74		01.03–01.10	3,259	0,160	3,099	14850	46	21

Окончание

Скважина	Этап	Интервал времени, месяц, год	$Q_{\text{поп.в.}}$ , тыс. м <sup>3</sup>	$Q_{\text{тех.обр.}}$ , тыс. м <sup>3</sup>	$Q_{\text{поп.в.}} - Q_{\text{тех.обр.}}$ , тыс. м <sup>3</sup>	NaCl <sub>изб.</sub> , мг/л	$m_{\text{NaCl}}$ , т	$V_{\text{NaCl}}$ , м <sup>3</sup>
76		04.06–12.11	4,991	4,063	0,928	111402	103	48
80		06.94–07.03	7,737		7,737	127703	988	460
83		07.97–03.02	10,338		10,338	167556	1732	806
84		03.96–07.01	9,013		9,013	109275	985	458
91		04.93–06.03	35,071		35,071	102082	3580	1665
111		01.09–н. в.	17,404	1,331	16,073	104938	1687	784
115	Этап 1	07.06–02.09	3,777	0,529	3,247	9119	30	14
115	Этап 2	03.09–н. в.	7,511	1,960	5,551	94156	523	243
<b>115 Итого</b>			<b>11,288</b>	<b>2,489</b>	<b>8,798</b>	<b>63</b>	<b>552</b>	<b>257</b>
116	Этап 1	03.09–06.11	5,212	0,810	4,401	9889	44	20
116	Этап 2	07.11–06.15	4,617	0,850	3,767	99125	373	174
116	Этап 3	07.15–05.18	2,592	0,192	2,400	164437	395	184
<b>116 Итого</b>			<b>12,421</b>	<b>1,853</b>	<b>10,568</b>	<b>77</b>	<b>812</b>	<b>377</b>
9005	Этап 1	03.09–02.11	5,650	0,673	4,977	43984	219	102
9005	Этап 2	03.11–н. в.	15,253	1,490	13,763	68228	939	437
<b>9005 Итого</b>			<b>20,903</b>	<b>2,163</b>	<b>18,740</b>	<b>62</b>	<b>1158</b>	<b>539</b>
20s2		08.17–11.18	1,996	0,129	1,867	49619	93	43
74s2		07.10–2.12	2,795	0,165	2,631	115813	305	142
<b>Итого</b>			<b>212,351</b>	<b>23,114</b>	<b>189,237</b>	<b>86</b>	<b>16300</b>	<b>7581</b>

*Примечание.*  $Q_{\text{поп.в}}$  – объем попутно добытых вод;  $Q_{\text{тех.обр}}$  – объем подливаемых в скважину пресных технологических вод; NaCl<sub>изб.</sub> – избыточное количество хлорида натрия в попутных водах, появившееся в процессе рассоления пород;  $m_{\text{NaCl}}$  и  $V_{\text{NaCl}}$  – соответственно масса и объем вынесенного с попутными водами хлорида натрия.

#### Литература

1. Турицин, К. С. Статьи по петрофизике / К. С. Турицин // Иркутск Папирус, 2016. – 116 с.
2. Grimus, S. I. Comprehensive Studies of the Salinized Reservoir Rocks to Expand the Resource Base of the Hydrocarbons in Pripyat Trough / S. I. Grimus, E. A. Kalejchik, A. V. Soshenko // Copyright 2020, Society of Petroleum Engineers. SPE-201913-MS.
3. Порошина, С. Л. Новые подходы к оценке масштабов рассоления коллекторов нефтяных месторождений Беларуси по промысловым гидрохимическим данным / С. Л. Порошина // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2019. – № 4. – С. 3–12.