

УДК 622.011.43

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОКРЕСТНОСТИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ПОЛОСТЕЙ-ГАЗОХРАНИЛИЩ

Аршинов Г. А. – к. ф.-м. н.

Кубанский государственный аграрный университет

Исследуется распределение напряжений вблизи эксплуатируемых осесимметричных полостей-газохранилищ различной конфигурации. Рассматривается модель режима эксплуатации.

Рассмотрим одну из схем режима эксплуатации (рис. 1) осесимметричного газоохранилища, заложенного в массиве каменной соли на глубине 1000 м. В начальный момент времени ($t=0$), соответствующий точке A (рис. 1), давление хранимого газа составляет $P_1 = 20 \text{ кг/см}^2$. Через полгода оно повышается до 105 кг/см^2 и по истечении следующего полугодия снижается до исходного (точка E на рисунке 1).

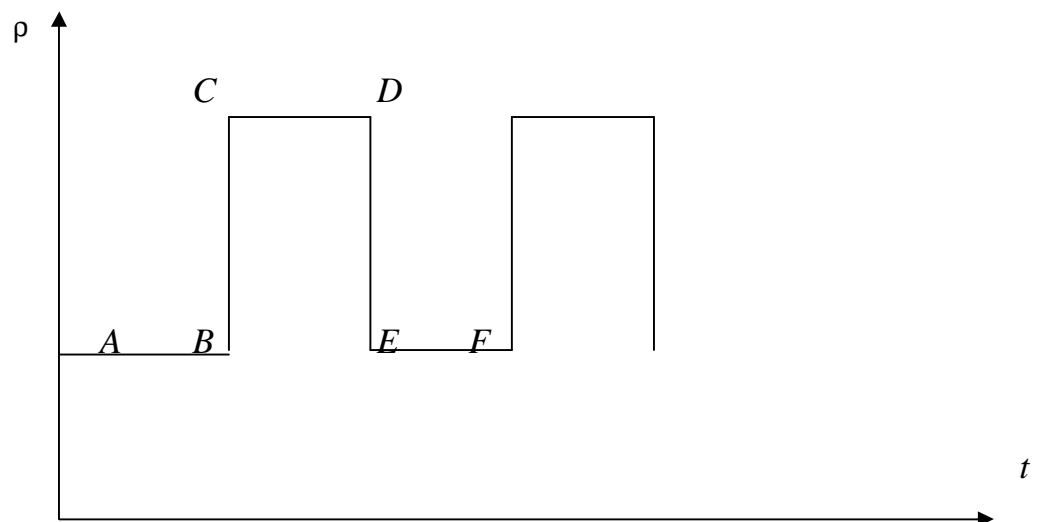


Рисунок 1 – Схема изменения давления газа в хранилище

Для исследования зависимости напряженного состояния эксплуатируемых подобным образом газохранилищ необходимо знание законов деформирования каменной соли в различных циклических режимах нагружения и разгрузки. Экспериментально установлено, что циклические нагрузки не влияют на физико-механические свойства галита.

Предполагая неизменность механических свойств каменной соли в упомянутом режиме эксплуатации газохранилища и учитывая быстротечность процесса релаксации напряжений, будем считать, что при повышении давления газа в полости ползучесть окружающей толщи каменной соли определяется лишь соответствующими приращениями напряжений, а при понижении давления до исходной величины массив переходит в первоначальное состояние, т.е. напряжения, вызванные догрузкой, снимаются.

На основе этих предположений методами конечных элементов и упругих решений исследовалось напряженное состояние вблизи осесимметричных эксплуатируемых газохранилищ, заключенных в толще каменной соли (рис. 2). Уравнения, связывающие напряжения и деформации, были приняты в виде

$$E\varepsilon_{ij}(t) = \sigma_{ij}(t) + \nu[\sigma_{ij}(t) - 3\delta_{ij}\sigma(t)] + \frac{E}{2G} \int_0^t D\tau^{-\alpha} \sigma_u^2(\tau) [\sigma_{ij}(\tau) - \delta_{ij}\sigma(\tau)] d\tau \quad (1)$$

с параметрами $E = 299 \times 10^3 \text{ кг/см}^2$; $\nu = 0,3$; $\alpha = 0,73$; $D = 6 \times 10^{-6} (\text{кг/см}^2)^{-2} \text{ ч}^{\alpha-1}$ (объемный вес галита $\gamma = 2,16 \times 10^{-3} \text{ кг/см}^3$) [1].

Результаты расчета напряжений сведены в таблицу. Как и следовало ожидать, свободная от нагрузки полость вызывает более высокую начальную ($t=0$) концентрацию напряжений по сравнению с заполненной газом под давлением 20 кг/см^2 (колонка А таблицы). В процессе релаксации (участок АВ

рисунка 1) упругие напряжения вблизи хранилищ трансформируются и к концу полугодия (точка *B* рисунка 1) достигают практически стабильных значений, указанных в колонке *B* таблицы.

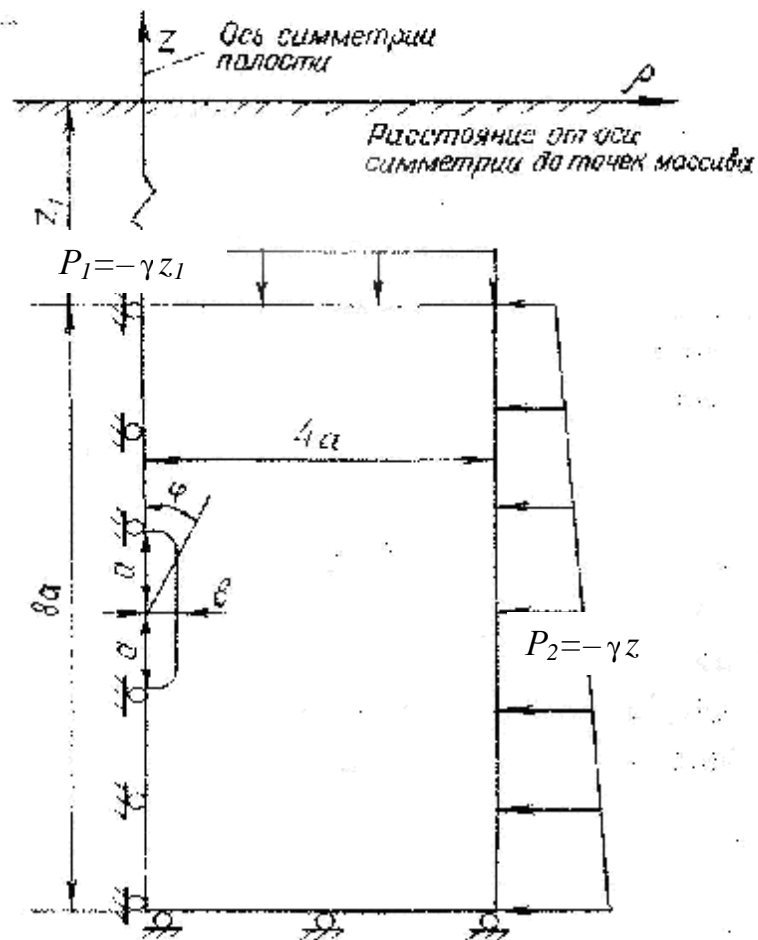


Рисунок 2 – Схема к расчету осесимметричного нефтегазохранилища, заключенного в массиве каменной соли

В этот момент давление газа в полости мгновенно повышается до 105 кг/см^2 (точка *C* рисунка 1), в результате чего меняется напряженное состояние окружающего массива галита (колонка *C* таблицы), и в целом концентрация напряжений ослабевает. С течением времени (0,5 года) поле напряжений,

соответствующее догрузке в 85 кг/см^2 , порождает новый процесс ползучести вмещающей толщи каменной соли, и к концу года (точка D рисунка 1) напряжения достигают значений, указанных в колонке D таблицы (размерность напряжений кг/см^2).

После снижения давления до 20 кг/см^2 устанавливается напряженное состояние, соответствующее точке B , остающееся неизменным в промежутке времени EF (рисунок 1).

Рассмотренный цикл изменения напряженного состояния эксплуатируемого газохранилища повторяется при последующих аналогичных колебаниях внутреннего давления газа в полости.

Список литературы

1. Ержанов, Ж. С. Ползучесть соляных пород / Ж. С. Ержанов, Э. И. Бергман. – Алма-Ата : Наука, 1977.

Таблица – Влияние режима эксплуатации на напряженное состояние газохранилищ

Влияние режима эксплуатации на напряженное состояние газохранилища																
Ф, градус	t=0 (точка A)				t=0,5 года (точка B)				t=0,5 года (точка C)				t=1 год (точка D)			
	σ_p	σ_z	σ_θ	$\sigma_{z\rho}$	σ_p	σ_z	σ_θ	$\sigma_{z\rho}$	σ_p	σ_z	σ_θ	$\sigma_{z\rho}$	σ_p	σ_z	σ_θ	$\sigma_{z\rho}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Шаровая полость																
0	-343	- 63	-343	29	-200	- 71	-200	36	-158	-150	-158	9	-232	-152	-232	16
18	-286	- 90	-307	69	-165	-81	-186	45	-136	-136	-148	14	-179	-142	-188	22
36	-224	-154	-297	104	-141	-127	-190	54	-138	-152	-156	9	-165	-164	-190	24
54	-154	-526	-295	100	-130	-150	-194	52	-157	-144	-161	8	-167	-170	-193	23
72	- 92	-228	-301	63	-89	-174	-186	42	-142	-143	-161	14	-146	-180	-187	22
90	- 62	-318	-314	0	- 67	-200	-187	0	-143	-155	-147	0	-142	-196	-189	0
108	- 93	-285	-305	-64	- 91	-176	-189	-42	-145	-146	-153	-15	-148	-182	-190	22
126	-157	-230	-302	-102	-133	-153	-198	-52	-160	-148	-164	- 9	-170	-173	-196	-23
154	-232	-159	-308	-107	-154	-131	-1%	-55	-141	-157	-161	-10	-169	-168	-195	-25
172	-298	- 93	-319	- 71	-171	- 83	-192	-46	-141	-138	-152	-15	-184	-144	-193	-23

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Эллипсоидальная полость ($e/a=0,4$)																
0	-424	- 83	-424	62	-195	- 64	-195	40	-116	-153	-116	3	-226	-151	-226	13
11	-208	-169	-348	116	-121	- 90	-173	63	-122	-107	-113	12	-157	-135	-172	30
22	-104	-208	-328	81	- 68	-126	-169	46	-116	-126	-120	10	-129	-154	-172	22
36	- 76	-220	-330	39	- 73	-144	-192	22	-133	-139	-143	5	-137	-166	-190	10
59	- 58	-225	-335	18	- 53	-142	-185	15	-122	-136	-135	7	-124	-164	-186	9
90	- 47	-223	-345	- 2	- 41	-138	-182	0	-114	-130	-129	0	-113	-163	-184	0
121	- 59	-241	-337	-19	- 56	-144	-189	-14	-124	-134	-140	- 6	-127	-166	-189	- 8
144	- 77	-237	-335	-40	- 76	-148	-199	-22	-136	-141	-152	- 5	-140	-169	-197	-10
158	-108	-219	-341	-85	- 70	-128	-177	-48	-118	-129	-128	-13	-131	-157	-179	-24
171	-220	-177	-368	-122	-130	- 91	-184	-67	-132	-109	-123	-17	-165	-137	-182	-34
180	-450	- 87	-450	- 66	-208	- 67	-208	-42	-127	-156	-127	- 2	-238	-153	-238	-16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Цилиндрическая с шаровыми торцами полость ($v/a = 0,4$)																
0	-357	- 54	-357	37	-190	- 46	-190	33	-230	-131	-230	14	-229	-130	-229	14
11	-266	-120	-324	106	-149	- 87	-185	58	-171	-142	-187	27	-171	-142	-186	27
22	-145	-230	-310	91	-111	-160	-201	47	-154	-175	-195	21	-154	-175	-194	21
33	- 66	-224	-329	31	- 74	-162	-198	22	-139	-177	-196	12	-139	-177	-195	12
52	- 50	-217	-344	13	- 42	-133	- 182	10	-118	-161	-184	6	-118	-161	-183	6
90	- 43	-226	-358	0	- 36	-130	-184	0	-114	-158	-186	0	-114	-158	-185	0
128	- 50	-220	-353	-13	- 44	-135	-186	- 9	-120	-163	-188	- 5	-120	-163	-187	5
147	- 69	-252	-346	-32	- 79	-168	-209	-22	-144	-184	-206	-12	-144	-183	-205	-12
158	-155	-242	-332	-97	-119	-167	-215	-49	-162	-183	-207	-23	-162	-183	-206	-23
169	-288	-128	-352	-114	-162	- 92	-200	-63	-182	-147	-199	-32	-182	-147	-199	-32
180	-390	- 56	-390	-40	-204	- 49	-204	-36	-242	-134	-242	-17	-240	-131	-240	-17
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Цилиндрическая полость с шаровой потолочиной и плоским основанием ($b/a = 0,4$)																
0	-360	- 58	-360	39	-182	- 55	-183	35	-134	-138	-134	3	-221	-139	-221	15
12	-226	-119	-322	104	-144	- 87	-176	56	-121	-128	-129	9	-165	-142	-178	26
24	-148	-232	-309	92	-112	-172	-198	46	-141	-162	-157	5	-154	-186	-192	20
34	- 67	-251	-330	28	- 85	-174	-208	25	-149	-156	-159	12	-149	-186	-205	15
54	-51	-215	-351	7	- 45	-125	-191	10	-117	-125	-135	7	-120	-154	-192	7
90	- 43	-207	-371	5	- 36	-113	-193	1	-116	-116	-129	1	-114	-147	-193	0
126	- 49	-210	-363	3	- 42	-126	-192	0	-115	-129	-132	- 2	-118	-158	-193	- 1
146	- 55	-229	-341	- 3	- 64	-163	-202	- 8	-135	-159	-152	- 7	-136	-185	-202	6
156	-295	-312	-346	-109	-240	-252	-264	-55	-220	-225	-212	- 9	-238	-239	-227	-26
168	-222	- 31	-200	- 18	-161	- 41	-151	-26	-155	-122	-152	-13	-179	-122	-171	-12
180	-148	- 34	-148	- 8	-135	- 36	-135	-11	-172	-141	-172	- 5	-197	-140	-197	0