



УДК 628.112.2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗРУШЕНИЯ ФАЗОВЫХ КОНТАКТОВ В СИСТЕМЕ ПЛАСТ-СКВАЖИНА



DETERMINATION OF PHASE CONTACT FAILURE IN THE FORMATION-WELL SYSTEM

Цымбалов Александр Алексеевич

кандидат технических наук,
генеральный директор,
ООО Группа компаний «Архимед»
arhimed64@mail.ru

Аннотация. В работе дана формула, позволяющая определять количество контактов на кольматационной поверхности для глобулярной модели системы, пласт-скважина по двум параметрам: коэффициенту пористости и среднему радиусу структурных элементов. Указана практическая применимость полученного выражения.

Ключевые слова: система пласт-скважина, коэффициент пористости, пористость, кольматация, поровая среда, количество контактов.

Tsymbalov Alexander Alekseevich

Ph.D.,
General Director,
LLC Group of companies «Archimedes»
arhimed64@mail.ru

Annotation. The paper presents a formula that allows determining the number of contacts on the colmatation surface for a globular model of the formation-well system using two parameters: the porosity coefficient and the average radius of structural elements. The practical applicability of the obtained expression is indicated.

Keywords: reservoir-well system, porosity coefficient, porosity, colmatation, pore medium, number of contacts.

Технология строительства скважин на воду, вскрывающего пласт, состоящий из рыхлых пород водонасыщенных песков, предусматривает производить в заколонном пространстве фильтра обсыпку крошкой (гранит, гравий, щебень) размером 3–4 мм в интервале (50–300) мм. Фильтрационно-коллекторная зона скважины имеет определенное уплотнение частиц заполнителя в окколоскважинной зоне фильтра. Искусственно созданная пористость в системе «пласт-скважина» позволяет воде проникать в зерновых зазорах заполнителя. В процессе жизненного цикла (время эксплуатации, технического обслуживания, вынужденных простоев и др.) размер межзернового зазора уменьшается в силу физико-химических и биологических процессов. Частичное или полное зарастание осадком межзернового зазора (поровых каналов) в системе пласт-скважина характеризует наступление явления кольматации. По выходу их данного состояния автором разработана технология ВИГДОС-СИЦА [4].

Практика проведения ремонтно-восстановительных работ скважин ООО ГК «Архимед» на отдельных геологических разрезах показала, что изучение прочностных особенностей кольматанта требует дальнейшего изучения.

Целью работы является получение формулы, позволяющей определить количество контактов на кольматационной поверхности для глобулярной модели системы пласт-скважина по двум параметрам: коэффициенту пористости и среднему радиусу структурных элементов.

Исследуемая среда твердого кольматационного осадка включает элементы твердой фазы (частицы гравийной обсыпки и мелко-крупнозернистого песка эксплуатационного пласта), жидкой (вода) и газообразной. Поэтому рассматриваемая среда отвечает характеристикам дисперсных пористых систем. Формирование структурных связей в такой системе вначале взаимодействия происходит не по всей межфазной поверхности, а в местах их наибольшего контактного сближения.

Под контактным взаимодействием в системе пласт-скважина будем понимать любую часть поверхности раздела «твердая частица-вода», «твердая частица-газ», «твердая частица – твердая частица» «твердая частица – новая фаза», в которой осуществляются силы взаимодействия с соседними частицами на основе физико-химических процессов, отражающих связность дисперсной системы и ее свойства.

Обратим внимание на тип контактов и их количество на единицу поверхности разрушения, так как это определяет общие прочностные свойства тела кольматанта.

Напряжение на разрушение контактов определяется:

$$\sigma_p = \chi P_0, \quad (1)$$

где σ_p – напряжение прочности на разрыв контактов, Н/м²; χ – количество контактов на единицу поверхности разрушения, м⁻²; P_0 – средняя сила сцепления в контакте, Н.



При оценке количества контактов на единицу поверхности разрушения дисперсного пористого тела кольматанта придерживаемся глобулярной модели для структур, сложенных частицами сферической формы и имеющей пористость до 26 %. Глобулярная модель применима для песков, песчаников, алевролитов и других тонкодисперсных грунтов (пород), которые имеют округлую форму. К таким относятся контакты в трепелах, опоках и опокovidных глинах, образованных глобулами кремнезема, в соединениях агрегатов супесчаных и суглинистых отложений, сложенных песчаными зернами, песчано-глинистыми включениями.

От точности определения параметров в формуле (1) зависит достоверность прогнозной оценки поведения всей закольматированной дисперсной структуры системы пласт-скважина и необходимости приложения силового воздействия на разрушение контактных связей.

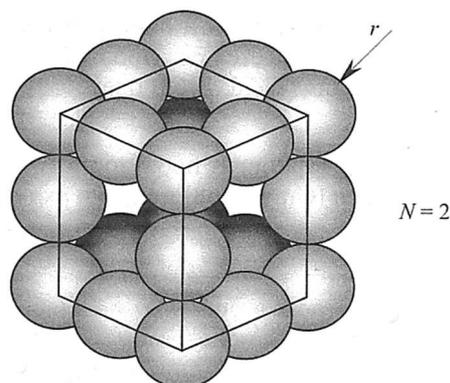


Рисунок 1 – Схема глобулярной модели:

N – среднее число частиц от узла до узла, определяемое пористостью структуры кольматанта;
 r – средний радиус частиц (по В.И. Осипов, В.Н. Соколов, 2013)

Определим число контактов на единицу поверхности разрушения кольматанта [1, 3]:

$$\chi = \frac{1}{4 r^2 N^2}, \tag{2}$$

где r – средний радиус частиц, м; N – среднее число частиц от узла до узла, определяемое пористостью структуры кольматанта.

Для вычисления параметра $1/N^2$ от пористости (n) дисперсных структур в глобулярной модели воспользуемся зависимостью $1/N^2 = f(n)$ на рисунке 2.

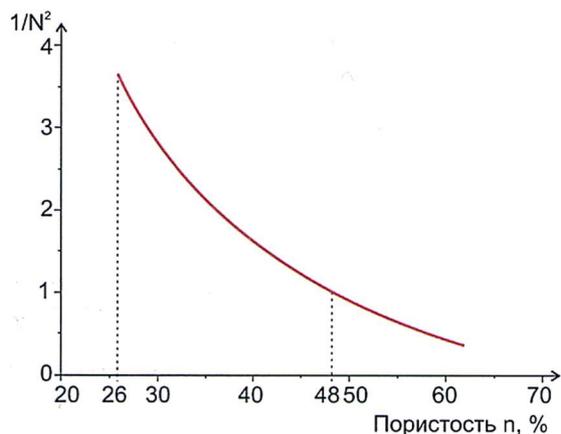


Рисунок 2 – График изменения параметра $1/N^2$ от пористости дисперсных структур в глобулярной модели (по Е.А. Амелина, Е.Д. Щукин, 1970)

Нахождение число контактов в глобулярной модели найдем по формуле [2]:

$$\chi = \frac{3 z(1-n)}{2\pi (2 r)^2}, \tag{3}$$

где z – координационное число, характеризующееся средним числом контактов каждого структурного элемента с соседними; n – пористость; r – средний радиус структурных элементов, м.



Координационное число найдем из выражения [7]:

$$z = \frac{12}{1+e}, \tag{4}$$

где e – коэффициент пористости.

Пористость и коэффициент пористости поровой среды системы пласт-скважина:

$$n = \frac{V_{\Pi}}{V}, \tag{5}$$

где V – общий объем околоскважинной зоны, m^3 .

$$e = \frac{V_{\Pi}}{V_T}, \tag{6}$$

где V_T – объем твердой минеральной части околоскважинной зоны, m^3 .

Пористость в системе пласт-скважина зависит от размера, формы и характера расположения частиц, слагающих околоскважинную зону. Поры в галечниках, гравии и песках рыхлых пород, сложенных округлыми зернами, представлены расширяющимися и суживающимися формой проходов и канальцев. В принятой нами модели фиктивной поровой среды частицы представлены в виде шаровидной формы, сложенные рядами с разной пористостью (рис.3). Изменение пористости в горных породах представлено в таблице.

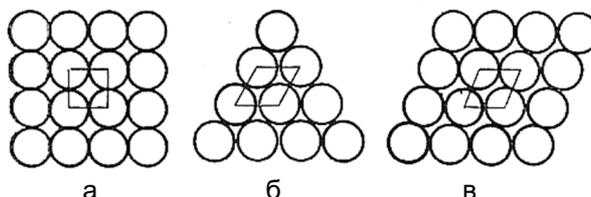


Рисунок 3 – Схема расположения формы шарообразных частиц в зависимости от пористости:
 а – куб ($n = 48\%$) – наименее плотное сложение, б – тетраэдр ($n = 26\%$) – наиболее плотное сложение,
 в – гексаэдр ($n = 37\%$) – среднее сложение

Таблица – Пористость пород

№ п/п	Наименование пород	Пористость, %
1.	Песок разнородный (четвертичные отложения)	30,0–32,0
2.	Песок крупнозернистый (сеноман)	28,0–30,0
3.	Песок среднезернистый, однородный (альб)	36,0–38,0
4.	Песок мелкозернистый однородный (юра)	42,0–48,0
5.	Гравий однородный (бучакский ярус)	26,0–30,0
6.	Суглинок моренный	18,0–20,0
7.	Ил болотный	38,0–40,0
8.	Глина иловатая, аллювиальная	48,0–52,0
9.	Гранит, гнейс, кварцит, диабаз, габбро (архей)	0,2–0,8
10.	Кристаллические сланцы (докембрий)	0,5–2,15
11.	Известняк, мрамор, доломит (верхний девон и карбон)	1,5–6,12
12.	Мел, мергель (мел верхний и нижний)	3,0–8,75
13.	Песчаники (девон)	10,0–17,2

Для практических целей и инженерных расчетов лучше пользоваться коэффициентом пористости системы пласт-скважина, а не пористостью. Он указывает на классификационный тип грунта (породы), характеризует физико-механические свойства. Поэтому выразим пористость через коэффициент пористости поровой среды системы пласт-скважина:

$$n = \frac{e}{1+e}. \tag{7}$$



Приведенные ссылки на выражения (2) предлагаемые в работе [1, 3] могут иметь не корректность из-за применения графика и отразиться на точности расчетов. Формула (3) из [1, 3] требует вычисления ее составных элементов, что не всегда удобно.

Наиболее рациональным будет подход выразить количество контактов на кольматационной поверхности в глобулярной модели через коэффициент пористости с упрощением входящих параметров до минимума.

После подстановки (7) и (4) преобразуем (3) к следующему выражению (8):

$$\chi = 3 \left[\frac{(1+e)^2}{24\pi e (2r)^2} \right]. \tag{8}$$

Формула (8) позволяет получать количество контактов на кольматационной поверхности в глобулярной модели для системы пласт-скважина с учетом двух параметров коэффициента пористости и среднего радиуса структурных элементов, что упрощает применение выражение (3) в получении численного значения. Оперативность этого вычисления требуется для понимания определенных значений диапазона при выборе энергетического уровня (коагуляционного, переходного, фазового) взаимодействия кольматационного осадка [5].

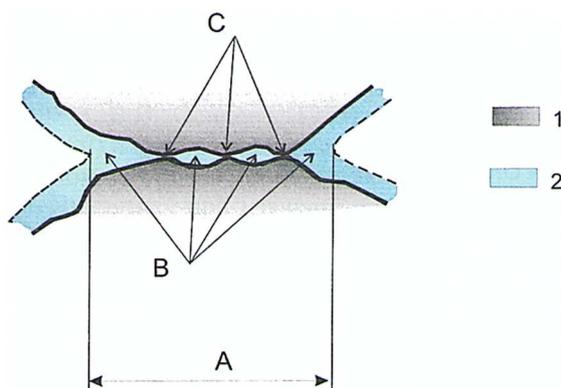


Рисунок 4 – Фрагмент формирования типов контактов на поверхности водонасыщенных минеральных частиц: А – длина контактной поверхности, В – участки коагуляционного контакта, С – длина фазовых контактов; 1 – твердая частица, 2 – связанная вода (по В.И. Осипов, В.Н. Соколов, 2013 с изм. и доп. автора)

Практическое применение выражение (8) заключается в подборе технологических режимов технологии ВИГДОС-СИЦА, т.к. число контактов на кольматационной поверхности (рис. 4) определяет степень энергетического усилия декольматационного оборудования разрушающего связи при коагуляционном контакте, когда имеется количество контактов равное χ_1 , при переходном контакте с количеством контактов равным χ_2 и фазовом контакте при χ_3 .

Для соотношения контактов между собой справедливо (9):

$$\chi_1 < \chi_2 < \chi_3. \tag{9}$$

Выводы

1. Напряжение прочности на разрыв контактов исследуемой среды твердого кольматационного осадка зависит от количества контактов на единицу поверхности разрушения.
2. Формула (8) позволяет получать количество контактов на кольматационной поверхности в глобулярной модели для системы пласт-скважина по двум параметрам: коэффициенту пористости и среднему радиусу структурных элементов.
3. Определение числа контактов позволяет назначить адекватные режимные параметры декольматационного оборудования технологии ВИГДОС-СИЦА.

Работа выполнена в рамках Программы НИР ГК «Архимед» Arh. № ТЭР-R 642012-0001.000 «Исследование процессов кольматации околоскважинной среды и разработка методов декольматации водопропускных устройств: п.п. «а» – «е»; разд. 1, разд. 2» [6].

Литература

1. Амелина Е.А. Изучение некоторых закономерностей формирования контактов в пористых дисперсных структурах / Е.А. Амелина, Е.Д. Щукин // Коллоидный журнал. – 1970. – Т. 32. – № 6. – С. 795–800.
2. Бабак В.Г. Прочность пористых твердых тел : автореферат дис. ... канд. физ.-мат. наук. – М. : МГУ, 1974. – 20 с.



3. Ребиндер П.А. О механической прочности пористых дисперсных тел / П.А. Ребиндер, Е.Д. Щукин, Л.Я. Марголис // Доклады АН СССР. – 1964. – Т. 154. – № 3. – С. 695–698.
4. Цымбалов А.А. Выявление слабых волновых полей в возбудимых грунтовых средах // Булатовские чтения. – 2019. – Т. 2. – С. 213–217.
5. Цымбалов А.А. Типизация контактных связей структурных элементов кольматанта системы пласт-скважина [Электронный ресурс] // материалы 64-й межд. науч. конф. Астрахан. гос. техн. ун-та. – Астрахань : Изд-во АГТУ, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
6. Приоритетные НИР: Темы инновационных направлений научно-исследовательских работ ООО ГК «Архимед» [Электронный ресурс] / А.А. Цымбалов. – М., 2014–2020. – URL : <http://doktorsc.ru/index.php/prioritetnye-nir> (дата обращения 20.04.2020).
7. Field W.G. Towards the statistical definition of a granular mass // Proc. 4th Australia-New Zealand conf. on solid mechanics. – 1963. – P. 143–148.

References

1. Amelina E.A. Study of some regularities of contact formation in porous dispersed structures / E.A. Amelina, E.D. Shchukin // Colloid magazine. – 1970. – Vol. 32. – № 6. – P. 795–800.
2. Babak V.G. Strength of porous solids : abstract dis. ... candidate of physical and mathematical Sciences. – M. : MSU, 1974. – 20 p.
3. Rebinder P.A. On the mechanical strength of porous dispersed bodies / P.A. Rebinder, E.D. Shchukin, L.Ya. Margolis // reports of the USSR Academy of Sciences. – 1964. – Vol. 154. – № 3. – P. 695–698.
4. Tsymbalov A.A. Identification of weak wave fields in excitable ground environments // Bulatov readings. – 2019. – Vol. 2. – P. 213–217.
5. Tsymbalov A.A. Typization of contact connections of structural elements of the kolmatant system Plast-borehole [Electronic resource] // materials of the 64th international conference. scientific Conf. Astrakhan state technical University. – Astrakhan : publishing house of AGTU, 2020. – 1 electron. opt. disk (CD-ROM).
6. Priority research projects: Themes of innovative directions of research works of LLC GC «Archimedes» [Electronic resource] / A.A. Tsymbalov. – M., 2014–2020. – URL : <http://doktorsc.ru/index.php/prioritetnye-nir> (accessed 20.04.2020).
7. Field W.G. Towards the statistical definition of a granular mass // Proc. 4th Australia-New Zealand conf. on solid mechanics. – 1963. – P. 143–148.