

В статье рассмотрено влияние сил электрической природы на проникновение и взаимодействие с коллектором фильтрата бурового раствора и жидкости перфорации. Отмечена необходимость учета электрокинетических явлений при вскрытии пластов и сделан вывод о возможности уменьшения загрязнения призабойной зоны пласта при вскрытии путем регулирования электрокинетических характеристик растворов.

О НЕОБХОДИМОСТИ УЧЕТА ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ ВСКРЫТИИ ПРОДУКТИВНОГО ПЛАСТА

Г.С. ДУБИНСКИЙ
С.А. БЛИНОВ

ОАО «Азимут»
ЦХМН АН РБ

г. Уфа

При вскрытии продуктивного пласта действует ряд факторов (проникновение фильтрата бурового раствора и жидкости перфорации в пласт, кольматация пор коллектора и стенок скважины твердыми частицами из растворов, электрическое поле, зависящее от знака зарядов горных пород, бурильных труб, бурового и цементного растворов и др.), ухудшающих фильтрационные характеристики приствольной части пласта. В связи с вышесказанным необходимо принимать меры для уменьшения отрицательного воздействия каждого фактора.

По группе скважин одного из месторождений Западной Сибири, вскрывшей полимиктовый песчаный пласт БВ, были рассчитаны по данным промысловых исследований параметры, отражающие качество вскрытия и степень загрязнения призабойной зоны пласта (см. табл. 1).

В табл. 1 $OK = k_3/k_{пл}$ – отношение проницаемости загрязненной зоны k_3 к проницаемости удаленной зоны пласта $k_{пл}$; $OP = K_ф/K_n$ – отношение фактической продуктивности скважины, $K_ф$ м³/сут · ат к потенциальной продуктивности, K_n м³/сут · ат. Как видно из таблицы 1, загрязнение после вскрытия происходит на значительную глубину, при этом проницаемость загрязненной зоны ощутимо уменьшается.

Уменьшение проницаемости может достигать 94,8% по сравнению с естественной, а продуктивность скважин может снижаться в 2 раза и более по отношению к потенциальной продуктивности. Перфораторы по своим техническим возможностям не всегда обеспечивают пробитие загрязненной зоны пласта. Поэтому интересно рассмотреть снижение фильтрационных свойств коллектора, обусловленное глубиной проникновения и взаимодействием фильтрата бурового раствора и жидкости перфорации с пористой средой. В пластовых условиях не вскрытого продуктивного пласта насыщающие его флюиды находятся в термодинамическом равновесии. Пласт имеет определенную собственную поляризацию. Поверхность пор имеет определенный заряд из-за наличия двойного электрического слоя (ДЭС) и граничного слоя [1,2]. При вскрытии продуктивного пласта происходит его механическая деформация, в поры проникают механические частицы и фильтрат глинистого раствора. При перфорации происходит дополнительное механическое воздействие и проникновение жидкости перфорации в поровое пространство.

Для изучения механизма взаимодействия глинистых коллекторов с фильтрациями технологических растворов было рассмотрено состояние ДЭС на поверхности частиц породы. Важной количественной характеристикой строения ДЭС, ►

The article reviews the influence exercised by the forces of electric nature on penetration and interaction with the header of drilling fluid filtrate and the perforation fluid. The need for electro-kinetic phenomena to be taken into consideration when drilling in is pointed out and it is concluded that it is possible to reduce the contamination of the bottom-hole formation zone when drilling in by adjusting the electro-kinetic characteristics of the solutions.

ON THE NEED TO TAKE INTO CONSIDERATION THE ELECTRO-KINETIC PHENOMENA WHEN DRILLING INTO THE PRODUCTIVE FORMATION

When drilling into the productive formation, there are a number of factors in operation (penetration of the drilling solution filtrate and perforation fluid into the formation, the clogging of the header pores and the well walls with hard particles from the solutions, the electric field which depends on the polarity of the mining material charges, drill pipes, drill fluid and cement slurry, etc.), which deteriorate the filtration characteristics of the near well portion of the formation. In view of the above, it is necessary that measures be taken to alleviate the negative impact of each of the factors.

With regard to a group of wells in one of the oil fields of Western Siberia, where the polymictic sand formation was drilled in, based on the oil production data, parameters have been calculated which are reflective of the quality of drilling in and the degree of contamination of the bottom-hole formation zone (see table 1). In table 1 $OK = k_3/k_{pl}$ – ratio between the permeability of the contaminated zone of the formation k_3 and the permeability of the formation remote zone k_{pl} ; $OP = K_f/K_n$ – ratio between the well actual productivity, K_f m³/day at and the potential productivity, K_n m³/day at. As one can see from table 1, contamination, after drilling in, occurs to a significant depth, while the permeability of the contaminated zone tangibly

| №№ скважин | Коэффициент пористости пласта $m, \%$ | Коэффициент проницаемости пласта $k_{пл}, \text{мкм}^2$ | OK = $k_3 / k_{пл}$ | OP = K_f / K_n | Радиус загрязненной зоны $R_3, \text{м}$ | Козф-энт проницаемости загрязненной зоны пласта $k_3, \text{мкм}^2$ | Перфоратор | | |
|------------|---------------------------------------|---|---------------------|------------------|--|---|------------|---|----------------------------------|
| | | | | | | | Тип | Диаметр входного отверстия $d_p, \text{мм}$ | Глубина пробития $l_p, \text{м}$ |
| 1124 | 0,201 | 0,167 | 0,306 | 0,700 | 0,4 | 0,051 | ПС-112 | 15,0 | 0,055 |
| 1125 | 0,210 | 0,195 | 0,062 | 0,444 | 0,08 | 0,012 | ПК-105 | 15,0 | 0,410 |
| 1131 | 0,202 | 0,169 | 0,473 | 0,766 | 0,1 | 0,080 | ПС-112 | 15,0 | 0,055 |
| 1135 | 0,193 | 0,140 | 0,688 | 0,884 | 0,7 | 0,096 | ПК-105 | 15,0 | 0,410 |
| 1146 | 0,192 | 0,121 | 0,140 | 0,500 | 0,3 | 0,017 | ПК-105 | 15,0 | 0,410 |
| 1148 | 0,194 | 0,143 | 0,266 | 0,491 | 0,8 | 0,038 | ПС-112 | 15,0 | 0,055 |
| 1149 | 0,212 | 0,200 | 0,155 | 0,665 | 0,1 | 0,031 | ПС-112 | 15,0 | 0,055 |
| 1151 | 0,306 | 0,177 | 0,240 | 0,554 | 0,6 | 0,020 | Aj | 11,7 | 0,602 |
| 1156 | 0,183 | 0,109 | 0,065 | 0,454 | 0,1 | 0,007 | ПК-105 | 15,0 | 0,410 |

Табл.1 Параметры качества вскрытия и загрязнения пласта при вскрытии / Table 1. Parameters of the Quality of Drilling In And Formation mination When Drilling In

reduces. Reduction in permeability may reach as much as 94.8% compared with the natural one, whereas the productivity of the wells may decrease twice and more, compared to potential productivity. The perforators, due to their technical performance features, do not always make sure that the contaminated zone of the formation is bored through. Therefore, it is interesting to consider the reduction in filtration properties of the header, predicated by the depth of penetration and interaction of the drilling fluid filtrate and the perforation fluid with the mining material. Under the formation conditions of the undrilled-in productive formation, the fluids, that saturate it, are in thermodynamic equilibrium. The formation has a certain polarization of its own. The surface of the pores has a certain charge due to the existence of the double electric layer and the borderline layer. During the drilling-in of the productive formation, there occurs mechanical deformation; mechanical particles and clay fluid filtrate penetrate into the pores. During perforation, there occurs an additional mechanical impact and penetration of the perforation fluid into the porous space.

For the purpose of studying the mechanism of interaction between the clay headers and the process fluid filtrates, the state of the double electric layer on the mining material particles surface was considered. An important quantitative characteristic of the double electric layer structure, which determines the behavior of the dispersion phase and the surface in various physical and chemical processes, is the electro-kinetic potential (ζ - potential). ζ - potential is the potential between the border of the hydraulically immobile layer and the capillary axis. The closer the values of the ζ - potential to zero are, the more pronounced are the processes of structure formation and the thinner are the sheaths of solvent molecules (hydration sheath) on the clay particles. The ζ - potential determines the intensity of the electro-kinetic phenomena, the value of the filtration electro-motive force and electroosmotic pressure.

In order to study the ζ - potential on the surface of the particles of the mining material under investigation, the electrophoretic method was employed under which, by way of trials, the speed at which the charged particles of the dispersion phase are moving in a constant electric field is determined, then from the Helmholtz-Smoluchowski equation [2] the electro-kinetic potential (ζ - potential) is determined:

$$\zeta = 4 \pi \eta u_{\text{eff}} a / \epsilon,$$

where u_{eff} is electrophoretic mobility;
 η - viscosity of the medium;
 ϵ - dielectric permeability of the medium;
 a - conversion factor;
 $\pi = 3,14$

The tests were carried out at 20°C

Fraction 0.05 - 0.1 mm disintegrated polymictic sand of the productive formation was used as dispersion phase. The test results are given in Fig. 1.

The analysis of the results indicates that there occurs a recharging of the sand surface within a range between pH = 5.5 - 6.5. During the transition from the salting liquid to fresh water, the dependency curve ζ - pH shifts to the left.

The fact that the surface recharges and that the electro-kinetic phenomena depend on pH of the dispersion medium causes different interaction between the dispersion phase (sand) and the dispersion medium (water) when pH of the latter changes which in its turn influences the intensity of the capillary processes. Due to this, it was necessary to evaluate the value of the capillary imbibition at various pH which also means at various values of the ζ potential at the sand rock surface.

The tests for capillary imbibition and evaluation of wettability of the porous channels of the oil bearing headers were carried out with the same disintegrated sand. The tests were run in the glass columns, 40 cm long and 0.5 cm in diameter. The wettability parameter was determined, i.e. β - tangent of the angle of incline of the straight line area in H coordinates (height of the liquid elevation) - \sqrt{t} (time of the liquid elevation). For a single capillary, expression [3] is valid:

$$\beta_2 = r_k \cdot \cos \theta / 2 \cdot \eta,$$

where β is tangent of the angle of incline of the straight line area in H - \sqrt{t} coordinates;
 r_k - radius of a capillary;
 σ - surface tension coefficient;
 θ - contact angle of wetting;
 η - viscosity of the fluid.

It can be seen from formula (2) that the parameter

определяющей поведение дисперсной фазы и поверхности в различных физико-химических процессах, является электрокинетический потенциал (ζ - потенциал). ζ -потенциал - это потенциал между границей гидравлически неподвижного слоя и осью капилляра. Чем ближе к нулю значения ζ -потенциала, тем сильнее выражены процессы структурообразования и тем тоньше сольватные (гидратные) оболочки на частицах глины. ζ -потенциал определяет интенсивность электрокинетических явлений, величину электродвижущей силы фильтрации и электроосмотического давления.

Для изучения ζ -потенциала на поверхности частиц исследуемой породы использовался электрофоретический метод, при котором опытным путем определяли скорость перемещения заряженных частиц дисперсной фазы в постоянном электрическом поле, затем из уравнения Гельмгольца-Смолуховского [2] определяют электрокинетический потенциал (ζ -потенциал):

$$\zeta = 4 \pi \eta U_{\text{эф}} a / \epsilon,$$

где $U_{\text{эф}}$ - электрофоретическая подвижность;
 η - вязкость среды;
 ϵ - диэлектрическая проницаемость среды;
 a - переводной коэффициент;
 $\pi = 3,14$.

Исследования проводили при 20°C. В качестве дисперсной фазы использовали фракцию 0,05 - 0,1 мм дезинтегрированного полимиктового песчаника продуктивного пласта. Результаты экспериментов представлены на рис.1.

Анализ результатов показывает, что происходит перезарядка поверхности песчаника в интервале pH = 5,5 - 6,5. При переходе от солевого раствора к пресной воде кривая зависимости ζ - pH смещается влево.

Факт перезарядки поверхности и зависимости электрокинетических явлений от pH дисперсионной среды обуславливает различное взаимодействие дисперсной фазы(песчаника) с дисперсионной средой (водой) при изменении pH последней, что в свою очередь влияет на интенсивность капиллярных процессов. В связи с этим было необходимо оценить величину капиллярной пропитки при различных pH, а значит, и различных величинах ζ -потенциала у поверхности песчаника.

Эксперименты по капиллярной пропитке и оценке смачиваемости поровых каналов нефтеносных коллекторов были проведены с тем же дезинтегрированным песчаником. Опыты проводили в стеклянных колонках длиной 40 см и диаметром 0,5 см. Определяли параметр смачиваемости β - тангенс угла наклона прямолинейного участка в координатах H (высота поднятия жидкости) - \sqrt{t} (время поднятия жидкости). Для одиночного капилляра справедливо выражение [3]:

$$\beta^2 = r_k \cdot \cos \theta / 2 \cdot \eta,$$

где β - тангенс угла наклона прямолинейного участка в координатах H - \sqrt{t} ;
 r_k - радиус капилляра;
 σ - коэффициент поверхностного натяжения;
 θ - краевой угол смачивания;
 η - вязкость жидкости.

Из формулы (2) видно, что параметр характеризует смачиваемость песчаника исследуемой жидкостью. Результаты опытов представлены на рис.2. Необходимо отметить принципиальную возможность регулировать смачиваемость изменением pH среды и минерализацией воды.

Следует обратить внимание на то, что при pH = 6 смачиваемость коллектора и пресной водой, и солевым раствором наименьшая, то есть степень взаимодействия коллектора с растворами при такой кислотности среды минимальна. Зависимость β -pH носит сложный характер, причем форма зависимости для пресной и соленой воды сохраняется, то есть не зависит от минерализации. При незначительном отклонении от pH = 6 в большую или меньшую сторону смачиваемость резко возрастает.

Было проведено исследование набухания глинистой части коллектора в растворах с разной величиной pH. В результате определили, что при pH= 7,6 в пресной воде набухание минимальное, а в солевом растворе при pH = 8 набухание прекращается. При pH = 5 набухание в пресной воде максимальное, а в солевом растворе при pH = 6. То есть набухание максимально в области изоэлектрической точки (ИЭТ) при перезарядке поверхности твердой фазы. Таким образом, проведенные лабораторные исследования показывают, что электрокинетическая составляющая и электрокинетические явления играют значительную роль в процессах взаимодействия ►

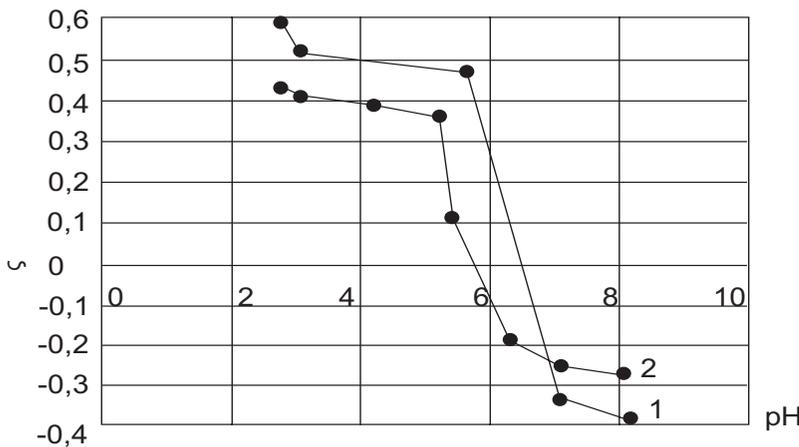


Рис.1. Зависимость ζ -потенциала частиц дисперсной фазы от pH дисперсионной среды 1 - модель солевого фильтрата, 2 - пресная вода.
 Figure 1. Dependency of ζ Potential of the Dispersion Phase Particles on pH of the Dispersion Medium 1 - Model of the Salting Filtrate, 2 - Fresh Water

| pH | β , см/ с ^{0.5} без ПСМ | β , см/ с ^{0.5} с ПСМ |
|-----|--|--------------------------------------|
| 4,1 | 0,558 | 0,527 |
| 6,0 | 0,320 | 0,535 |
| 8,9 | 0,574 | 0,531 |

Табл.2 Зависимость параметра β от pH в присутствии ПСМ и без него / Table 2. Dependency of β Parameter on pH in the Presence of Metal Peroxide Compound and Without It

насыщающей среды и коллектора, причем в сильной степени определяют такие явления, как набухание и смачиваемость полимиктового коллектора.

Учитывая сильное влияние электростатической составляющей и электрокинетических явлений на взаимодействие исследуемого фильтрата с коллектором, можно попробовать использовать добавки веществ, уменьшающие электростатическую составляющую, например перекисные неорганические соединения. В солевой раствор добавили перекисное соединение металла (ПСМ) и провели оценочные опыты, результаты которых сведены в табл. 2.

Результаты оценочных опытов показывают, что добавка ПСМ позволяет «погасить» электрокинетически активные области на поверхности коллектора и сильно уменьшить зависимость смачиваемости от величины pH. Другими словами, применение ПСМ позволяет уменьшить активность процесса взаимодействия фильтрата раствора с коллектором, тем самым уменьшая его адсорбцию и повышая подвижность.

Для оценки влияния кислотности на вязкостные свойства фильтрата бурового раствора были проведены лабораторные исследования. В качестве модели использовали водный раствор карбоксилметилцеллюлозы (КМЦ) и феррохлорлигносульфоната (ФХЛС). Результаты представлены в табл. 3.

Из таблицы 3 видно, что фильтрат бурового раствора и при 20°C, и при 80°C максимальную вязкость имеет при pH = 6, причем в щелочной среде (pH >7) вязкость его меньше, чем в кислой. Повышение температуры приводит к резкому снижению вязкости и уменьшению ее зависимости от pH.

Рассматривая результаты лабораторных опытов, отметим:

- исследованная система «фильтрат бурового раствора – коллектор» подвержена ощутимому влиянию сил электрической природы, в частности электрокинетических;
- в области ИЭТ, при pH = 6, фильтрат обладает максимальной вязкостью, коллектор имеет наибольшую степень набухания, значит, следует ожидать наименьшую подвижность фильтрата, подвижность будет увеличиваться при отклонении pH в большую или меньшую сторону;
- можно предположить более легкие условия вытеснения фильтрата в щелочной среде при pH = 8;
- добавка в буровой раствор или жидкость перфорации вещества, уменьшающего их взаимодействие с горной породой, позволит облегчить последующее извлечение фильтрата раствора из коллектора при освоении скважин.

Таким образом, при вскрытии продуктивных пластов следует учитывать электрокинетические явления в пористых средах и использовать их для повышения качества вскрытия; для сохранения коллекторских свойств пластов при вскрытии за счет уменьшения проникновения фильтрата и уменьшения его взаимодействия с горными породами желательнее регулировать pH буровых растворов и жидкостей перфорации и добавлять в них специальные реагенты, например, перекисные неорганические соединения. ■

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Шапиро Д.А. Физико - химические явления в горных породах и их использование в нефтепромышленной геофизике. –М., «Недра», 1977, -191с.
2. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. –Л.: Химия, 1984. –368с.
3. Генкина Л.Ф. Явления в системе нефть – порода – вода, влияющие на вытеснение нефти из пласта растворами ПАВ. Автореферат канд. дис., Томск, 1989.

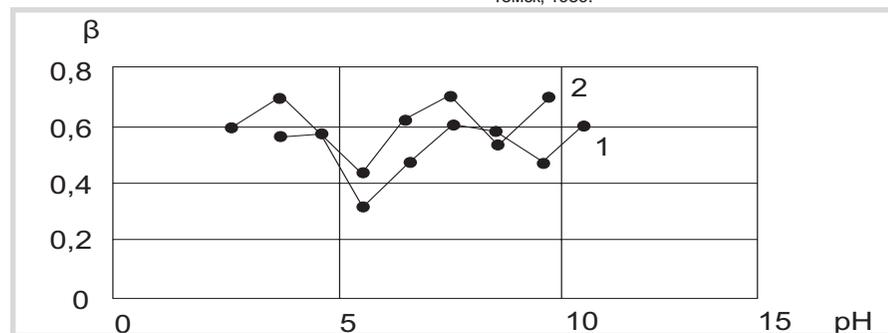


Рис.2 Зависимость параметра смачиваемости β от pH жидкости 1 – модель солевого фильтрата, 2 – пресная вода / Figure 2. Dependency of the Wettability Parameter β on pH of the Fluid 1 – Model of the Salting Filtrate, 2 – Fresh Water

| | pH | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| Вязкость Фильтрата бур. раст-ра, мПа*с | 20°C | 56,65 | 66,46 | 138,34 | 21,03 | 18,83 | 17,89 |
| | 80°C | 14,36 | 11,06 | 18,05 | 11,61 | 15,07 | 8,55 |

Табл.3 Изменение вязкости фильтрата бурового раствора (раствор КМЦ + ФХЛС) в зависимости от pH / Table 3. Change in the Drilling Fluid Filtrate (solution of carboxymethylcellulose + ferrochlorlignosulfonate) Depending On pH

characterizes the wettability of the sand with the fluid under consideration. The test results are given in Fig. 2. It has to be pointed out that it is possible in principle to adjust wettability by changing pH of the medium and by means of water mineralization.

It is noteworthy that at pH = 6, the wettability of the header both with fresh water and with salting fluid is minimum, that is the degree of interaction between the header and the fluids at such acidity of the medium is minimum. The β – pH dependence is of complex nature, besides, the form of dependence for fresh water and salting fluid is retained, i.e. it does not depend on mineralization. With insignificant deviation from pH = 6 for greater or lesser value, the wettability rises dramatically.

A test was run to investigate the swelling of the clay portion of the header in the solutions with different pH value. As a result, it was established that at pH = 7.6 in fresh water, the swelling is minimum while in salting fluid at pH = 8, the swelling stops. At pH = 5, the swelling in fresh water is maximum, while in salting fluid it is maximum at pH = 6. That is, the swelling is maximum in the region of the isoelectric point, when the surface of the solid phase recharges. Thus, the laboratory tests conducted show that the electro-kinetic component and the electro-kinetic phenomena play a significant part in the interaction processes between the saturating medium and the header, besides, to a great extent, such phenomena are determined both by swelling and wettability of the polymictic header.

In view of the strong influence, exercised by the electrostatic component and electro-kinetic phenomena on the interaction of the filtrate under investigation and the header, it may be worth trying to add the substances which reduce the electrostatic component, for example, peroxide inorganic compounds. Metal peroxide compound was added to the salting fluid and evaluation tests were conducted whose results are summed up in table 2.

The results of the evaluation tests indicate that addition of a metal peroxide compound makes it possible to "extinguish" the electro-kinetic active fields on the surface of the header and to drastically reduce the dependence of wettability on the pH value. In other words, the use of metal peroxide compounds makes it possible to reduce the activity of the process of interaction between the solution filtrate and the header, thus lowering its adsorption and raising mobility.

To evaluate the effect of acidity on the viscosity properties of the drilling fluid filtrate, laboratory research was carried out. As a model the water solution of carboxymethylcellulose and ferrochlorlignosulfonate was used. The results are given in table 3.

It is evident from table 3 that the drilling fluid filtrate, both at 20°C and at 80°C, has maximum viscosity at pH = 6, besides in alkaline medium (pH >7) its viscosity is less than in the acid medium. Increased temperature leads to a sharp reduction in the viscosity and a decrease in its dependence on pH.

While examining the results of the laboratory tests, let us note that:

- the drilling fluid filtrate – header system investigated is subject to tangible influence of the forces of electric nature, specifically, electro-kinetic;
- in the area of isoelectric point, at pH = 6, the filtrate possesses maximum viscosity, the header has the greatest degree of swelling, that means, one has to expect the least mobility of the filtrate; the mobility will increase when pH deviates for greater or lesser values;
- one can anticipate lighter conditions for filtrate expulsion in the alkaline medium at pH=8;
- addition to the drilling fluid or the perforation fluid of a substance which reduces their interaction with mining material will help facilitate subsequent extraction of the fluid filtrate from the header when the well is completed.

Therefore, when productive formations are drilled in, one has to take into consideration the electro-kinetic phenomena in the porous media and use them to improve the quality of drilling in; in order to retain the header properties of the formations when drilling in by reducing the penetration of the filtrate and reducing its interaction with mining material, it is desirable that pH of the drilling fluids and perforation fluids be adjusted and that special agents, for example, peroxide inorganic compounds be added to them.