

## ЦЕЛЕСОБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСОКОСОРТНЫХ ГЛИНОПОРОШКОВ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ВОСТОКА И КРАЙНЕГО СЕВЕРА СССР

А.М.ЯКОВЛЕВ, В.Г.ВАРТЫКЯН, А.В.ГОЛОВКИН,  
В.В.МАХОТИН, Э.А.ДАРДА, Э.М.БУДЬКО

Для получения промывочных растворов применяются глинопоршки, выпускаемые различными заводами, и местные комовые глины. По стоимости глиноматериала, расходуемого на приготовление 1 м<sup>3</sup> стандартного раствора (с условной вязкостью 25 с), как правило, делается неправильный вывод об экономической эффективности местных комовых глин.

В каждом геологическом управлении для конкретных условий разрабатываются промывочные растворы, многие из которых характеризуются весьма большим содержанием твердой фазы и высоким удельным весом  $\gamma$ . Это ухудшает показатели процесса бурения скважин, а также может служить причиной аварийных ситуаций, чаще всего связанных с обрывом колонны буровых труб. Кроме того, растворы с удельным весом 1,2–1,4 гс/см<sup>3</sup> могут способствовать поглощению промывочной жидкости, особенно в глубоких скважинах при бурении по зонам тектонических нарушений. Растворы с содержанием твердой фазы 150–800 кг/м<sup>3</sup> вызывают засорение ствола глинистым материалом и шламом, ведущее к перебурированию ранее пройденных интервалов. Эти осложнения часто неправильно объясняют обвалами горных пород. При использовании таких растворов нередко наблюдаются прихваты и затяжки бурового инструмента, особенно тяжелые в скважинах, проходимых по пористым и кавернозным породам из-за большой толщины глинистой корки  $\delta$  и значительной водоотдачи  $B$ . Пресные растворы<sup>\*</sup> с большим содержанием глины характеризуются высокими значениями условной вязкости  $T$  и пределом статистического напряжения сдвига СНС (табл. I), поэтому они плохо очищаются от разрушенной породы и служат причиной обвалов горных пород из-за значительных гидродинамических давлений. Кроме того, растворы с высокими удельным весом и вязкостью резко снижают механическую скорость бурения (в некоторых случаях до 10%), способствуют повышенному износу насосного оборудования,

---

<sup>\*</sup> Глинистые растворы с содержанием  $NaCl$  не более нескольких грамм на 1 л.

Таблица

## Характеристика промысловых растворов

| Территориальное геологическое управление (ТГУ), геологоразведочная экспедиция (ГРЭ) | Расход глины на 1 м <sup>3</sup> , кг | Тип и расход реагента на 1 м <sup>3</sup> раствора             | $\gamma$ , гс/см <sup>3</sup> | $T$            | $V$ , см <sup>3</sup> | $\delta$ , мм | СНС, мгс/см <sup>2</sup> |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------|-----------------------|---------------|--------------------------|
| Пресные растворы                                                                    |                                       |                                                                |                               |                |                       |               |                          |
| Ухтинское, Воркутинская ГРЭ                                                         | 400-600                               | Без обработки                                                  | 1,3-1,4                       | 22-30          | 30-40                 | 7-10          | 96 (для 480 кг глины)    |
| Красноярское, Норильская ГРЭ                                                        | 150-800 (местных), 80-100 (привозных) | 2,5 кг КМЦ <sup>х</sup><br>2,5 кг КМЦ                          | 1,08-1,32<br>1,08-1,06        | 22-40<br>20-22 | 8-15<br>4-6           | 1-3<br>0,5    | 0,5-250<br>0             |
| Соленые растворы                                                                    |                                       |                                                                |                               |                |                       |               |                          |
| Якутское, Янская ГРЭ                                                                | 300                                   | Без обработки 50 кг                                            | 1,20                          | 22             | 40                    | 10            | Нет                      |
| Северо-Восточное, Карамкенская ГРЭ                                                  | 400 (местных), 100 (привозных)        | 4 кг КМЦ + 55 кг NaCl<br>30 кг NaCl + 0,5 кг КМЦ + 5 кг Сушила | 1,23<br>1,10                  | 32<br>22       | 8<br>27               | 0,3<br>2      | 24<br>27                 |

<sup>х</sup> Дополнительно с карбоксиметилцеллюлозой (КМЦ) вводится  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  от 1 до 10 кг на 1 м<sup>3</sup> раствора.

бурильных труб. Процесс приготовления растворов из комовых глин в 1,5–2 раза длительнее, чем из глинопорошков. Поэтому для получения раствора из комовых глин число бригад-смен увеличивается в 1,5–2 раза. Для стабилизации и регулирования параметров растворов с большим содержанием твердой фазы нельзя применять многие эффективные химические реагенты; они не могут быть также использованы для бурения со съёмным керноприемником (ССК) и с трубами новой нормали.

В современной мировой и отечественной практике бурения используются или разрабатываются растворы с содержанием глинистого материала до 5–7%, т.е. 50–70 кг/м<sup>3</sup>. Такие растворы лишены практически всех перечисленных недостатков. Для их получения необходимо использовать бентонитовые глинопорошки высшего качества. В СССР к таким глинопорошкам относятся, например, глинопорошки Ильского (I сорта) и Константиновского заводов. Их расход для получения 1 м<sup>3</sup> стандартного раствора составляет соответственно 100 и 70 кг.

Глинопорошок Константиновского завода содержит 3,2–4,2% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, что делает фильтраты этих растворов агрессивными в отношении глинистых пород в стенках скважин. Поэтому для условий, опасных по воздействию фильтрата раствора, глинопорошок Константиновского завода может оказаться нежелательным.

По данным исследований, проведенных кафедрой технологии и техники бурения скважин ЛПИ, для большинства месторождений Якутии и Магаданской области характерны осложнения двух типов: поглощения и обвалы из зон тектонических нарушений, представленных перемiatыми до глин горными породами; для условий Воркутинской ГРЭ Ухтинского ТПУ – поглощения. Все это позволяет считать, что для Ухтинского ТПУ могут быть рекомендованы глинопорошки Константиновского завода, а для Якутского и Северо-Восточного ТПУ – глинопорошки Ильского завода I сорта.

Бесперебойное снабжение районов Северо-Востока и Крайнего Севера высококачественными глинопорошками позволит повысить надежность работ, снизить аварийность и стоимость 1 м бурения. Экономическую эффективность от применения различных глин следует рассчитывать совместно с тем технологическим эффектом, который может быть получен к окончанию проходки скважин.

Для Воркутинской ГРЭ глинопорошок Альметьевского завода (А) со средним расходом 0,48 т/м<sup>3</sup> рекомендуется заменить глинопорошком Константиновского завода (К) с расходом 0,06–0,08 т/м<sup>3</sup>; технологические параметры сопоставляемых растворов:

|                               | А    | К         |                           | А  | К        |
|-------------------------------|------|-----------|---------------------------|----|----------|
| $\gamma$ , гс/см <sup>3</sup> | 1,35 | 1,02–1,04 | $\delta$ , мм             | 6  | 0,55     |
| T, с                          | 22   | 20–25     | CHC, мг/мм <sup>2</sup> : |    |          |
| B, см <sup>3</sup>            | 40   | 15–13     | $\theta_1$                | 36 | 1,2–35,6 |
|                               |      |           | $\theta_2$                | 45 | 1,9–37,6 |

При расходе глинопорошка Константиновского завода (около 70 кг/м<sup>3</sup>) без химической обработки можно получить растворы с толщиной глинистой корки в 10 раз меньшей, чем из глин Альметьевского завода. При этом расход глин Константиновского завода в 6–8 раз меньше, чем Альметьевского.

Для Красноярского ТГУ, Норильской ГРЭ местные комовые глины Вальковского месторождения и глинопорошок Черногорского завода рекомендуется заменить на глинопорошок Константиновского завода. Требуемые параметры растворов из местных глин и Черногорского порошка получаются только при химической обработке растворов, а из глинопорошка Константиновского завода были получены аналогичные параметры раствора без химической обработки.

Для Якутского и Северо-Восточного ТГУ глины смешанного состава Ильского завода рекомендуется заменить на глинопорошок того же завода I сорта, что позволит снизить расход глин и химических реагентов, необходимых для получения пресных и соленых растворов (табл.2).

Таблица 2

Сравнительные данные по растворам,  
приготовленным из глин разных сортов

|                                    | Расход глин,<br>т/м <sup>3</sup><br>реагента                     | $\gamma$ ,<br>гс/см <sup>3</sup> | T, с  | B, см <sup>3</sup> | $\delta$ , мм | СНС, мгс/см <sup>2</sup> |               |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------|--------------------|---------------|--------------------------|---------------|
|                                    |                                                                  |                                  |       |                    |               | $\theta_1$               | $\theta_{10}$ |
| Комовые Вальковского месторождения | 0,15-0,80 +<br>+ 2 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ +<br>+ 5 кг КМЦ-500  | 1,08-1,32                        | 22-40 | 5-15               | 0,5-3,0       | 0,5-250                  | Нет           |
| Черного за                         | 0,08-0,10 +<br>+ 1,1 кг $\text{Na}_2\text{CO}_3$ +<br>+ 5 кг КМЦ | 1,08-1,08                        | 20-92 | 4-6                | 0,5           | 0                        | Нет           |
| Константиновского завода           | Без обработки<br>0,06-0,08                                       | 1,02-1,04                        | 20-26 | 15-13              | 0,5-0,6       | 1,2-35,6                 | 1,9-37,6      |

#### Пресные растворы

Ильского завода

|                    |                         |      |    |     |     |     |      |
|--------------------|-------------------------|------|----|-----|-----|-----|------|
| Смешанного состава | 0,200 +<br>+ 2,5 кг КМЦ |      | 22 | 7,5 | 1,8 | 18  | 39   |
| I сорта            | 0,08                    | 1,04 | 21 | 13  | 1,0 | 4,9 | 12,7 |

#### Соленые растворы

|                    |                                           |      |    |     |     |      |      |
|--------------------|-------------------------------------------|------|----|-----|-----|------|------|
| Смешанного состава | 0,10 + 5,5 кг<br>реагента + $\text{NaCl}$ | 1,09 | 20 | 40  | 1,0 | 4    | 6    |
| I сорта            | 0,06 + 3 кг<br>реагента                   | 1,08 | 18 | 7,0 | 0,5 | 10,0 | 12,0 |

Учитывая, что в среднем стоимость местных глин составляет 5 руб./т, глинопорошков смешанного состава 50 руб./т и первосортных 55 руб./т (принято повышение стоимости на 10% по сравнению с глинопорошками смешанного состава), необходимо установить, будут ли компенсироваться затраты на глины I сорта соответствующим ростом производительности бурения и снижением себестоимости по эксплуатационным расходам за счет снижения осложнений, расхода глины и т.д.

В районах Крайнего Севера и Северо-Востока СССР (Якутское, Ухтинское, Северо-Восточное и Красноярское ТТУ) скважины бурят с применением промывочных растворов на основе местных или привозных низкосортных глин. Поэтому за базу сравнения при расчете экономической эффективности использования глин были приняты технико-экономические показатели и нормативные данные бурения скважин глубиной 1000 м в этих районах. Кроме того, учитывалось, что использование вместо растворов из местных глин растворов из низкосортных и высококачественных глинопорошков способствует увеличению механической скорости при бурении скважин соответственно на 5 и 10% за счет сокращения затрат времени на борьбу с осложнениями и авариями. Степень влияния перечисленных факторов на рост производительности определялась для условий бурения скважин в породах УШ категории по буримости. Средняя производительность алмазного бурения для рассмотренных организаций составляет 275 м/станко-месяц (механическая скорость бурения 0,64 м/ч). Производительность рассчитывается по формуле

$$H = \frac{1}{T_0} + \frac{P}{\Sigma T} + \frac{1}{T_{\Pi}},$$

где  $T_0$  - затраты чистого времени на 1 м бурения, ч/м;  $\Sigma T$  - затраты времени на вспомогательные операции на 1 рейс бурения, ч/рейс;  $P$  - величина рейса, м/рейс;  $T_{\Pi}$  - затраты времени на закрепление шпиделя, ч/смену.

Результаты расчета показали: за счет улучшения качества глинистого раствора производительность бурения в станко-смену может вырасти на 0,5-3,5% в зависимости от сортности глины. Кроме того, улучшение качества глинистых растворов позволяет снизить потери времени на борьбу с осложнениями и ликвидацию аварий и за счет этого также увеличить производительность. Для скважины глубиной до 1000 м доля аварий и осложнений достигает 10% в общем балансе (по данным ВИТР). За счет улучшения баланса рабочего времени производительность в станко-смену может быть увеличена на 1,6-2,8%. Себестоимость станко-смены бурения скважин глубиной 1000 м в твердых породах определяется по нормам СУСН для базового варианта с учетом роста производительности труда и изменения расходов по статьям затрат для заводских глин. При расчетах были учтены коэффициенты: к зарплате 1,7; транспортно-заготовительных расходов 1,31; накладных расходов и плановых накоплений 1,237. Принятые коэффициенты по Северо-Восточному ТТУ характеризуют средние условия для рассматриваемой группы геологоразведочных организаций.

При расчете стоимости промывочных растворов на основе глинопорошков смешанного состава и I сорта корректировались следующие статьи расходов: материалы, износ, амортизация (табл.3).

Исходя из расчета, производительность при работе с местными глинами, глинопорошками смешанного состава и I сорта соответственно составила 2,65; 2,74 и 2,82 м в станко-смену. С учетом этой производительности рассчитана стоимость 1 м бурения (табл.4).

В дополнительных расчетах учитывалось, что при бурении скважин с применением промывочных растворов на основе глинопорошка I сорта может быть

Затраты на глину по вариантам сравнения

| Глины           | Расход на станко-смену <sup>х</sup> |          |              | Стоимость       |                   | Затраты по расходу на станко-смену, руб. |          |
|-----------------|-------------------------------------|----------|--------------|-----------------|-------------------|------------------------------------------|----------|
|                 | раствора, м                         | глины, т | реагента, кг | 1 т глины, руб. | реагента, руб./кг | глины                                    | реагента |
| Местные         | 0,7                                 | 0,336    | 3,2          | 5               | 1,6               | 1,68                                     | 5,12     |
| Смешанные:      |                                     |          |              |                 |                   |                                          |          |
| пресный раствор | 0,7                                 | 0,106    | 2,6          | 50              | 1,6               | 5,25                                     | 4,12     |
| соленый раствор | 0,7                                 |          | 3,85         | 50              | 1,6               | Нет                                      | 6,0      |
| I сорта:        |                                     |          |              |                 |                   |                                          |          |
| пресный раствор | 0,7                                 | 0,049    | Нет          | 55              | 1,6               | 2,69                                     | Нет      |
| соленый раствор | 0,7                                 | 0,035    | 2,1          | 55              | 1,6               | 2,10                                     | 3,3      |

<sup>х</sup> В расчетах не учитывались добавки  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и  $\text{NaCl}$ .

значительно снижен износ труб и насосов. Норма расхода труб на станко-смену 0,88 м. Если принять, что износ труб снизится на 10% при использовании глинопорошков смешанного состава и на 20% при использовании глинопорошков I сорта, то при стоимости 1 м труб 3 руб. экономия по статье «износ» на станко-смену составит соответственно

$$(3,0 \cdot 0,88) - (3,0 \cdot 0,88 \cdot 0,9) = 0,26 \text{ руб.};$$

$$(3,0 \cdot 0,88) - (3,0 \cdot 0,88 \cdot 0,8) = 0,53 \text{ руб.}$$

Экономия по статье «амортизация» в результате снижения износа насосов соответственно на 10 и 20% составит на станко-смену

$$\frac{4,59 \cdot 12}{29} \quad 0,1 = 0,19 \text{ руб.};$$

$$\frac{4,59 \cdot 12}{29} \quad 0,2 = 0,38 \text{ руб.}$$

Из данных табл.4 следует, что наибольшая экономия на 1 м бурения достигается при применении высококачественных глинопорошков: для пресных растворов 3,81 руб.; для соленых 3,33 руб. при росте производительности на 6,3%.

Экономический эффект от замены местных комовых и низкосортных заводских глин на высокосортные глинопорошки определяется по формуле

$$\mathcal{E} = (C_c - C_n) + E(K_c - K_n),$$

Расчет стоимости станко-смены и 1 м бурения (в рублях)

| Статьи расходов                                   | Местные глины | Глинопорошки    |                 |                 |                 |
|---------------------------------------------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                                                   |               | смешанные       |                 | I сорта         |                 |
|                                                   |               | пресный раствор | соленый раствор | пресный раствор | соленый раствор |
| Заработная плата:                                 |               |                 |                 |                 |                 |
| основная                                          | 25,6          | 25,6            | 25,6            | 25,6            | 25,6            |
| дополнительная                                    | 1,63          | 1,63            | 1,63            | 1,63            | 1,63            |
| Отчисления на соц-страх                           | 1,32          | 1,32            | 1,32            | 1,32            | 1,32            |
| Материалы<br>в том числе:                         |               |                 |                 |                 |                 |
| глина                                             | 13,78         | 16,14           | 17,94           | 9,67            | 12,38           |
| реагент                                           | 6,8           | 9,45            | 11,25           | 2,69            | 5,4             |
| Амортизация                                       | 4,59          | 4,40            | 4,4             | 4,21            | 4,21            |
| Износ                                             | 6,65          | 6,39            | 6,39            | 6,12            | 6,12            |
| Услуги                                            | 1,78          | 1,78            | 1,78            | 1,78            | 1,78            |
| Транспорт                                         | 1,31          | 1,31            | 1,31            | 1,31            | 1,31            |
| Итого                                             | 56,66         | 58,57           | 60,37           | 51,64           | 54,35           |
| С учетом накладных расходов и плановых накоплений | 70,26         | 72,63           | 74,86           | 64,03           | 67,65           |
| Стоимость 1 м бурения, руб.                       | 26,51         | 26,5            | 27,32           | 22,7            | 23,99           |

где  $C_c$  и  $C_n$  - себестоимость 1 м бурения по старому и новому вариантам, руб./м;  $K_c$  и  $K_n$  - удельные капитальные вложения по старому и новому вариантам, руб./м;  $E = 0,2$  - нормативный коэффициент эффективности.

Таким образом, при замене местных комовых глин и глинопорошков смешанного состава на высокосортный глинопорошок экономический эффект составит: для приготовления пресных растворов

$$\mathcal{Q} = (26,51 - 22,70) + 0,2(5,77 - 5,45) = 3,874 \text{ руб./м,}$$

для соленого раствора 3,394 руб./м.

Итак, ориентировочные расчеты показали: замена используемых геологическими организациями местных глин и глинопорошков смешанного состава на высокосортные глинопорошки вполне целесообразна и экономически оправдана. Использование высокосортных глинопорошков позволяет снизить себестоимость 1 м бурения и затраты по капитальным вложениям, уменьшить износ дорогостоящих буровых труб, продлить срок службы насосов и, в конечном счете, увеличить производительность бурения, обеспечить возможность использования глинистых растворов при бурении глубоких скважин ССК.