

*It is proposed to use the adjacent sectors of the diamond-bearing matrix of the drill bit with different diamond layouts and different numbers of radial rows. The results of computer simulation of a similar diamond crown are given. It is shown that the uneven loading of individual diamonds in the single-layer crown sector decreases with a decrease in the number of radial rows. The best from this point of view for crowns with an odd number of radial rows in the sector is the use of three radial rows. The prospects of their use in drilling exploration wells are shown.*

**Keywords:** *drilling of exploration wells, single-layer diamond crowns, modeling of diamond crowns.*

УДК 622.24.051.64

DOI: 10.33839/2223-3938-2019-22-1-109-115

**М. С. Попова**, старший преподаватель

*Сибирский федеральный университет, пр. им. газеты «Красноярский рабочий», д. 95,  
660095, г. Красноярск, Россия, e-mail: alleniram83@mail.ru*

### **АРМИРОВАНИЕ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА КРУПНЫМ СИНТЕТИЧЕСКИМ МОНОКРИСТАЛЛОМ**

*Современные условия проведения буровых работ нуждаются в качественном надежном породоразрушающем инструменте. Значительное внимание следует уделять научно-обоснованным методикам отработки современного бурового инструмента, с тем чтобы высокие затраты окупались, не увеличивая существенно себестоимость буровых работ. Цель работы: исследование влияния расположения крупного резца (синтетического монокристалла) в породоразрушающей части инструмента на эффективность разрушения породы. Объекты исследований: процессы, протекающие на забое при бурении скважин однослойным алмазным инструментом. Методы исследований: аналитические исследования, анализ. Результаты исследований: определены основные процессы бурения, которые необходимо учитывать при проектировании и разработке нового поколения породоразрушающего инструмента, определены критерии расстановки крупного алмаза в породоразрушающей части бурового инструмента.*

**Ключевые слова:** *бурение, породоразрушающий инструмент, раскладка алмазов, буровая коронка, ядро смятия, линия резания, синтетический монокристалл.*

Современное бурение характеризуется применением дорогостоящих породоразрушающих буровых инструментов, призванных обеспечить как высокие темпы проходки, так и ресурс.

Новые технологии, возможности в области материаловедения и инструментостроения, а также многолетний опыт применения, сделали одним из перспективных буровых инструментов – алмазный породоразрушающий инструмент (ПРИ). Как показали исследования [1, 2, 3], разработка бурового породоразрушающего инструмента, армированного алмазным материалом, требует одновременного изучения многих факторов, влияющих на эффективность его работы на забое.

Таковыми факторами являются:

1. Механизм разрушения, который сам по себе является сложной системой. При этом необходимо учитывать: свойства разрушаемой породы; форму и размер алмазного резца; конструкцию ПРИ; схему расположения алмазных резцов на рабочей поверхности породоразрушающего инструмента; траекторию движения каждого резца инструмента в процессе бурения скважины.

2. Гидравлический режим работы инструмента, а именно: свойства и состав очистного агента; способ подачи промывочной жидкости на забой; конструкцию промывочной системы инструмента; режимы бурения.

3. Температурный режим работы, который тесно связан с гидравлическим режимом и во многом зависит от забойной мощности.

Использование синтетического алмазного монокристалла в качестве резца в процессе разработки конструкции ПРИ дает возможность регулировать его форму и размеры не изменяя качество. Современные достижения в области синтеза позволяют получать алмазный монокристалл различных размеров правильной октаэдрической формы, которая поддается овализации. Крупные монокристаллы (диаметром 1,5 и более мм) можно располагать на рабочей поверхности инструмента с заданным выпуском и при необходимости под определенным углом.

При статическом вдавливании породоразрушающего инструмента, армированного синтетическими алмазными монокристаллами одного размера и с заданным выпуском, все монокристаллы равномерно углубятся на одинаковую глубину. Например, для алмазной однослойной коронки величина внедрения объёмных алмазов в породу при статическом вдавливании будет зависеть от осевой нагрузки на алмаз ( $P_a$ ), свойств породы и радиуса алмаза ( $R$ ):

$$h_p = \frac{k_p k_a P_a}{P_{шт} \pi R}, \quad (1)$$

где  $k_p$  и  $k_a$  – коэффициенты разрушения горной породы и формы алмаза,  $P_{шт}$  – твердость породы по штампу [4].

Однако в процессе бурения зона разрушения горной породы алмазным породоразрушающим инструментом будет значительно больше глубины его внедрения. Так, при разрушении породы овализованным алмазным монокристаллом глубина разрушения в 4-5 раз превышает величину его внедрения, а при работе приостренным алмазом ширина борозды разрушения в 1,5 раза шире резца [5].

В процессе бурения на работу алмазного резца оказывают действие осевые и тангенциальные усилия, в результате воздействия которых в горной породе создается напряженно-деформированное состояние. В зависимости от линейной скорости перемещения алмаза и коэффициента трения его о породу, под алмазным резцом образуется ядро сжатия (рис.1).

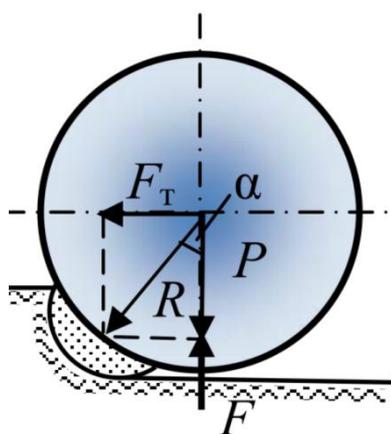


Рис. 1. Схема взаимодействия с породой овализованного алмазного зерна

Трещина отрыва породы формируется от вершины этого ядра в направлении поверхности забоя. От формы и расположения ядра сжатия во многом будет зависеть эффективность работы породоразрушающего инструмента [5].

Рассмотрим взаимодействие алмазов однослойной алмазной коронки, армированной синтетическими алмазными монокристаллами диаметром 1,5 мм, одной линии резания с забоем скважины. Даже при радиальной раскладке монокристаллов на торце коронки, расположение резцов на одной линии резания будет неравномерно (рис. 2).

Это связано с наличием промывочных окон между секторами коронки.

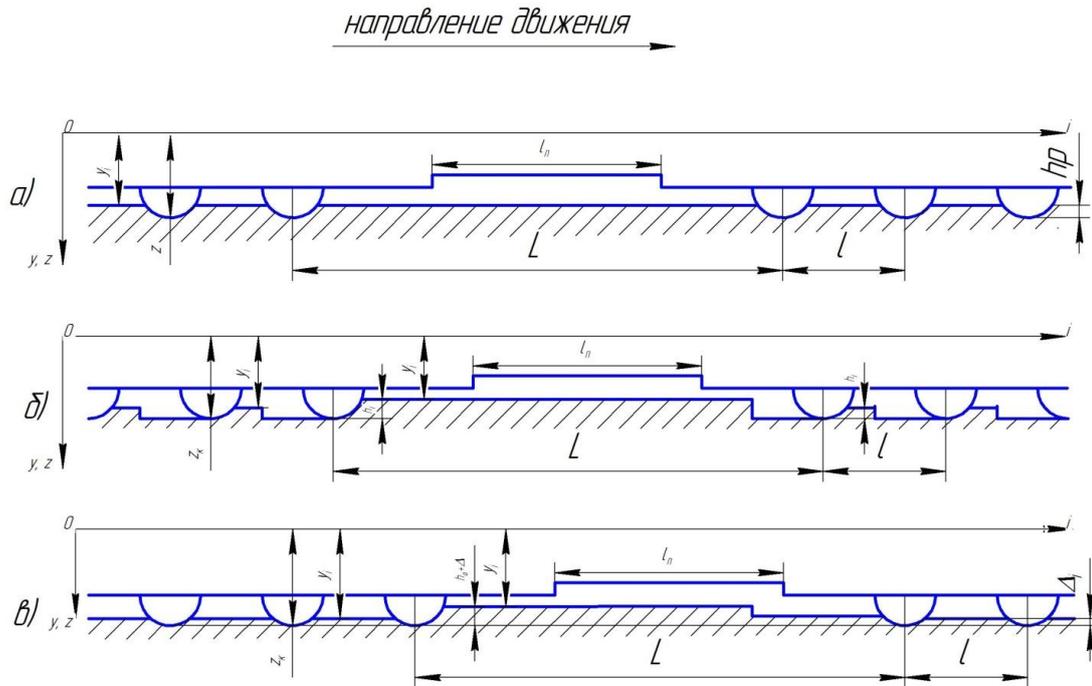


Рис. 2. Схема взаимодействия алмазов коронки одной линии резания с забоем скважины. Углубление алмазов в породе: а) первоначальная; б) при прохождении меньшего расстояния, чем расстояние  $l$ ; в) после прохождения расстояния  $l$

Положение каждого алмаза во время работы коронки определяется углом её поворота ( $\varphi$ ) и углублением коронки ( $z$ ). Каждая линия резания коронки дополнительно характеризуется координатами поверхности забоя ( $y(\varphi)$ ) в каждой своей точке. Таким образом, толщину слоя породы, срезаемую алмазом в конкретной точке забоя при определенном положении коронки, можно найти как разность координаты углубления коронки и координаты поверхности забоя перед конкретным алмазом:

$$h_i = z - y_i, \quad (2)$$

где  $i$  – номер углубки в цикле.

С другой стороны, исходя из условия неизменности площади внедрения алмазов в забой при постоянной осевой нагрузке, имеем соотношение:

$$\sum_{i=1}^{n_k} h_i = n_k h_p, \quad (3)$$

где  $n_k$  – количество алмазов в коронке.

При вращении коронки происходит её периодическая углубка на величину  $\Delta$ . В момент каждого акта разрушения породы будет выполняться следующее соотношение:

$$\sum_{i=1}^{n_k} (z - y_i + \Delta) = n_k h_p, \quad (4)$$

где  $\Delta$  – приращение углубки коронки на каждом акте внедрения в породу.

Из уравнения (4) можно найти значение  $\Delta$ , соответствующее определенному положению коронки на забое.

$$\Delta = \frac{n_k h_p - \sum_{i=1}^{n_k} (z - y_i)}{n_k} = h_p - \frac{1}{n_k} \sum_{i=1}^{n_k} (z - y_i). \quad (5)$$

Максимальная толщина слоя породы, срезаемая алмазом ( $h_{max}$ ), зависит от количества углубок, совершенных коронкой за угол, при котором алмазы в линии резания переместятся

на расстояние  $L$  ( $L$  – максимальное расстояние между алмазами в одной линии резания (рис.2)). Т. е.  $h_{max}$  можно найти из выражения:

$$h_{max} = h_a + \sum \Delta_i, \quad (6)$$

Подставив выражение (5) в (6), получим, что максимальная толщина слоя породы, срезаемая алмазом для коронок равна:

$$h_{max} = h_a \left[ 1 + \sum_{i=1}^m (1 - \kappa_n)^i \right], \quad (7)$$

где  $m = (L/l) - 1$ .

$\kappa_n = n_1/n_a$ ,  $n_1$  – количество алмазов в первом рабочем ряду сектора,  $n_a$  – количество алмазов в секторе,  $l$  – минимальное расстояние между алмазами в одной линии резания (рис. 2).

Согласно работе [6], при винтовой траектории движения алмазов по забою скважины под углом  $\alpha$  (рис. 3) алмазы 2 будут снимать максимально возможную толщину слоя породы ( $h_{max}$ ), равную:

$$h_{max} = h_{min} \frac{L}{l} \quad (8)$$

где  $h_{min}$  – толщина слоя породы срезаемая алмазами 1, 3, 4 (рис. 3).

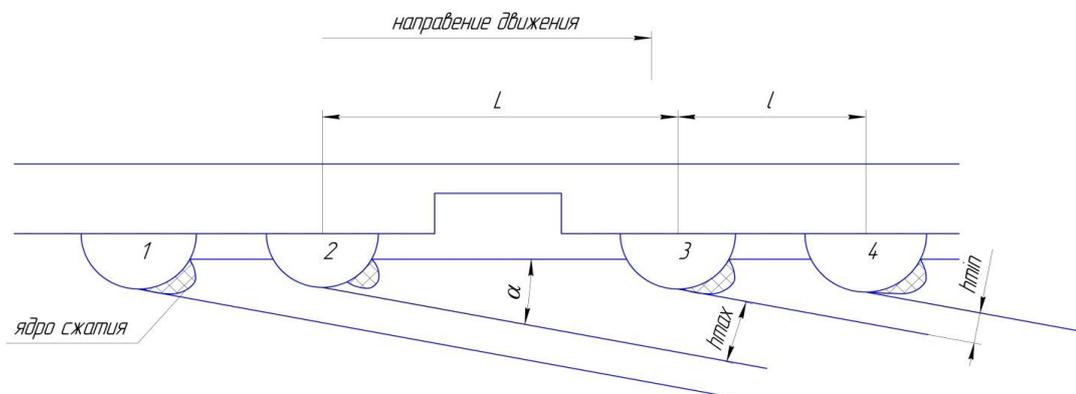


Рис.3. Схема взаимодействия алмазов одной линии резания при винтовой траектории движения.

Согласно расчетной схеме (рис. 4.) и теории [6], алмазом 2 снимается слой породы, зависящий от значения расстояния от алмаза 2 до впередидущего алмаза 3 ( $L$ ) и длины пути ( $S$ ), пройденного этим алмазом.

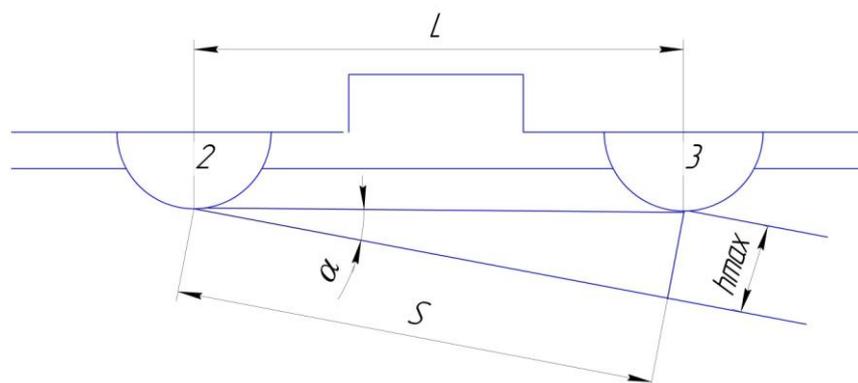


Рис. 4. Схема взаимодействия крайнего алмаза сектора с горной породой:  $\alpha$  – угол наклона винтовой линии;  $S$  – длина пути алмаза 2.

За один оборот алмазом 2 снимется толщина слоя породы равная:

$$h_{\max} = \sqrt{L^2 - \left(\frac{\pi(R_k - r_k)}{\cos \alpha}\right)^2}, \quad (9)$$

где  $R_k$ ,  $r_k$  – соответственно наружный и внутренний радиусы коронки по резцам.

Приведенные модели взаимодействия алмазных монокристаллов с горной породой в процессе бурения показывают, что при неравномерном расположении резцов по линии резания наибольшая нагрузка приходится на крайние по набегающей части алмазные резцы. Это связано с тем, что за один оборот такие резцы снимают наибольший слой породы. Толщина слоя породы, снимаемого крайними алмазами, зависит от расстояния до следующего в линии резания алмаза [1], угла наклона траектории его движения и осевой нагрузки.

Таким образом крайние по набегающей части алмазные резцы будут испытывать большее сопротивление горной породы чем остальные алмазы коронки, в связи с чем ядро сжатия под такими алмазами будет смещено вверх. При чрезмерном увеличении осевой нагрузки, тангенциальное усилие, действующее на крайние алмазные резцы, будут значительно больше, чем действующие на остальные резцы бурового инструмента. Такое повышение сопротивления может привести к чрезмерному смещению ядра сжатия вверх и как следствие снижению глубины борозды разрушения крайними алмазами.

#### **Выводы**

Продуктивность работы породоразрушающего инструмента, армированного крупными синтетическими монокристаллами во многом зависит от расположения монокристаллов в линии резания. При неравномерном расположении монокристаллов в линии резания повышение режимов бурения и как следствие затрат мощности может оказаться малоэффективным. Максимально возможные размеры борозды разрушения породы при оптимальных режимах бурения будут достигаться в случае равномерного распределения монокристаллов в линии резания.

*Сучасні умови проведення бурових робіт потребують якісного надійного породоруйнуючого інструменту. Значну увагу слід приділяти науково-обґрунтованими методиками відпрацювання сучасного бурового інструменту, з тим щоб високі витрати окупалися, не збільшуючи істотно собівартість бурових робіт. Мета роботи: дослідження впливу розташування великого різця (синтетичного монокристалла) в породоруйнівній частині інструменту на ефективність руйнування породи. Об'єкти досліджень: процеси, що протікають на заборі при бурінні свердловин одношаровим алмазним інструментом. Методи досліджень: аналітичні дослідження, аналіз. Результати досліджень: визначено основні процеси буріння, які необхідно враховувати при проектуванні і розробці нового покоління породоруйнівного інструменту, визначені критерії розстановки крупних алмазів в породоруйнівній частині бурового інструменту.*

**Ключові слова:** буріння, породоруйнівний інструмент, розкладка алмазів, бурова коронка, ядро зім'яття, лінія різання, синтетичний монокристал.

**M. S. Popova**

*Siberian Federal University, 95, Krasnojarskiy rabochiy Avenue, Krasnoyarsk, 660095, Russia. E-mail: alleniram83@mail.ru*

#### **REINFORCEMENT OF ROCK CUTTING TOOL BY LARGE SYNTHETIC MONOCRYSTAL**

*Modern conditions of drilling operations require high-quality reliable rock cutting tool. Considerable attention should be paid to scientifically-based methods of testing modern drilling tools, so that the high costs pay off without significantly increasing the cost of drilling. Objective: To study the effect of the location of a large incisor (synthetic single crystal) in the rock-breaking part of the tool on the efficiency of rock destruction. Objects of research: the processes occurring during the drilling of wells with a single-layer diamond tool. Research methods: analytical studies, analysis. Research results: identified the*

*main drilling processes that need to be explored in the design and development of a new generation of rock-cutting tools, the criteria for placing large diamond in the rock-cutting part of the drilling tool are defined.*

**Key words:** *drilling, rock cutting tools, diamond layout, drill bit, core of the crumple, cutting line, synthetic single crystal.*

### Литература

1. 1. Каракозов А. А., Попова М. С., Парфенюк С. Н., Богданов Р. К., Загора А. П. Определение максимальной углубки алмазных резцов однослойных коронок с радиальной раскладкой // Породоразащущающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения / Сборник научных трудов – Выпуск 15, – Киев: Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля, Национальной академии наук Украины, 2012. – С. 203–206.
2. 2. Каракозов А. А., Попова М. С., Парфенюк С. Н., Богданов Р. К., Загора А. П. Исследование и разработка конструкции однослойной буровой коронки с синтетическими монокристаллами алмаза // Породоразащущающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения // Сборник научных трудов – Выпуск 17, – Киев: Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля национальной академии наук Украины. – 2014. – С. 73-79.
3. 3. Нескоромных В. В., Попова М. С. Основы системного подхода к проектированию бурового инструмента // научно-технический журнал «Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море» – №8, 2018.
4. 4. Корнилов Н. И., Бухарев Н. Н., Киселев А. Т. и др. Буровой инструмент для геологоразведочных скважин: Справочник / Под ред. Н. И. Корнилова. – М.: Недра, 1990. – 395 с.
5. 5. Нескоромных, В. В. Разрушение горных пород при бурении скважин: Учебное пособие. – М.: ИНФРА-М; Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2015. – 336 с.
6. 6. Воздвиженский Б.И., Воробьев Г. А., Горшков Л. К. [и др.]. Повышение эффективности колонкового алмазного бурения. – Москва: Недра, 1990. – 208 с.

*Поступила 18.04.19*

### References

1. Karakozov A. A., Popova M. S., Parfenuk S. N., Bogdanov R. K., Zakora A. P. Opredelenie maksimalnoi uglubkialmaznykh reztsov odnosloinykh koronok s radialnoi raskladdoi [Determination of the maximum deepening of diamond incisors of single-layered crowns with a radial layout] // Porodorazrushaiushhii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiiia ego izgotovleniia i primeneniia / Sbornik nauchnykh trudov [Rock cutting and metalworking tools - machinery and technology of its production and application / collection of scientific papers] – Issure.15, – Kiev: Institute of Superhard Materials, 2012. – p. 203-206. [in Russian]
2. Karakozov A. A., Popova M. S., Parfenuk S. N., Bogdanov R. K., Zakora A. P. Issledovanie i razrobotka konstrukcii odnosloinoi burovoi koronki s sinteticheskimi monokristallami almaza [Reserch and development of the contraction of a single-layer drill bit with synthetic diamond single crystals]. // Porodorazrushaiushhii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiiia ego izgotovleniia i primeneniia / Sbornik nauchnykh trudov [Rock cutting and metalworking tools - machinery and technology of its production and application / / collection of scientific papers] – Issure.17, – Kiev: ISM, – 2014, – pp. 73-79. [in Russian]

3. Neskromnykh, V. V., Popova M. S. Osnovy sistemnogo podhoda k proektirovaniu burovogo instrumenta [Basis of the system approach to drilling tool design] // nauchno-tekhnicheskii zhurnal «Stroitelstvo neftianyx i gazovykh skvazhin na sushe i na more» [Scientific-technical journal «Construction of oil and gas wells on land and sea»] – №8, 2018. [in Russian]
4. Kornilov N. I., Bukharev N., Kiselev A. T. et al. Burovoi instrument dlia geologorazvedochnykh skvazhin: Spravochnik [Drilling tools for exploration wells: Reference]. – Moscow: Nedra, 1990, – 395 p. [in Russian]
5. Neskromnykh V. V. Razrushenie gornykh porod pri burenii skvazhin: Uchebnoe posobie [Destruction of rocks during drilling: The manual] – Moscow: INFRA-M; Krasnoyarsk: SFU, 2015. – 336 p. [in Russian]
6. Vozdvizhensky B. I., Vorobiev G. A., Gorshkov L. K. [and others]. Povyshenie ehffektivnosti kolonkovogo almaznogo bureniya (Improving the efficiency of core diamond drilling). Moscow: Nedra, 1990. 208 P. [in Russian]

УДК: 622.248.33

DOI: 10.33839/2223-3938-2019-22-1-115-126

**А. К. Судаков**, д-р техн. наук, **Д. А. Судакова**, канд. техн. наук

*Национальный технический университет «Днепро́вская политехника»,  
пр. Дмитрия Яворницкого, 19, 49005, Днепр, E-mail: sudakovy@ukr.net*

### **ИЗОЛЯЦИЯ ПОГЛОЩАЮЩИХ ГОРИЗОНТОВ БУРОВЫХ СКВАЖИН ТЕРМОПЛАСТИЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ**

*Целью работы является повышение эффективности изоляционных работ за счет применения нерастворимых в скважинной жидкости термопластичных смесей.*

*Поставленные задачи решались комплексным методом исследования, включающим анализ и обобщение литературных и патентных источников, проведение аналитических, экспериментальных исследований. Разработан и обоснован способ изоляции поглощающих горизонтов термопластичными материалами, для реализации которого необходимо выполнить следующие технологические операции: доставку термопластичных материалов на забой скважины, плавление термопластичных материалов и задавливание термопластичных материалов в каналы поглощения. Для различных геолого-технических условий бурения предложены технологические схемы изоляции поглощающих горизонтов термопластичных материалов. В качестве тампонажного материала для изоляции поглощающих горизонтов буровых скважин предложено использование бытовых отходов на основе полиэтилентерефталата.*

**Ключевые слова:** *бурение скважин, поглощающий горизонт, изоляция, тампонажные материалы.*

**Постановка проблемы.** Бурение как разведочных, так и эксплуатационных скважин в районе железорудных и каменноугольных бассейнов ведется в высокой степени разработки и метаморфизма, в крепких и трещиноватых породах. Породы разрабатываемых горизонтов находятся в сложнапряженном состоянии, что при сооружении горных выработок только осложняет технологию их сооружения.

Процесс бурения скважин связан с геологическими осложнениями. Наиболее распространенным осложнением является поглощение промывочной жидкости [1]. На ликвидацию поглощений затрачивается значительная часть времени и средств от общих расходов на бурение скважин. Поглощение приводит к нарушению технологического