СССР

ОТРАСЛЕВОЙ СТАНДАРТ

НЕФТЬ. МЕТОД ЛАБОРАТОРНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ АБСОЛЮТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ КОЛЛЕКТОРОВ НЕФТИ И ГАЗА И ВМЕЩАЮЩИХ ИХ ПОРОД

ОСТ 39-161-83

Издание официальное

gost.e-ecolog.ru

УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ ПРИКАЗОМ Министерства нефтяной промышленности от 06.01. 1984 г. № 15

ИСПОЛНИТЕЛИ: Г.Г.Вахитов, А.Г.Ковалев, В.С.Уголев, В.И.Покровский, В.П.Юрчак, Т.М.Максимова, Е.П.Ефремов, В.П.Сонич, В.К.Мельничук, О.Ф.Мартынцив, Б.П.Усачев, Л.Г.Югин, Б.Ф.Борисов, А.Н.Марков, Н.С.Гудок

СОГЛАСОВАН

Министерством нефтяной промышленности

Начальник Технического управления	Ю.Н.Байдиков
Начальник Управления разработки нефтяных и газовых месторождений	В.Е.Лещенко
Начальник Геологического управления	Н.Н.Лисовский
Заместитель директора Всесоюзного научно-исследовательского института организации, управления и экономики нефтегазовой промышленности (ВНИИОЭНГ)	И.А.Десятников

Министерством геологии СССР

Заместитель начальника Технического управления	И.И.Малов

Министерством газовой промышленности

Заместитель начальника Геологического управления	М.П.Овчинников

Государственной Комиссией по запасам полезных ископаемых при Совете Министров СССР (ГКЗ СССР)

Заместитель председателя	Н.Т.Забродоцкий

УДК 665.6:543.06 Группа А29

ОТРАСЛЕВОЙ СТАНДАРТ

НЕФТЬ. МЕТОД ЛАБОРАТОРНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ АБСОЛЮТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ КОЛЛЕКТОРОВ НЕФТИ И ГАЗА И ВМЕЩАЮЩИХ ИХ ПОРОД
ОКСТУ 0209

ОСТ 39-161-83
Введен впервые

Приказом Министерства нефтяной промышленности
от 06.01. 1984 г. № 25 срок введения установлен
с 01.06. 1984 г.

Настоящий стандарт распространяется на коллекторы нефти и газа и вмещающие их породы, пустотность которых обусловлена наличием пор и кавери, и устанавливает метод определения абсолютной проницаемости образцов породы в лабораторных условиях при установившейся фильтрации газа. При этом под абсолютной проницаемостью понимается способность горных пород при наличии градиента давления пропускать через себя невзаимодействующий с породообразующими минералами флюид при полном насыщении им пустотного пространства.

Определение абсолютной проницаемости продуктивных пород обеспечивает получение данных о потенциальной фильтрационной характеристике коллекторов, необходимой для сопоставления пластов в разрезе, выделения эксплуатационных объектов, расчетов при проектировании разработки и доразработки нефтяных и газовых залежей, планировании различных мероприятий по вскрытию и обра-

Издание официальное ГР 83I0582 84.02.03 Перепечатка воспрещена
1-628

ботке призабойной зоны пласта.

Стандарт обязателен для всех производственных и научно-исследовательских организаций отрасли, занимающихся исследованием коллекторских свойств продуктивных пород в лабораторных условиях.

I. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

I.I. Объектом исследования является образец породы правильной геометрической формы, с постоянным сечением в направлении фильтрации, приготовленный из керна изучаемого пласта.

I.2. При исследовании слабосцементированных, легко разрушающихся и кавернозных пород боковую поверхность образцов покрывать твердеющими материалами.

I.3. Определения проницаемости коллекторов нефти и газа и вмещающих их пород, обусловленной трещиноватостью, в пластовых условиях, при многофазной фильтрации проводятся по специальной методике при использовании соответствующей аппаратуры и не регламентируется настоящим стандартом.

I.4. Для горных пород, характеризующихся наличием элементов, соизмеримых с размерами стандартных образцов и отличающихся по литологической характеристике от основной массы породы (галечники и др.), ярковыраженными текстурными особенностями (плитчатость, переслаивание) и наличием крупных пустот (каверны, трещины), целесообразно определение проницаемости производить при радиальной фильтрации, используя образцы большого размера с сохраненным диаметром керна и параллельно отрезанными, пришлифованными торцами. При этом точность измерения должна быть обеспечена в пределах I0%.

2. АППАРАТУРА, РЕАКТИВЫ И МАТЕРИАЛЫ

2.1. При определении абсолютной проницаемости может применяться любая аппаратура, обеспечивающая фильтрацию газа строго через образец с заданным расходом или при заданном перепаде давления.

2.2. В качестве флюида, фильтрующегося через образец при измерении абсолютной проницаемости, использовать газообразный азот или воздух, не содержащие пыли и паров воды. Подача газа обеспечивается через редуктор и фильтр от любого источника сжатого газа: баллона А-150 по ГОСТ 949-73, компрессора и других.

2.3. В процессе подготовки образцов для исследования применять реактивы:

толуол чда по ГОСТ 5789-78;

хлороформ по ГОСТ 20015-74;

четыреххлористый углерод чда, хч по ГОСТ 4-75;

спирт этиловый по ГОСТ 18300-72, ГОСТ 17299-78;

хлористый кальций безводный хч по ГОСТ 450-77, ГОСТ 4460-77;

бензол чда, хч по ГОСТ 5955-75, ГОСТ 9572-77,

оборудование:

станок специальный алмазный САСП-1;

круг отрезной алмазный по ГОСТ 10110-78;

аппарат Закса ЭВН-01-00-000 СБ;

аппарат Соколета по ГОСТ 9777-74;

электронагревательные устройства с закрытыми гнёздами;

конфорка к электроплитке типа ЭПШ-1 по ГОСТ 306-76;

шкаф вытяжной по ГОСТ 23308-78;

шкаф сушильный с контактным термометром, обеспечивающим

установку температуры в пределах от +50°С до +II5°С с точностью ± 2°С;

эксикатор типа 3 по ГОСТ 23932-79Е, ГОСТ 25336-82Е,

весы аналитические, рассчитанные на взвешивание навесок до 200 г, обеспечивающие точность взвешивания до 0,00I г.

Допускается использование другого вспомогательного оборудования, технические характеристики которого соответствуют указанным выше.

2.4. Установка для измерения проницаемости должна компоноваться из следующих составных элементов согласно принципиальной схеме обязательного приложения I;

кернодержателя;

манометра дифференциального по ГОСТ I6I40-77 (СТ СЭВ 2566-80);

манометров образцовых по ГОСТ 6521-72, ГОСТ 8625-77Е;

газосчетчика барабанного типа ГСБ-400 кл.I;

газометра по ГОСТ I5582-75Е;

фильтра и хлоркальциевой трубки.

В комплекте предусмотреть:

термометр контактный по ГОСТ 9871-75;

термометр ртутный лабораторный ТН-3 по ГОСТ 400-80Е;

секундомер типа С-I-2а по ГОСТ 5072-79Е;

барометр мембранный метеорологический по ГОСТ 23696-79;

штангенциркуль по ГОСТ I66-80.

Допускается использовать другие средства измерения, если по точности и пределам измерений они не ниже указанных.

2.5. Применяемый кернодержатель, в котором устанавливается образец для исследования, должен обеспечить герметизацию бо-

ковой поверхности образца и иметь отводы для измерения перепада давления между торцевыми поверхностями (входной и выходной), или между двумя произвольными сечениями в образце, расстояние между которыми должно быть не менее одного диаметра образца. Отводы на манометры, дифференциальный манометр и реометр делать непосредственно от входа и выхода кернодержателя. Внутренний диаметр всех элементов коммуникаций не должен быть менее 4 мм.

2.6. Для измерения перепада давления применять образцовые манометры с пределом измерения, обеспечивающим заданную точность (см. раздел 6), или дифференциальные манометры, в том числе ртутные, рассчитанные на давление в системе до 2,5 МПа.

2.7. Коммуникации в установке для определения проницаемости по газу выполнять из трубок любого материала (нержавеющей стали, меди, латуни, резины, пластмасс) внутренним диаметром не менее 4 мм.

3. ПОДГОТОВКА ОБРАЗЦА К ИСПЫТАНИЮ

3.1. Образцы для определения проницаемости высверливаются (вырезаются) преимущественно из серединной части керна с исключением участков, на которых визуально фиксируются трещины. Производят литологическое описание пород и регистрацию образцов в лабораторном журнале.

3.2. Минимальные размеры кусков керна для исследования определяются возможностью получения образца цилиндрической или призматической формы, ориентированного параллельно или перпендикулярно напластованию.

3.3. Предпочтительны образцы цилиндрической формы диаметром и длиной не менее 2,5 см, с допуском не более $\pm$ 0,1 см.

3.4. Маркировку образцов осуществлять черной тушью или быстросохнущей стойкой краской по очищенной поверхности. Условным значком указывать ориентацию образца относительно напластования.

3.5. Образцы, содержащие углеводороды и воду, экстрагировать спирто-бензольной смесью или другим растворителем до полного удаления углеводородов. Конец экстракции контролировать прозрачностью растворителя через 12-16 часов его контактирования с образцом. При высокой минерализации пластовой (связанной) воды образцы пород, не содержащие водорастворимые и набухающие минералы, промыть дистиллированной водой в аппаратах Сокслета. Образцы пород, содержащих водорастворимые минералы или включения твердых углеводородов и органики, подготавливать по специальной программе с учетом специфики состава.

3.6. Проэкстрагированные образцы высушить до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 102-105°С. Образцы пород, содержащих более 20% глинистых и неустойчивых минералов, высушивать при температуре, не превышающей 60°С.

3.7. Высушенные образцы хранить в эксикаторе над прокаленным хлористым кальцием.

3.8. Штангенциркулем измерить диаметр и длину образца в 5 сечениях с точностью до 0,02 см и определить среднеарифметические величины.

3.9. Образцы слабосцементированных, легко разрушающихся и кавернозных пород заделывать в специальные латексные манжеты, покрывать боковые поверхности эпоксидной шпатлевкой, свинцовым глетом с глицерином или другим скрепляющим материалом (фуропластом, клеем БФ и т.п.), устанавливая на торцах высокопористые пластины из спеченого стекла, например, от фильтров Шотта № 1.

4. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЯ

4.I. Образец поместить в кернодержатель, подбирая резиновую манжету таким образом, чтобы зазор между боковой поверхностью образца и стенками манжеты был минимальным, допускающим перемещение образца в манжете.

4.2. Привести манжету в состояние, обеспечивающее герметизацию боковой поверхности образца, для чего подключить систему гидро- или пневмообжима. Давление обжима поддерживать в пределах от I,5 до 2,5 МПа. При испытании образцов слабосцементированных пород давление обжима допускается снижать до 0,5 МПа. Давление, фиксируемое на входном торце образца в процессе фильтрации, должно быть ниже давления обжима не менее, чем на 0,3 МПа.

4.3. Осуществить фильтрацию флюида через образец, контролируя начало установившегося течения по постоянству перепада давления (при заданном расходе) или расхода (при заданном перепаде давления).

4.4. Поток считать установившимся, если изменения расхода (при заданном перепаде давления) или перепада давления (при заданном расходе) по трем последующим измерениям с минутным интервалом не отличаются более, чем на $\pm$ 2%. При установившейся фильтрации измерить значения определяющих параметров: величину перепада давления на выбранной (или полной) длине (при постоянном заданном расходе флюида) и расход фильтрующегося через образец флюида (при постоянном заданном перепаде давления).

4.5. Измерения производить при 3–4 разных значениях перепада давления (заданного расхода). Показания манометров и расходомера, температуру и барометрическое давление в момент проведения

испытания и рассчитанные значения коэффициента проницаемости записать в таблицу обязательного приложения 2.

4.6. Соответствие фильтрации линейному закону контролировать построением графика зависимости расхода газа (при среднем давлении в образце) от перепада давления $\bar{Q} = f(\Delta P)$.

5. ФОРМА ЗАПИСИ И ВЫЧИСЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЯ

5.1. Коэффициент проницаемости при установившейся фильтрации газа рассчитывается по формуле:

$$K_T = \frac{\bar{Q}\,\mu\,l}{\mp\,(P_1 - P_2)} \qquad (5.1)$$

где K_T – коэффициент проницаемости при установившейся фильтрации газа и данном среднем давлении, $м^2$;

$\bar{Q}$ – объемный расход газа, приведенный к среднему давлению в образце $P_{ср}$ при данном барометрическом давлении ($P_б$), $м^3/с$;

$$\bar{Q} = \frac{2\,Q \cdot P_б}{P_1 + P_2} = \frac{Q \cdot P_б}{P_{ср}}, \qquad (5.2)$$

где Q – объемный расход газа, измеренный на выходе из образца (при атмосферных условиях), $м^3/с$;

P_1 и P_2 – абсолютные давления на входном и выходном сечениях образца, Па;

$$P_{ср} = \frac{P_1 + P_2}{2}$$

$P_{ср}$ – среднеарифметическое давление, Па ;

$P_б$ – барометрическое давление, Па ;

μ – вязкость газа при условиях фильтрации газа через образец;

ℓ – длина участка, на котором измеряется перепад давления (ΔP), или длина образца, м ;

F – площадь поперечного сечения образца, $м^2$.

5.2. В случае измерения перепада давления между двумя сечениями образца в серединной части расход газа приводится к середине участка между этими сечениями. Соответственно для этой точки определяется и вязкость газа.

5.3. За единицу измерения коэффициента проницаемости в системе СИ принимается $мкм^2$, т.е. проницаемость элемента породы площадью I $см^2$ и длиной I см, через который при перепаде давления $I0^5$ Па фильтруется I $см^3/с$ жидкости, не реагирующей с породой, вязкостью $I0^{-3}$ Па · с.

$$[K] = \frac{[Q]\ [\mu]\ [\ell]}{[F]\ [\Delta P]} = \frac{I0^{-6} м^3/с.\ I0^{-3}\ Па \cdot с \cdot I0^{-2} м}{I0^{-4}\ м^2 \cdot I0^5\ Па} = I0^{-I2} м^2 = мкм^2$$

5.4. Величину абсолютной проницаемости определить по графику $K_т = f(I/P_{ср})$, экстраполяцией прямой, проведенной по 3–4 точкам, соответствующим различным перепадам давления (а, следовательно, и $P_{ср}$) до значения $I/P_{ср} = 0$. Величину проницаемости, соответствующую $I/P_{ср} = 0$, называть абсолютной проницаемостью исследуемого образца породы.

5.5. В тех случаях, когда проницаемость по газу измеряется при каком-то одном значении среднего давления в образце, особен-

но, когда это давление незначительно превышает атмосферное (на 0,05 - 0,10 МПа), величину абсолютной проницаемости определять путем введения поправки на проскальзывание газа к средней измеренной проницаемости. Для введения этой поправки (так называемой поправки Клинкенберга) строятся графики для определенных типов пород, особенно с различными структурными характеристиками. При наличии графиков измеренное значение проницаемости $K_г$ корректируется, пользуясь уравнением, предложенным Клинкенбергом:

$$K_{абс} = \frac{K_г}{1 + \beta / P_{ср}} \qquad (5.3)$$

где $K_{абс}$ – абсолютная проницаемость, мкм^2;

β – коэффициент Клинкенберга, зависящий от типа породы и абсолютной проницаемости, МПа.

При отсутствии специально построенных графиков допускается использовать график, приведенный в обязательном приложении 3. При этом абсолютную проницаемость вычислять по формуле:

$$K_{абс} = m' K_г \qquad (5.4)$$

где m' – безразмерный коэффициент, который находят из графика обязательного приложения 3 по измеренным значениям $K_г$, выраженным в 10^{-3} мкм^2, и средним давлением $P_{ср}$, выраженным в 10^5 Па.

5.6. Определение проницаемости по газу при одном значении среднего давления без корректировки допускается при условии, что поправка на проскальзывание газа (поправка Клинкенберга) не превышает 10% от измеренной величины. Минимальное значение проницаемости по газу в мкм^2, соответствующее этому условию, определя-

ется по следующей формуле:

$$K_T = \left(\frac{6{,}62}{P_{ср}}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{6{,}62}{P_{ср}}} \qquad (5{,}5)$$

где K_T - коэффициент проницаемости при установившейся фильтрации, 10^{-3}мкм^2 ;

$P_{ср}$- среднее давление, 10^5 Па,

или по графику обязательного приложения 4. В точке пересечения кривой I или 2 с перпендикуляром к оси абсцисс, соответствующим среднему давлению, при котором определена проницаемость образца, взять отсчет значения проницаемости. Если измеренная проницаемость меньше, чем считанная с графика, поправку Клинкенберга ввести согласно п.5.5.

6.ТРЕБОВАНИЯ К ТОЧНОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

При определении абсолютной проницаемости принимается допустимой относительная погрешность ± I0%. Это условие регламентирует требования к точности измерения всех величин, входящих в расчетную формулу (5.I). Относительная погрешность $\Delta K_T/K_T$ складывается из относительных погрешностей указанных величин.

$$\frac{K_T}{K_T} = \frac{\Delta \bar{Q}}{\bar{Q}} + \frac{\Delta \mu}{\mu} + \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta T}{T} + \frac{\Delta P_I + \Delta P_2}{P_I - P_2} , \qquad (6.I)$$

причем

$$\frac{\Delta \bar{Q}}{\bar{Q}} = \frac{\Delta Q}{Q} + \frac{|(I - P_б)| \cdot (P_I + P_2)}{2P_б + P_I + P_2} \cdot \frac{\Delta P_б}{P_б} + \frac{\Delta P_I}{2P_б + P_I + P_2} + \frac{\Delta P_2}{2P_б + P_I + P_2} \qquad (6.2)$$

Определяющей является точность, достигаемая при измерении геометрических размеров образца, составляющая ± 0,02 см.

Относительная погрешность за счет изменения вязкости газа при колебаниях температуры в процессе измерений также составляет ± 0,02.

Соответственно, при измерении давления необходимо пользоваться манометрами, в том числе и дифференциальными, обеспечивающими достижение точности того же порядка. Это означает, что при использовании образцовых манометров, имеющих класс точности 0,4, величины измеряемых давлений должны составлять не менее 0,3 всей шкалы манометра. При использовании - образных манометров перепад давления должен быть больше 2,5 см.

Условие минимизации относительной погрешности до ± 2% при определении расхода газа достигается при измерении расхода газа с погрешностью

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \pm 0{,}02$$

Для этого при использовании газосчетчиков, имеющих точность отсчета ± 20 $см^3$, необходимо накапливать расход до I000 $см^3$, а время отсчитывать с точностью до десятых долей секунды. Другие устройства для замера расхода газа (ресметры, ротаметры, газометры и др.) должны использоваться при таких же условиях.

7. РАСЧЕТ СРЕДНЕЙ КВАДРАТИЧНОЙ И ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АБСОЛЮТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ

7.I. В случае, когда величины газопроницаемости образца определялись при разных значениях среднего давления, а абсолютная

проницаемость находилась путем экстраполяции графика $K_T = f(I/P_{ср})$ в точку $I/P_{ср} = 0$ (см. п.5.4.), при имеющих место в момент измерения значениях $I/P_{ср}$; найти на этом графике исправленные значения $K_{т\ исп}$ и вычислить при той же величине $I/P_{ср}$ разности между взятыми из графика исправленными и измеренными значениями проницаемости

$$\delta K_i = K_{т\ исп} - K_{Ti}$$

Среднеквадратичную погрешность оценки абсолютной проницаемости рассчитать по формуле:

$$S_к = \sqrt{\frac{\sum_i^n (\delta к)^2}{n-2}} \qquad (7.I)$$

где $S_к$ – средняя квадратичная погрешность оценки абсолютной проницаемости;

$(n-2)$ – число определений без 2, так как по наблюдаемым данным оценивается предсказываемая величина $K_{абс}$, которая определяется при фиксированном значении переменной $I/P_{ср} = 0$.

Среднеквадратичную погрешность определения абсолютной проницаемости оценивать по формуле:

$$\frac{\Delta K_{абс}}{K_{абс}} = \frac{S_к}{K_{абс}} \qquad (7.2)$$

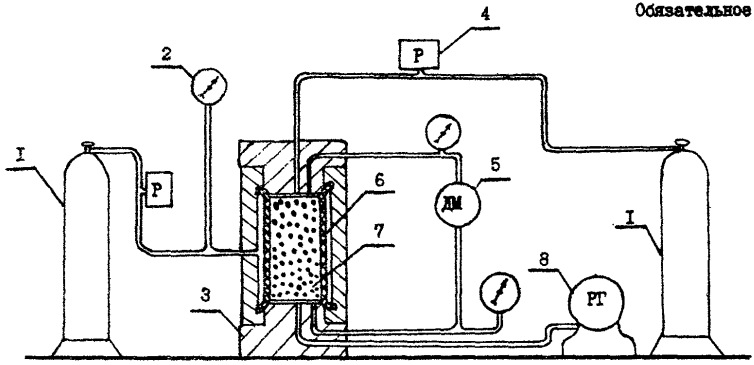
7.2. В случае, когда измерения проводились при одном фиксированном значении среднего давления, рассчитать среднее значение проницаемости образца по формуле:

$$K_{т\ ср} = \frac{\sum_i^n K_{Ti}}{n} \qquad (7.3)$$

Путем введения поправки Клинкенберга (п.5.5.) найти значение абсолютной проницаемости и вычислить разности между средним и каждым измеренным значением проницаемости $\delta K_i = K_{T\,ср} - K_{Ti}$.

Среднеквадратичную погрешность определения абсолютной проницаемости оценивать по формуле (7.I), а среднеквадратичную относительную погрешность по формуле (7.2).

7.3. В том случае, если относительная погрешность определения проницаемости превышает допустимую (т.е. больше I0%), провести повторные измерения проницаемости образца.



Принципиальная схема установки для измерения абсолютной проницаемости коллекторов нефти и газа и вмещающих их пород.

I - баллон со сжатым газом; 2 - образцовый манометр;
3 - кернодержатель; 4 - редуктор; 5 - дифференциальный манометр;
6 - резиновая манжета; 7 - образец породы; 8 - расходомер.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Обязательное

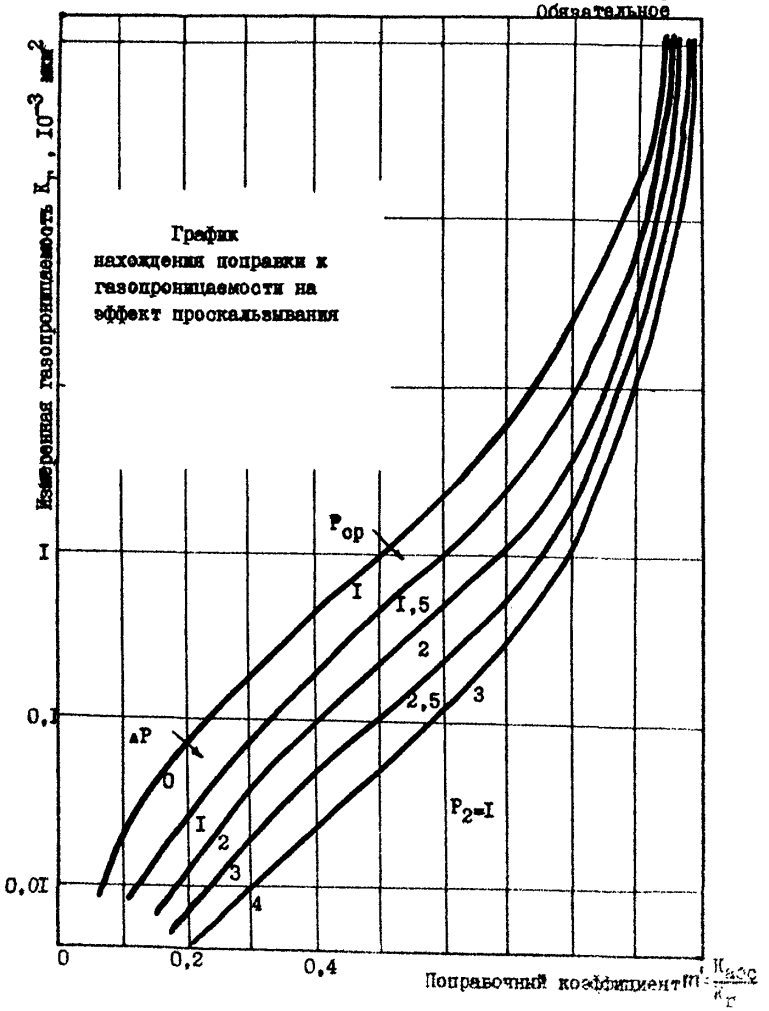
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТИ ПОРОД - КОЛЛЕКТОРОВ ПРИ УСТАНОВИВШЕЙСЯ ФИЛЬТРАЦИИ ГАЗА

Месторождение _____ скважина № _____

Таблица

Лабораторный номер образца	Горизонт	Глубина отбора керна, м	Размеры образца			Условия измерения			Измеряемые величины						Вычисляемые величины			Абсолютная проницаемость
			Длина ℓ, 10^{-2} м	Диаметр d, 10^{-2} м	Площадь сечения F, 10^{-4} м^2	Барометрическое давление $P_б$, 10^5 Па	Температура t, °С	Вязкость μ, 10^{-3} Па·с	Давление на входе P_1	Давление на выходе P_2	Перепад давления на измеряемом участке ΔP	Объем фильтрующегося газа V, см^3	Время фильтрации газа t, с	Перепад давления на реометре ΔP, 10^5 Па	Измеренный расход газа Q, см^3/с	Среднее давление на измеряемом участке $P_{ср}$, 10^5 Па	Расход газа, приведенный к среднему давлению $\bar{Q}$, см^3/с	Вычисленное значение проницаемости по газу $K_т$, мкм^2	$K_{абс}$, мкм^2
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	20

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
Обязательное



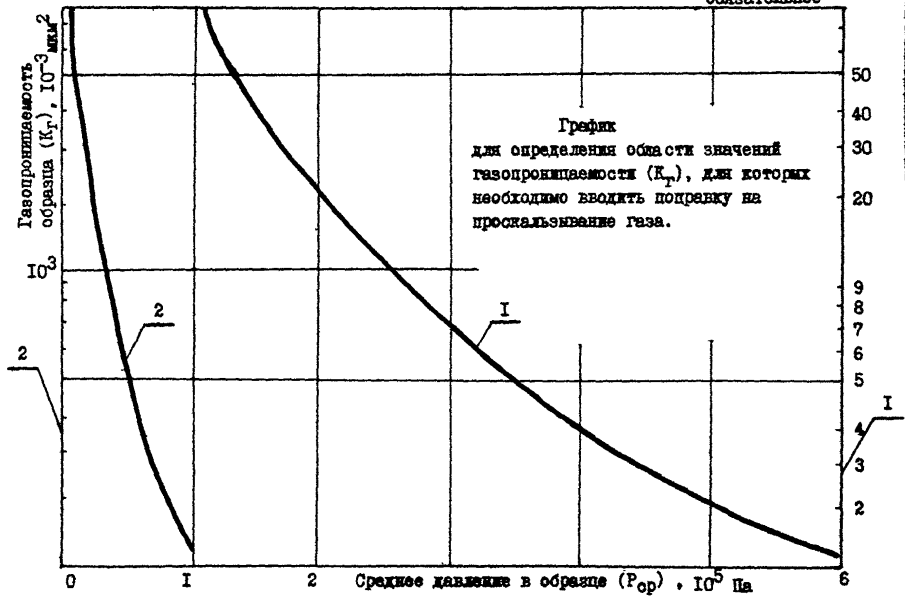


График
для определения области значений газопроницаемости ($K_г$), для которых необходимо вводить поправку на проскальзывание газа.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

Изм.	Номера листов (страниц)				Номер документа	Подпись	Дата	Срок введения изменения
	измененных	замененных	новых	аннулированных				