

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2022.3.179-187>

EDN SWYKYR

УДК 622.276.346.2

Экспресс-методика расчёта расхода затрубного нефтяного газа

Калинников В.Н.

ПАО «Татнефть» имени В.Д. Шашина, Альметьевск, Россия

Express method for calculating the flow rate of annular gas

V.N. Kalinnikov

PJSC TATNEFT, Almeteyevsk, Russia

E-mail: kalinnikov@tatneft.ru

Аннотация. Данная статья посвящена методике расчёта замера расхода затрубного нефтяного газа, учитывающей зависимость расхода от давления в затрубном пространстве. В статье описываются допущения, принятые в методике, а также их влияние на общую погрешность расчёта. Получено подтверждение достоверности методики с использованием прямого замера расхода газовым счётчиком.

Ключевые слова: расчёт объемного расхода затрубного газа; снижение давления затрубного газа; затрубное давление; расход попутного нефтяного газа из затрубных пространств добывающих скважин

Для цитирования: Калинников В.Н. Экспресс-методика расчёта расхода затрубного нефтяного газа//Нефтяная провинция.-2022.-№3(31).-С.179-187. - DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2022.3.179-187>. EDN SWYKYR

Abstract. This article is devoted to the method of calculating the annular gas flow rate, taking into account the dependence of the flow rate on the pressure in the annulus. The article describes the assumptions made in the methodology, as well as their impact on the overall calculation error. A confirmation of the reliability of the method was obtained using direct measurement of the flow rate by a gas meter.

Key words: calculation of annular gas flow rate; reduction of annular gas pressure; annular pressure; consumption of associated petroleum gas from the annular fields of production wells

For citation: V.N. Kalinnikov Jekspress-metodika raschjota rashoda zatrubnogo neftjanogo gaza [Express method for calculating the flow rate of annular gas]. Neftyanaya Provintsiya, No. 3(31), 2022. pp. 179-187. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2022.3.179-187>. EDN SWYKYR (in Russian)

Введение

Принятие инженерных решений практически всегда основывается на результатах замера ключевых для поставленной задачи параметров. Однако в нефтепромысловом деле выполнение прямых замеров зачастую связано с высокими временными и материальными затратами, потому на помощь приходят непрямые методы. Так, для определения забойного давления с целью оценки депрессии на пласт многие годы применяются эхолоты, позволяющие определять динамический уровень в межтрубном пространстве скважины на основе замера времени отклика звуковой волны [1]. Или, например, для оценки нагрузок на колонну штанг используются накладные динамографы, способные уловить малейшее изменение диаметра сальникового устьевого штока в процессе записи динамограммы, и на основе знания упругих свойств стали, из которой выполнен шток, рассчитать нагрузки, воспринимаемые колонной штанг в каждый момент времени [2]. Несмотря на известные допущения при использовании такого рода замеров они прочно прижились в производственной практике и широко используются для получения информации.

При решении инженерных задач, связанных с необходимостью снижения давления затрубного нефтяного газа, может возникнуть потребность в определении его суточного расхода. Это может потребоваться, например, при расчёте производительности компрессора или эжектора. Прямой метод определения расхода подразумевает установку на устье скважины конструкции со счётчиком расхода газа. Однако для снижения погрешности замер необходимо проводить на протяжении нескольких часов, что увеличивает риски, связанные с длительным выбросом газа в атмосферу, в том числе для жизни и здоровья полевого персонала.

Так, с целью расчёта производительности насосно-эжекторной системы при реализации проекта по водогазовому воздействию на опытном участке была поставлена задача по определению расхода газа в стандарт-

ных условиях на кусте добывающих скважин, из затрубных пространств которых планируется производить отбор газа. В статье приводится расчёт на примере одной скважины указанного куста.

Дроздовым А.Н. и другими авторами [3] предложена методика расчёта расхода затрубного газа, однако она не предполагает расчёт расхода газа для различных значений затрубного давления, что особенно важно для объектов, для которых давление насыщения нефти достаточно низкое и составляет первые десятки атмосфер, как следствие, рост давления в затрубном пространстве будет оказывать более значительное влияние на скорость сепарации газа.

Методика проведения исследования

Предлагаемая в настоящей статье методика расчёта расхода затрубного газа основывается на уравнении Менделеева-Клапейрона:

$$pV = Z_r(p, T) \frac{m}{M} RT, \quad (1)$$

где где p - давление, V - объём, T - температура, $Z_r(p, T)$ — коэффициент сжимаемости газа, m — масса, M — молярная масса, R — универсальная газовая постоянная.

Однако в связи со сложностью расчёта коэффициента сверхсжимаемости многокомпонентного газа по причине зависимости коэффициента от состава газа, который может различаться от скважины к скважине, а также по причине незначительного влияния Z_r на результаты расчёта (коэффициент сверхсжимаемости для нефтяного газа, состоящего в основном из сухого углеводородного газа и азота, в большинстве промысловых случаев находится в диапазоне от 0,95 до 1,0), принято решение использовать для расчёта уравнение состояния идеального газа. Принятое допущение оценочно несёт погрешность до 5%. Тогда после преобразований с учётом других законов состояния идеального газа уравнение может быть записано в следующем виде:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}, \quad (2)$$

Где p_1 , V_1 , T_1 – давление, объем и температура газа в затрубном пространстве, p_2 , V_2 , T_2 – давление, объем и температура газа в стандартных условиях. Еще одним допущением предлагаемой методики с оценочной погрешностью до 2% является то, что за температуру газа принимается температура продуктивного пласта рассматриваемой скважины согласно проекту разработки. Для рассматриваемой скважины температура составляет 40 С° или 311,15 К°. Для стандартных условий температура составляет 291,15 К°, давление – 1 атм. Тогда справедливо уравнение:

$$p_2 = 0.94 \cdot p_1 V_1, \quad (3)$$

Также допущением является то, что давление по всей длине кольцевого пространства, заполненного газом, принято равным значению давления, замеренного на устье, оценочно это несёт погрешность замера до 3%. Общая оценочная погрешность предлагаемой методики составляет до 10% без учёта погрешности замера эхолотом.

С целью расчёта расхода газа предлагается следующая методика, позволяющая оценить расход в зависимости от давления газа в затрубном пространстве:

1. Произвести на скважине стравливание газа из межтрубного пространства до прекращения его выхода (допускается остаточное шипение).
2. Закрыть скважинный устьевой вентиль, соединяющий межтрубное пространство с выкидным нефтепроводом с целью обеспечения герметичности затрубного пространства.
3. Установить на скважину автоматический эхолот для отбивки уровня и значения затрубного давления с заданной периодичностью (например, 1 раз в 15 минут).
4. По результату проведения замеров перенести данные в табличную форму.

5. Произвести расчёт объема межтрубного пространства, занятого газом, для каждого замера уровня по формуле:

$$V_{\text{MT}} = \frac{\pi h}{4} (d_{\text{ЭК.ВН.}}^2 - d_{\text{НКТ.Н.}}^2), \text{ м}^3, \quad (4)$$

где $d_{\text{ЭК.ВН.}}$ – внутренний диаметр эксплуатационной колонны;
 $d_{\text{НКТ.Н.}}$ – наружный диаметр НКТ.

6. С учётом (3) объем газа в межтрубном пространстве для каждого замера уровня оценочно составит:

$$V_{\text{ПНГ}} = 0,94 \cdot V_{\text{MT}} \cdot (P_{\text{затр}} + 1), \text{ м}^3, \quad (5)$$

где 1 атм прибавляется по причине нормирования нулевого значения давления эхолота на атмосферное давление.

7. Суточный расход газа при фиксированном значении затрубного давления можно оценить по формуле:

$$Q_{\text{ПНГ}_x} = \frac{V_{\text{ПНГ}_x} - V_{\text{ПНГ}_{x-1}}}{T_x - T_{x-1}} \cdot 1440, \text{ м}^3/\text{сут} \quad (6)$$

где $Q_{\text{ПНГ}_x}$ – суточный расход газа при значении затрубного давления x атм.

$V_{\text{ПНГ}_x}$ – расчётный объем затрубного газа при значении $P_{\text{затр}} x$ атм), м^3 ;

$V_{\text{ПНГ}_{x-1}}$ – расчётный объем затрубного газа при значении $P_{\text{затр}} x-1$ атм (найти приближенное значение из таблицы), м^3 ;

T_x – время проведения исследования для значения затрубного давления x атм, мин;

T_{x-1} – время проведения исследования для значения затрубного давления $x-1$ атм, мин.

Результаты исследования и подтверждение достоверности

В табл. 1 представлены результаты расчёта расхода затрубного газа со скважины, выполненные по предложенной экспресс-методике. На рис. 1 представлен график изменения объема газа в затрубном пространстве, на рис. 2 – график изменения суточного расхода. Из результатов расчёта

видно, что после стравливания затрубного давления уровень жидкости значительно вырос за счёт восстановления забойного давления до режимного значения при неизменном отборе жидкости. Кроме того, из рис. 1 видно, что с ростом давления наблюдается снижение расхода газа в следствие приближения значения затрубного давления к значению давления насыщения нефти для эксплуатируемого объекта. Неравномерность изменения расхода газа при росте затрубного давления связана с погрешностью расчёта уровня с применением эхолота.

Таблица 1

Результаты расчёта расхода затрубного нефтяного газа

Время исследования, мин	Уровень столба жидкости, м	Р затр, атм	Объем газа в затрубном пространстве при атмосферном давлении, м ³	Расход газа, м ³ /сут
0	927	1,3	10,9	341,0
60	831	2,2	15,9	265,0
120	824	2,7	19,4	196,0
180	826	3,4	24,6	151,0
240	830	4,2	30,7	146,7
300	837	5,0	36,8	145,1
360	841	5,8	42,8	143,6
420	843	6,5	48,7	142,7
480	850	7,3	54,5	138,0
540	865	7,9	60,3	140,2
600	870	8,6	66,2	140,4
660	874	9,3	72,0	139,0
720	884	9,9	77,7	138,4
780	888	10,5	83,1	128,7
840	899	11,1	88,6	132,9
900	901	11,7	93,9	127,8
960	906	12,3	99,6	134,6
1020	911	13,0	105,3	138,1
1080	915	13,6	110,9	135,0
1140	919	14,2	116,0	122,2
1200	922	14,7	121,1	120,7
1260	927	15,2	125,7	112,6
1320	929	15,7	130,7	119,7
1380	931	16,3	135,6	117,5
1440	934	16,8	140,3	112,3

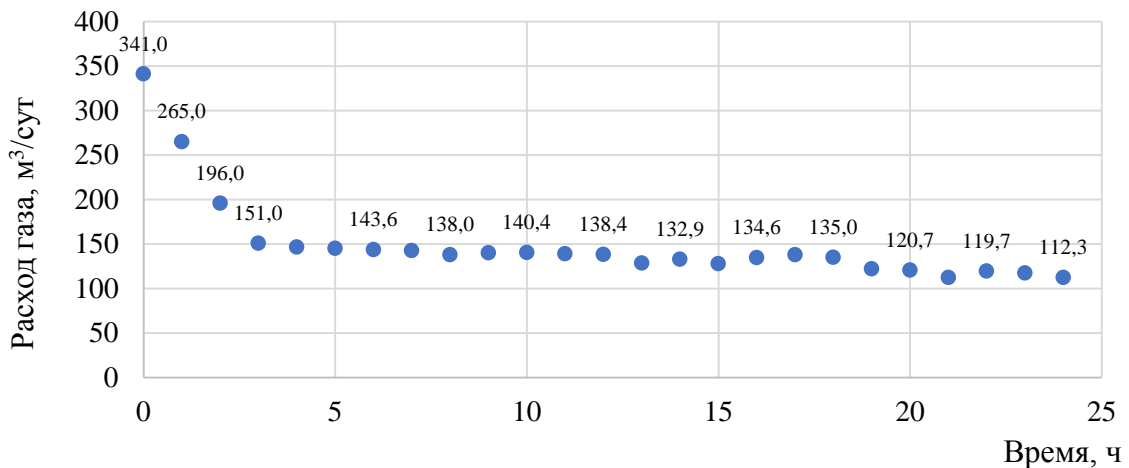


Рис. 1. График изменения расхода газа от времени

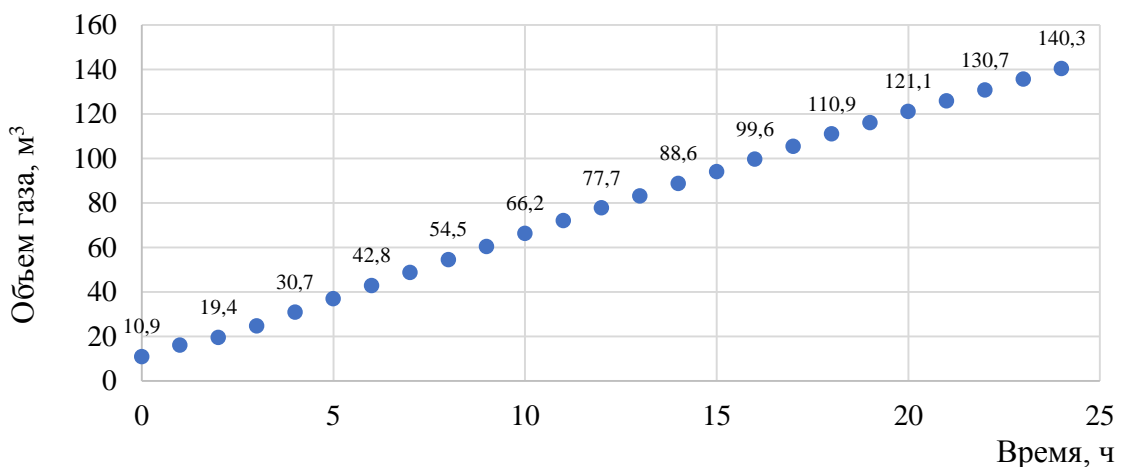


Рис. 2. График изменения объема газа в межтрубном пространстве от времени

С целью подтверждения достоверности предложенного экспресс-метода был выполнен замер объема газа в кольцевом пространстве с помощью стравливания избыточного газа через счётчик, установленный после затрубной задвижки. По окончании стравливания давления до остаточного «шипения» при температуре окружающей среды 23 С° расход газа составил 115,4 м³. Также необходимо учесть, что объем кольцевого пространства выше уровня жидкости в стволе всё еще заполнен газом. С учётом последнего «отбитого» уровня объем нефтяного газа при атмосферном давлении составляет 10 м³. Таким образом, с учётом объема кольцевого пространства общий замеренный объем газа составил 125,4 м³. Погрешность предложенного расчёта составила 10,6%, что является приемлемой точностью для решения большинства инженерных задач.

Выводы

1. Рассмотрены проблемы существующих подходов к определению расхода затрубного газа.
2. Предложена новая методика, точнее учитывающая состояние газа в кольцевом пространстве.
3. Предложенная методика максимально упрощена для практического применения, оценены погрешности от принятых допущений.
4. Расчёты по методике проведены прямым замером в промышленном эксперименте.

Заключение

Предложенная в статье методика, несмотря на ряд принятых допущений, с достаточной точностью позволяет произвести расчёт расхода нефтяного газа из затрубных пространств добывающих скважин и её применение обосновано при решении промышленных задач.

Список литературы

1. Муравьев, И.М. Технология и техника добычи нефти и газа [Текст]: учебное пособие / Муравьев И.М., Базлов М.Н., Жуков А.И., Чернов Б.С. - М.: Недра, 1971. - 496 с.
2. Дарюшина, А.А. Использование датчиков динамометрирования фирмы «МАГМАТЕК» для увеличения оперативности и оптимизации затрат на скважинах в условиях НГДУ «Ленинаторскнефть» / А.А. Дарюшина // Яковлевские чтения: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – М.: ООО «Конверт», 2021. – С. 14-17.
3. Дроздов, А.Н. Информационная система «Шахматка и Техрежим» для повышения эффективности процессов нефтедобычи [Текст] / А.Н. Дроздов, Р.Д. Хамидуллин, А.Д. Шестаков и др. // Территория «Нефтегаз», 2015. - № 10. – С. 34-41.

References

1. Muravyev I.M., Bazlov M.N., Zhukov A.I., Chernov B.S. *Tekhnologiya i tekhnika dobychi nefti i gaza* [Oil and gas production technologies]. Moscow: Nedra Publ. 1971. 496 p. (in Russian)
2. Daryushina A.A. *Ispolzovanie datchikov dinamometrirovaniya firmy «MAGMATEK» dlya uvelicheniya operativnosti i optimizacii zatrat na skvazhinah v usloviyah NGDU Leninogorskneft* [Application of dynamometry gages by Magmatek Company to increase operational efficiency and optimize well costs at Leninogorskneft assets]. Proceedings of

- National Research-to-Practice Conference. Moscow: ООО Konvert. 2021. pp. 14-17 (in Russian)
3. Drozdov A.N., Khamidullin R.D., Shestakov A.D. Information system “Shakhmatka and Tekhrezhim” for improving the efficiency of oil production. *Territoriya Neftegaz*. 2015, No.10. pp. 34-41 (in Russian)

Сведения об авторах

Калинников Владимир Николаевич, главный специалист по планированию разработки месторождений, департамент разработки месторождений, СП «Татнефть – Добыча», ПАО «Татнефть» имени В.Д. Шашина
Россия, 423450, Альметьевск, ул. Ленина, 75
E-mail: kalinnikov@tatneft.ru

Authors

V.N. Kalinnikov, senior field development planning specialist, field development department, Tatneft-Dobycha, PJSC TATNEFT
75, Lenin st., Almetyevsk, 423450, Russian Federation
E-mail: kalinnikov@tatneft.ru

Статья поступила в редакцию 01.09.2022
Принята к публикации 17.09.2022
Опубликована 30.09.2022