

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2799672

### СПОСОБ МОНИТОРИНГА ОБВОДНЕНИЯ ГАЗОВЫХ СКВАЖИН

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет" (RU)*

Авторы: *Муктасипов Дамир Рустемович (RU), Сафиуллина Елена Улубековна (RU)*

Заявка № 2023107744

Приоритет изобретения **30 марта 2023 г.**

Дата государственной регистрации  
в Государственном реестре изобретений  
Российской Федерации **10 июля 2023 г.**

Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает **30 марта 2043 г.**

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

*Ю.С. Зубов*







ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*E21B 47/10* (2023.05); *E21B 47/06* (2023.05)

(21)(22) Заявка: 2023107744, 30.03.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 30.03.2023

Дата регистрации:  
 10.07.2023

Приоритет(ы):  
 (22) Дата подачи заявки: 30.03.2023

(45) Опубликовано: 10.07.2023 Бюл. № 19

Адрес для переписки:  
 190106, Санкт-Петербург, 21 линия, В.О., 2,  
 ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский горный  
 университет", Патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):  
 Муктасипов Дамир Рустемович (RU),  
 Сафиуллина Елена Улубековна (RU)

(73) Патентообладатель(и):  
 Федеральное государственное бюджетное  
 образовательное учреждение высшего  
 образования "Санкт-Петербургский горный  
 университет" (RU)

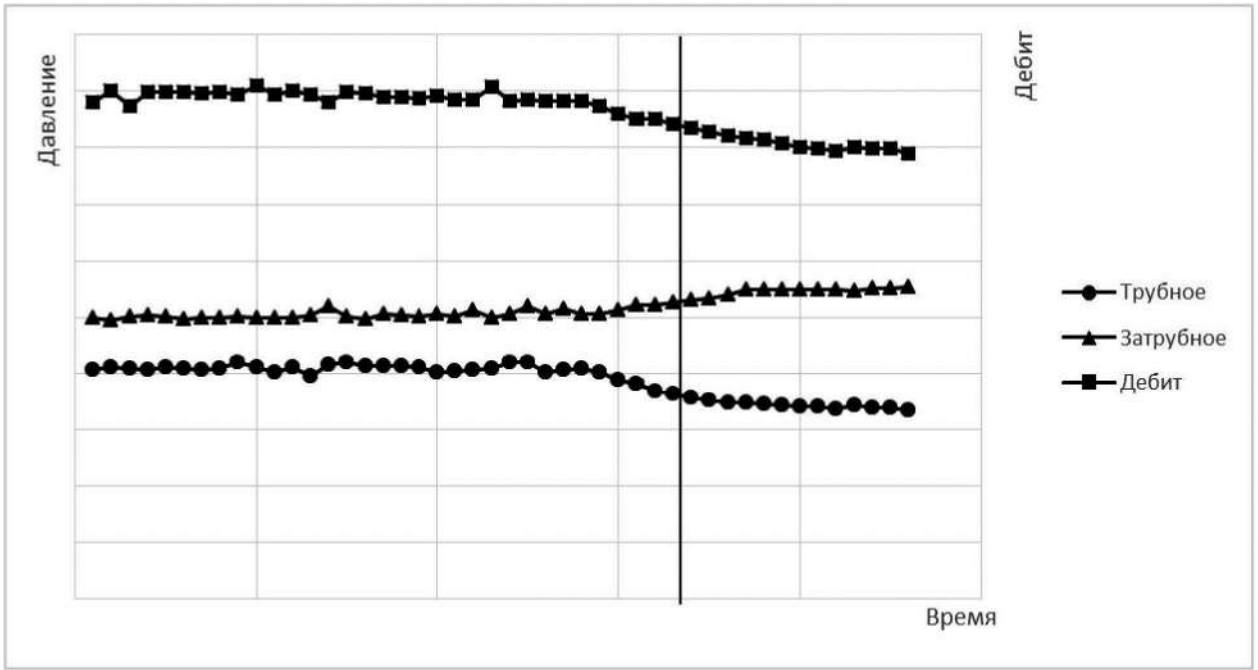
(56) Список документов, цитированных в отчете  
 о поиске: RU 2447281 C2, 10.04.2012. RU  
 2604101 C1, 10.12.2016. RU 2202692 C2,  
 20.04.2003. RU 2589016 C1, 10.07.2016. ЕА 31871  
 В1, 29.03.2019. CN 113685165 А, 19.05.2020.

(54) СПОСОБ МОНИТОРИНГА ОБВОДНЕНИЯ ГАЗОВЫХ СКВАЖИН

(57) Реферат:

Изобретение относится к газодобывающей промышленности, в частности к способам диагностирования начала обводнения газовых скважин и предотвращения их самозадавливания, и может быть использовано при разработке и эксплуатации газовых месторождений. Техническим результатом является своевременное диагностирование начала обводнения газовых скважин. Согласно способу производят выбор произвольной беспакерной скважины, на которой осуществляют измерения устьевого трубного давления, устьевого затрубного давления и дебита с определенной периодичностью. Затем по

полученным данным строят график зависимости от времени и выбирают на нем области с одновременным падением устьевого трубного давления и дебита с ростом затрубного устьевого давления. После этого вычисляют коэффициенты множественной корреляции и множественной детерминации, если значение множественного коэффициента корреляции превышает критическое значение, равное  $\geq 0,9$ , то констатируют начало процесса обводнения газовой скважины, если полученные значения меньше критических, то обводнение газовой скважины не происходит. 2 ил., 1 табл.



Фиг. 2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

*E21B 47/10 (2023.05); E21B 47/06 (2023.05)*(21)(22) Application: **2023107744, 30.03.2023**(24) Effective date for property rights:  
**30.03.2023**Registration date:  
**10.07.2023**

Priority:

(22) Date of filing: **30.03.2023**(45) Date of publication: **10.07.2023** Bull. № 19

Mail address:

**190106, Sankt-Peterburg, 21 liniya, V.O., 2, FGBOU  
VO "Sankt-Peterburgskij gornyj universitet",  
Patentno-litsenziionnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Muktasipov Damir Rustemovich (RU),  
Safiullina Elena Ulubekovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniia «Sankt-Peterburgskii gornyi  
universitet» (RU)****(54) METHOD FOR MONITORING GAS WELL WATERING**

(57) Abstract:

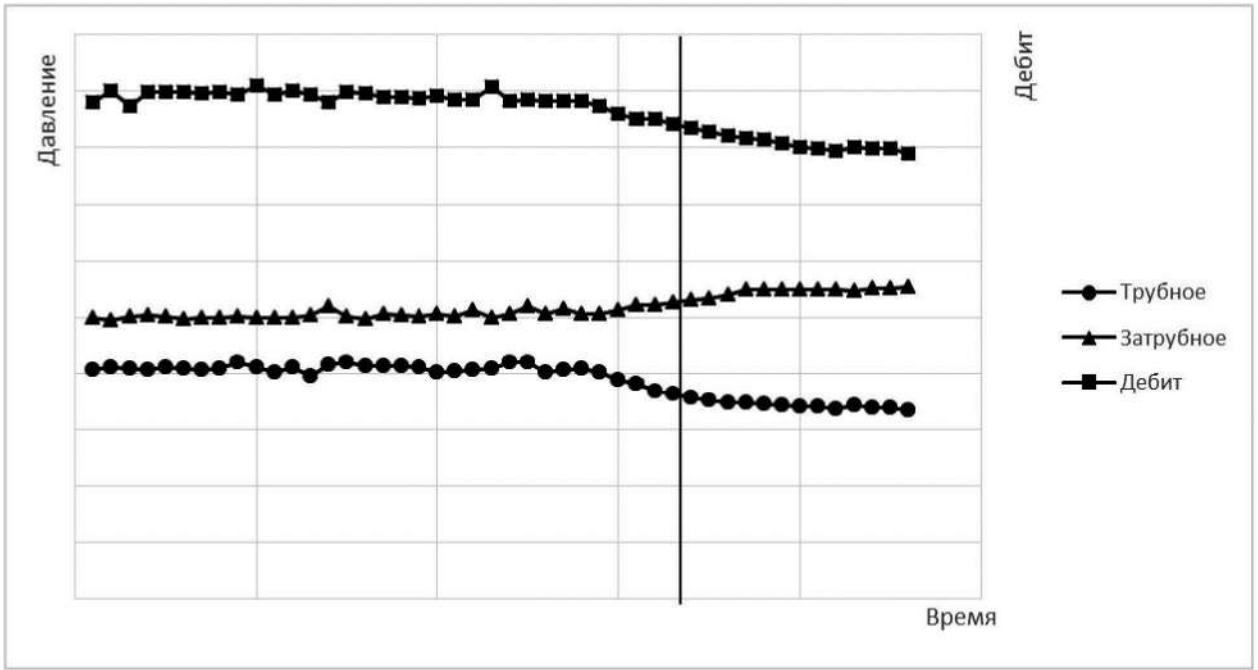
FIELD: gas industry.

SUBSTANCE: invention relates to methods for diagnosing the beginning of flooding of gas wells and preventing their self-damping, and can be used in the development and operation of gas fields. According to the method, an arbitrary packerless well is selected, on which wellhead tubing pressure, wellhead annular pressure and flow rate are measured with a certain frequency. Then, according to the data obtained, a time dependence graph is built and areas are selected on it with a simultaneous drop in wellhead pipe pressure and

flow rate with an increase in annulus wellhead pressure. After that, the coefficients of multiple correlation and multiple determination are calculated if the value of the multiple correlation coefficient exceeds the critical value equal to  $\geq 0.9$ , then the beginning of the process of watering the gas well is acknowledged, if the obtained values are less than critical, then the watering of the gas well does not occur.

EFFECT: timely diagnosis of the beginning of watering of gas wells.

1 cl, 2 dwg, 1 tbl



Фиг. 2

Изобретение относится к газодобывающей промышленности, в частности к способам диагностирования начала обводнения газовых скважин и предотвращения их самозадавливания, и может быть использовано при разработке и эксплуатации газовых месторождений.

5 Известен способ контроля процесса обводнения газовых и газоконденсатных скважин (авторское свидетельство СССР № 1830413, опубл. 30.07.1993), в соответствии с которым осуществляется бурение разведочных скважин для отбора проб пластового флюида по всей протяженности продуктивного пласта. Затем определяется положение текущего газовой контакта, концентрация микроэлементов в отобранных пробах газа, а  
10 после строится зависимость этих концентраций от расстояний между зоной вскрытия пласта и ГВК. После этого происходит периодический отбор проб газа из эксплуатационных скважин и по изменению концентраций микроэлементов в них судят по изменению положения ГВК и, соответственно, обводнении скважин.

Недостатком данного способа является неучтенная возможность попадания в ствол  
15 скважины жидкости до поднятия уровня ГВК до интервала перфорации, например, в виде конденсата водяных паров в стволе скважины, извлекаемых вместе с газом, или фильтрация пластовой жидкости по наиболее дренируемым пропласткам с образованием конуса воды.

Известен способ контроля обводнения газовых и газоконденсатных скважин  
20 (Гриценко А.И. Руководство по исследованию скважин. - М.: Наука, 1995, с.499), реализуемый путем проведения газодинамических исследований скважин методом установившихся отборов с применением малогабаритного устройства, состоящего из сепаратора, расходомера и емкости для сбора отсепарированных примесей.

Недостатком данного способа является необходимость проведения химических  
25 анализов для определения природы отсепарированной жидкости. Кроме того, значения коэффициентов фильтрационного сопротивления  $a$  и  $b$ , которые получают в результате обработки газодинамических исследований скважин методом установившихся отборов без анализа динамики этих коэффициентов во времени, не являются информативными с точки зрения поступления в залежь пластовых и подошвенных вод.

30 Известен способ контроля обводнения газовых скважин (патент РФ №2202692, опубл. 13.07.2000), при реализации которого на скважине осуществляется проведение стандартных газодинамических исследований методом установившихся отборов, определение коэффициентов фильтрационного сопротивления  $a$  и  $b$ , анализ динамики коэффициентов фильтрационного сопротивления  $a$  и  $b$  во времени, построение графиков  
35 их изменения, сравнение значений коэффициентов фильтрационного сопротивления  $a$  и  $b$  с предыдущими, а также вывод о наличии пластовых вод в призабойной зоне пласта по скачкообразному увеличению значений коэффициентов фильтрационного сопротивления.

Недостатком данного способа являются сравнительно большие ошибки при  
40 определении даты поступления пластовых вод, связанные с большими интервалами между датами проведения исследований.

Известен способ определения процесса обводнения газовых и газоконденсатных скважин (Ермилов О.М. Совершенствование систем разработки, добычи и подготовки газа на месторождениях Крайнего Севера. М., Наука, 1996 г., с.35), осуществляемый  
45 путем проведения комплекса промыслово-геофизических исследований наблюдательных и добывающих газовых скважин.

Недостатками данного способа являются неоперативное диагностирование процесса обводнения газовых скважин, объясняемое длительностью проведения и интерпретации

промыслово-геофизических исследований скважин и невозможность проведения исследований на всем эксплуатационном фонде добывающих скважин по техническим причинам.

Известен способ контроля процесса обводнения газовых скважин (патент РФ № 2604101, опубл. 20.10.2015), принятый за прототип, в котором для контроля процесса обводнения используют данные стандартных замеров устьевых параметров, давления и температуры, определяют среднеквадратичные отклонения температуры и давления при разных режимах работы скважины и их сравнивают. Начало обводнения устанавливают по изменению во времени значений среднеквадратичного отклонения температуры и давления.

Недостатком данного способа является возможность влияния на значения устьевых параметров факторов окружающей среды и, как следствие, неверная регистрация изменения значений, а также непринятие во внимание изменения других важных параметров, по которым судят о начале процесса обводнения газовой скважины.

Техническим результатом является своевременное диагностирование начала обводнения газовых скважин.

Технический результат достигается тем, что производят выбор произвольной беспакерной скважины, на которой осуществляют измерения устьевого трубного давления, устьевого затрубного давления и дебита с определенной периодичностью, а затем по полученным данным строят график зависимости от времени и выбирают на нем области, с одновременным падением устьевого трубного давления и дебита с ростом затрубного устьевого давления, после этого вычисляют коэффициенты множественной корреляции и множественной детерминации, если значение множественного коэффициента корреляции превышает критическое значение, равное  $\geq 0,9$ , то констатируют начало процесса обводнения газовой скважины, если полученные значения меньше критических, то обводнение газовой скважины не происходит.

Способ поясняется следующими фигурами:

фиг. 1 – алгоритм применения предлагаемого способа;

фиг. 2 – график изменения устьевых параметров во времени.

Способ осуществляется в следующей последовательности (фиг.1). На месторождении выбирается произвольная беспакерная скважина, с которой будут проводить исследования. Для выбранной скважины производят замер устьевых параметров, таких как устьевого трубного давления, устьевого затрубного давления и дебит. Измерение давления на устье скважины производят посредством установленного на скважине преобразователя, например, регистратора технологических параметров РТП-4 или многопараметрического интеллектуального датчика MVT 3808-30A. Дебит газовой скважины определяют при помощи устройства, используемого для замера расхода газа, например, ДИКТ-50 или ДИКТ-100. Замеры проводят не реже одного раза в неделю, а с начала выделенного интервала для вычисления необходимых зависимостей – ежедневно.

После измерения значений трубного устьевого давления, затрубного устьевого давления и дебита скважины, по полученным данным строят графики зависимости этих параметров во времени. Далее выбирают на графике область, в которой наблюдается одновременное падение устьевого трубного давления с увеличением устьевого затрубного давления, сопровождающееся резким снижением дебита скважины. По одновременным изменениям данных устьевых параметров судят о начале процесса обводнения газовых скважин.

Затем устанавливают взаимосвязь между изменяющимися устьевыми параметрами

и вычисляют множественный коэффициент корреляции, который рассчитывается по формуле:

$$R_{x(yz)} = \sqrt{\frac{r_{xy}^2 + r_{xz}^2 - 2 * r_{xy} * r_{xz} * r_{yz}}{1 - r_{yz}^2}}, \quad (1)$$

где  $R_{x(yz)}$  – множественный коэффициент корреляции величин x, y и z;

$r_{xy}$  – линейный выборочный коэффициент корреляции между устьевым трубным давлением и устьевым затрубным давлением;

$r_{xz}$  – линейный выборочный коэффициент корреляции между устьевым трубным давлением и дебитом;

$r_{yz}$  – линейный выборочный коэффициент корреляции между устьевым затрубным давлением и дебитом.

Устьевое трубное давление принимается за x, а затрубное устьевое давление и дебит за y и z соответственно.

Линейный выборочный коэффициент корреляции рассчитывается по формуле:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (2)$$

где  $x_i$  – i-е значение параметра x;

$y_i$  – i-е значение параметра y;

N – количество элементов выборки;

$\bar{x}$  – среднее значение параметра x из выборки;

$\bar{y}$  – среднее значение параметра y из выборки.

В качестве i-го значения показателей выступает измеренная величина на устье скважины.

После этого дается количественная оценка взаимосвязи между выбранными величинами для анализа, которую определяют при помощи коэффициента множественной детерминации, рассчитываемого по формуле:

$$D = R_{x(yz)}^2 * 100\% \quad (3)$$

Далее производят оценку взаимосвязи изменения устьевых параметров, применяя шкалу Чеддока, представленную в таблице 1.

Таблица 1 – Шкала Чеддока

Количественная мера тесноты связи	Качественная мера тесноты связи
0,1 - 0,3	Слабая
0,3 - 0,5	Умеренная
0,5 - 0,7	Заметная
0,7 - 0,9	Высокая
0,9 - 1	Весьма высокая

Если полученное значение множественного коэффициента корреляции превышает критическое значение, равное  $R_{x(yz)} \geq 0,9$ , то констатируют начало процесса обводнения газовой скважины. Критическое значение коэффициента множественной детерминации определяется при подстановке  $R_{x(yz)} = 0,9$ , поэтому оно принимает значение  $D \geq 81 \%$ .

В таком случае проводят мероприятия по периодическому или непрерывному удалению жидкости из ствола скважины, например, продувка скважины или эксплуатация при



помощи плунжер-лифта. В том случае, если полученные значения меньше критических, обводнение газовой скважины не происходит: чем ниже получится расчетное значение коэффициента, тем более значимыми являются неучтенные факторы, влияющие на изменение устьевого трубного давления, устьевого затрубного давления и дебита, но не означающие начало процесса обводнения скважины, например, изменение давления или температуры в шлейфе.

Способ объясняется следующим примером.

На графике изменения устьевых параметров во времени (фиг.2) представлено изменение устьевых параметров во времени для скважины газового месторождения для которой характерно накопление пластовой воды в стволе скважины. На графике можно четко заметить две характерные области: область левее черной вертикальной линии с относительно постоянными устьевыми параметрами и область правее этой же линии, где наблюдается снижение дебита и устьевого трубного давления и увеличение устьевого затрубного давления. Используя измеренные значения устьевых параметров, были рассчитаны линейные выборочные коэффициенты корреляции. Их значения:

$$r_{xy} = -0,941;$$

$$r_{xz} = 0,967;$$

$$r_{yz} = -0,972.$$

Множественный коэффициент корреляции для этого случая равен:

$$R_{x(yz)} = \sqrt{\frac{r_{xy}^2 + r_{xz}^2 - 2 * r_{xy} * r_{xz} * r_{yz}}{1 - r_{yz}^2}} = \sqrt{\frac{(-0,941)^2 + 0,967^2 - 2 * (-0,941) * 0,967 * (-0,972)}{1 - (-0,972)^2}} = 0,967.$$

Коэффициент множественной детерминации, рассчитанный по формуле 3:

$$D = R_{x(yz)}^2 * 100\% = 0,967^2 * 100\% = 93,579 \%$$

Исходя из расчетов для различных скважин месторождений Западной Сибири, основанных на этом способе, можно судить о наступлении обводнения скважины при значении  $R_{x(yz)} \geq 0,9$  и  $D \geq 80 \%$ .

Интерпретируя полученные данные, можно сделать вывод, что связь между изменением устьевых параметров по шкале Чеддока является весьма высокой, а влияние сторонних факторов незначительно – 6,421 %. Значения коэффициента множественной корреляции и коэффициента множественной детерминации превышают критические значения, а значит можно судить о начале процесса обводнения газовой скважины в районе черной линии на фиг.2. Действительно, расчетные данные совпадают с практическими исследованиями – в стволе скважины начался процесс обводнения в районе даты, совпадающей с черной линией на фиг.2.

Предложенный способ мониторинга обводнения газовых скважин позволяет диагностировать начало поступления и скопления пластовой жидкости в стволе скважины, что дает возможность своевременно принять меры по недопущению самозадавливания скважины.

#### (57) Формула изобретения

Способ мониторинга обводнения газовых скважин, при котором начало обводнения устанавливается по изменению во времени значений коэффициентов, рассчитанных по результатам скважинных измерений, отличающийся тем, что производят выбор произвольной беспакерной скважины, на которой осуществляют измерения устьевого трубного давления, устьевого затрубного давления и дебита с определенной

периодичностью, а затем по полученным данным строят график зависимости от времени и выбирают на нем области с одновременным падением устьевого трубного давления и дебита с ростом затрубного устьевого давления, после этого вычисляют коэффициенты множественной корреляции и множественной детерминации, если значение множественного коэффициента корреляции превышает критическое значение, равное  $\geq 0,9$ , то констатируют начало процесса обводнения газовой скважины, если полученные значения меньше критических, то обводнение газовой скважины не происходит.

10

15

20

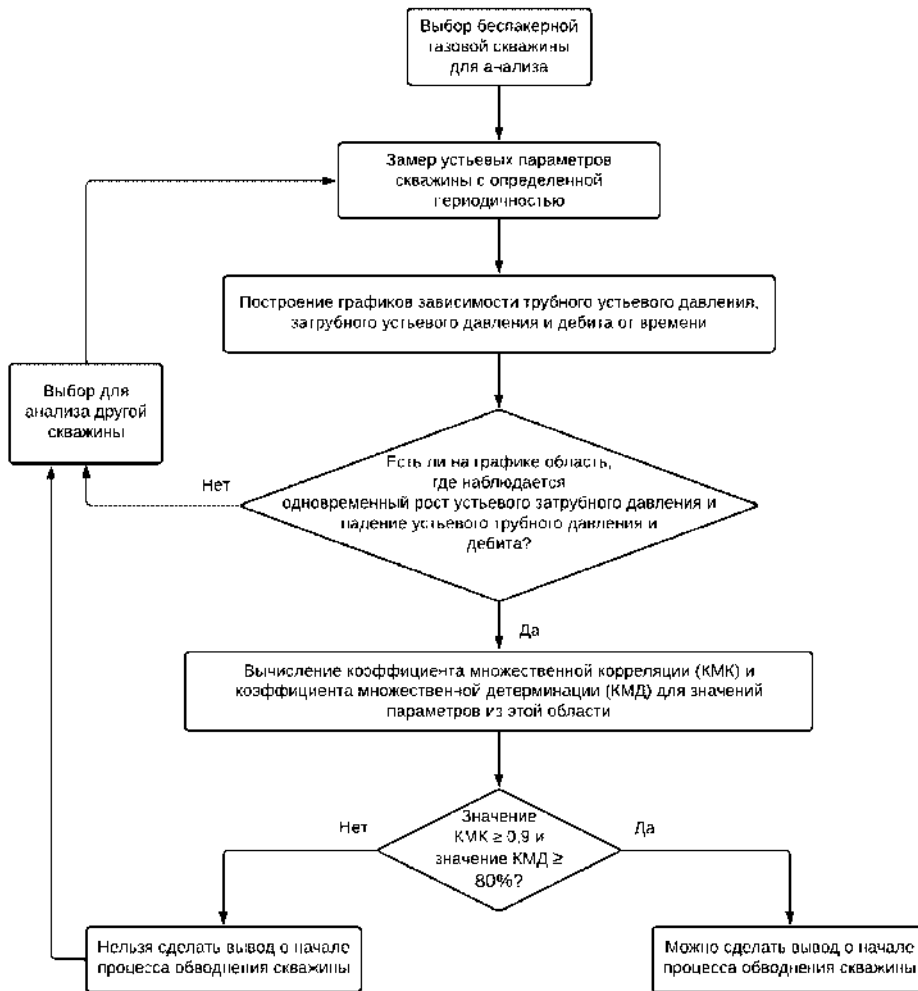
25

30

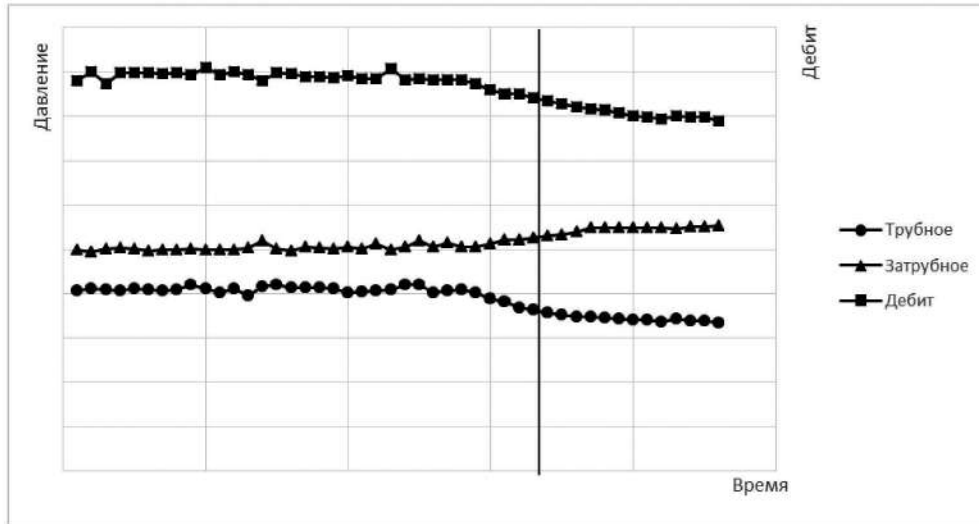
35

40

45



Фиг. 1



Фиг. 2