



УДК 622.692.4:691.12

ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПРОМЫСЛОВЫХ ГАЗОПРОВОДОВ



FRactal ANALYSIS FOR MODES OF THE FIELD PIPELINES

Исмаилов Р.А.

Азербайджанский государственный
университет нефти и промышленности
id.yug2016@gmail.com

Аскерова Р.И.

Азербайджанский государственный
университет нефти и промышленности

Аннотация. В статье обосновано применение фрактального анализа для диагностирования жидких включений в газовых потоках в промысловых газопроводах. На основе промысловых данных были построены расходные характеристики для выкидных линий выборочно взятых скважин и получены соответствующие значения фрактальной размерности методом покрытия. Установлена устойчивая корреляционная связь между изменением фрактальной размерности и наличием жидких включений в составе газовых потоков.

Ключевые слова: газопровод, жидкие включения, расходная характеристика, фрактальная размерность.

Ismayilov R.A.

Azerbaijan State University of Oil and Industry
id.yug2016@gmail.com

Askerova R.I.

Azerbaijan State University of Oil and Industry

Annotation. The article substantiates the use of fractal analysis for diagnosis of fluid inclusions in the gas flow in industrial pipelines. Based on field data was constructed for the flow characteristics of the discharge lines of selected boreholes and obtained corresponding values of the fractal dimension by the method of coating. Established correlation between changes in fractal dimension and the presence of fluid inclusions in the gas flows.

Keywords: pipeline, liquid inclusions, the flow characteristic, fractal dimension.

Как известно, продукция скважин по шлейфам (выкидным линиям) транспортируется до групповых сборных пунктов (ГСП). При этом возможны различные осложнения: в связи с механическим истиранием внутренней поверхности труб частицами породы, выносимыми потоком газа из скважины; коррозионным разрушением металла труб из-за наличия в потоке углекислого газа, сероводорода, минерализованной воды, остаточных продуктов кислотной обработки скважин; накоплением жидкости (воды и конденсата) и гидратообразования [1].

К тому же саму продукцию скважин можно охарактеризовать как гетерогенную систему, проявляющую ярко выраженные неравновесные свойства [1, 2]. Учитывая также осложнения, возникаемые непосредственно в системе пласт-скважина, работу промысловых трубопроводов можно рассматривать как стохастический процесс.

Вышесказанное отражается на динамике изменения основных газодинамических параметров (давлений и расходов), которые регистрируются на пунктах замера.

Важнейшей задачей является возможность диагностирования вышеперечисленных осложнений в выкидных линиях на начальном этапе их возникновения и проведения адекватных инженерно-технических мероприятий с целью своевременной их ликвидации и снижения потерь в системе сбора газа на промыслах.

Анализ временных рядов для давлений и дебитов скважин показывает их сильно изменчивый характер ввиду большого числа случайных факторов, влияющих на режимы работы промысловых трубопроводов. Таким образом газодинамические процессы, протекающие в системе пласт – скважина – выкидная линия – газосборный пункт характеризуются как неоднородные, неравновесные и стохастические процессы. К исследованию такого рода процессов эффективно применяются методы фрактальной геометрии [3, 4, 5].

В настоящей работе рассмотрена реальная система сбора газа на примере Гарадагского газонефте-конденсатного месторождения. Для исследования были взяты скважины № 70, № 78 и № 115. Продукция по выкидной линии от каждой скважины транспортируется до ГСП. Для каждой скважины выбраны следующие основные технологические показатели: дебит газа; выход конденсата; давление после штуцера и давление на выходе выкидной линии. Ставится задача о возможности диагностирования степени наличия жидких включений (конденсата) по фрактальным характеристикам расходных характеристик трубопровода (выкидной линии) $Q-\Delta P$; $Q-\Delta P^2$ и $Q^2-\Delta P^2$. С этой целью на основе реальных промысловых данных были составлены выборки для дебита газа (Q), давления газа после штуцера ($P_{пш}$) и давления на выходе выкидной линии ($P_{вых}$). Отдельно для каждой скважины были оценены средние значения выхода конденсата. Соответствующие выборки сведены в таблице 1.



Таблица 1 – Технологические показатели скважин Гарадагского ГКНМ

Номер скважины	№	Дебит газа, тыс. м ³	Давление после штуцера, атм	Давление на выходе, атм	Выход конденсата, г/м ³
1	2	3	4	5	6
Скв. № 70	1	363	133,2	129,48	140
	2	366	133,2	130,09	
	3	358	133,2	129,98	
	4	366	132,6	128,76	
	5	353	132,6	128,32	
	6	360	132,6	128,29	
	7	345	136,8	132,37	
	8	348	139,2	135,80	
	9	306	135,6	132,55	
	10	290	132,0	128,42	
	11	287	126,6	122,29	
	12	396	124,8	120,81	
	13	372	120,6	116,78	
	14	376	120,6	115,72	
	15	374	123,0	118,43	
	16	328	129,0	124,51	
	17	317	130,8	126,01	
	18	375	125,4	121,31	
	19	325	122,4	119,39	
	20	273	129,6	125,75	
	21	330	120,6	116,40	
	22	290	117,0	112,96	
	23	280	118,2	113,82	
	24	274	102,0	98,96	
Скв. № 78	1	373	152,4	147,52	199
	2	366	152,4	147,06	
	3	358	152,4	148,34	
	4	350	151,2	147,02	
	5	350	150,6	146,94	
	6	358	150,6	146,08	
	7	368	150	147,11	
	8	375	147	144,42	
	9	386	145,2	143,59	
	10	470	141,6	141,25	
	11	471	140,4	136,85	
	12	473	141,6	134,62	
	13	474	138	135,81	
	14	465	136,8	134,97	
	15	450	135,6	131,91	
	16	445	174	131,51	
	17	430	130,2	169,02	
	18	418	141,6	126,38	



Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6
Скв. № 78	19	388	136,8	137,93	199
	20	390	133,2	131,61	
Скв. № 70	21	421	133,2	128,53	
	22	419,8	132	126,90	
	23	428	129	124,92	
	24	680	118,8	113,36	
Скв. № 115	1	330	156	151,26	148
	2	330	156,6	152,55	
	3	331	157,2	155,52	
	4	337	157,2	153,13	
	5	305	157,2	153,13	
	6	207,5	127,2	123,13	
	7	420	126	119,87	
	8	582	123	118,41	
	9	604	121,8	117,88	
	10	580	120	115,42	
	11	625	115,8	110,63	
	12	641	109,2	106,79	
	13	600	111	108,64	
	14	630	108	102,33	
	15	675	98,4	92,73	
	16	693	91,2	85,53	
	17	708	91,2	85,53	
	18	612	123,6	119,2	
	19	610	123,6	117,27	
	20	615	129,6	124,39	
	21	622	115,2	111,51	
	22	639	109,2	107,4	
	23	634	96,6	92,25	
	24	590	97,2	93,3	

На основе данных таблицы 1 были построены расходные характеристики Q-ΔP; Q-ΔP² и Q²-ΔP², произведено для каждой характеристики спрямление в логарифмических координатах ln (1/r)-ln N (рис. 1–6) и оценены значения фрактальной размерности Хаусдорфа аналогично [5]. Вычисленные значения фрактальной размерности для всех построенных расходных характеристик сведены в таблицу 2. Анализ полученных значений фрактальной размерности для расходной характеристики Q-ΔP (табл. 2) показывает, что с увеличением жидких включений (выхода конденсата) фрактальная размерность понижается. Так по скважине № 70 мы имеем самый низкий выход конденсата (140 г/м³), в то время как соответствующее значение фрактальной размерности самое высокое (1,52).

Таблица 2 – Фрактальные размерности расходных характеристик

Номер скважины	Значения фрактальной размерности для расходных характеристик			Выход конденсата, г/м ³
	Q-ΔP	Q-ΔP ²	Q ² -ΔP ²	
Скв. № 70	1,52	1,27	1,27	140
Скв. № 78	1,32	1,28	1,38	199
Скв. № 115	1,41	1,29	1,33	148



Совершенно противоположная картина наблюдается для скважины № 78, где самому высокому значению выхода конденсата (199 г/м³) соответствует низкое значение фрактальной размерности 1,32. Результаты по скважине № 115 также подтверждают установленный выше вывод. Здесь выход конденсата составляет 148 г/м³ (находится в интервале 140–199 г/м³), а соответствующее значение фрактальной размерности составляет 1,41 (находится в интервале 1,32–1,52).

Следует отметить также, что увеличение жидких включений приближает характер течения к условиям жидкостного потока, где зависимость Q-ΔP носит линейный характер. Следовательно, значение фрактальной размерности для этой расходной характеристики с увеличением количества жидких включений в пределе должна стремиться к значению 1, а с уменьшением их количества, должно приближаться к значению 2, что соответствует расходной характеристике чисто газового потока.

Как видно из таблицы 2, полученные результаты для расходной характеристики Q-ΔP хорошо согласуются с закономерностями течения газовых и жидкостных потоков в трубе. Это позволяет установить, на наш взгляд, очень важный вывод о том, что фрактальная характеристика дает нам возможность диагностировать наличие жидких включений в потоке. Сказанное можно сформулировать так, что жидкие включения несут определенное упорядочение в характер изменения расходной характеристики Q-ΔP, в то время как их низкое содержание усиливает неоднородные процессы в трубопроводной системе.

Результаты обработки по расходной характеристике Q-ΔP² показывают, что данная характеристика инерционно устойчива к наличию в потоке жидких включений. Так для всех трех рассматриваемых скважин с различным средним значением выхода конденсата (140; 199; 148 г/м³), значение фрактальной размерности остается практически неизменным (соответственно 1,27; 1,28; 1,29).

Следующая характеристика Q²-ΔP² отражает реальную расходную характеристику газового потока и может быть получена из обобщенной формулы для гидравлического расчета магистрального газопровода [5]:

$$Q = C \left(\frac{P_1^\sigma - P_2^\sigma}{L} \right)^i, \tag{1}$$

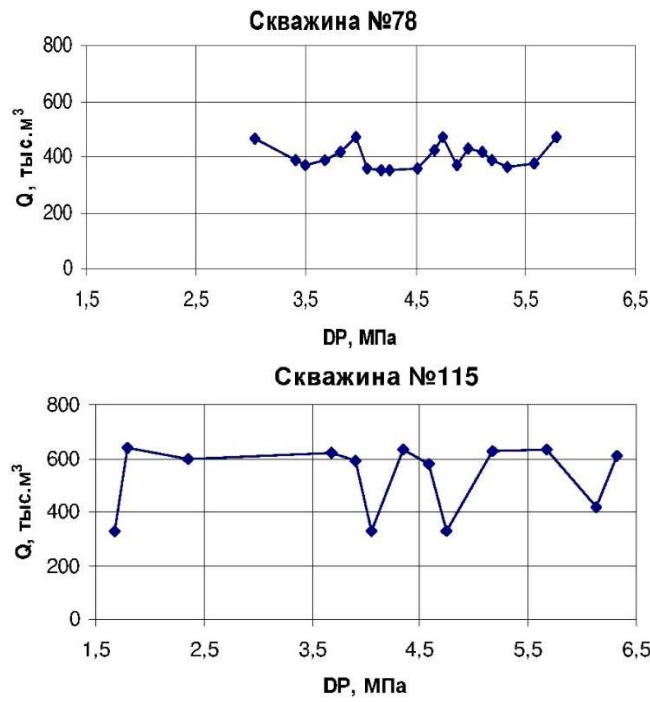
где C – некоторая постоянная величина; σ = 1 + 1/k, k – показатель адиабаты; i – величина, зависящая от гидравлического режима течения потока (для ламинарного режима i = 1; режима квадратического сопротивления по Веймауту i = 1/2; турбулентного по Блазиусу режима i = 4/7); P₁ – давление в начале участка газопровода; P₂ – давление в конце участка газопровода; L-длина участка газопровода.

Как видно из соотношения (1), при изотермическом течении (k = 1 и σ = 2) и режима квадратичного сопротивления (i = 1/2), мы получаем расходную характеристику Q²-ΔP². При этом значение σ_i фактически определяет значение фрактальной размерности для этой характеристики, который для случая изотермического течения и квадратичного режима должен быть равным 1(2 · 1/2 = 1). Если учесть, что промышленным трубопроводам характерен режим квадратического сопротивления (i = 1/2), то отклонение значения фрактальной размерности от 1 может быть только связано с увеличением показателя адиабаты (k), что по всей видимости может быть связано с наличием жидких включений в составе потока. То есть, иными словами, по отклонению реальных значений фрактальной размерности от 1 можно было бы диагностировать степень наличия жидких включений в трубопроводе.

Полученные реальные результаты для фрактальной размерности расходной характеристики Q²-ΔP² (табл. 2) показывают, что для всех рассматриваемых скважин мы имеем отклонение от 1 (скважина № 70 – 1,27; скважина № 78 – 1,38; скважина № 115 – 1,33). Причем, как прослеживается из этих данных, меньшему значению содержания жидких включений соответствует меньшее значение фрактальной размерности (скважина № 70), а большему значению содержания жидких включений большее значение (скважина № 78). Эта закономерность сохраняется также для данных по скважине № 115.



Рисунок 1 – Расходные характеристики Q-ΔP для отдельных скважин



Окончание рисунка 1 – Расходные характеристики Q-ΔP для отдельных скважин

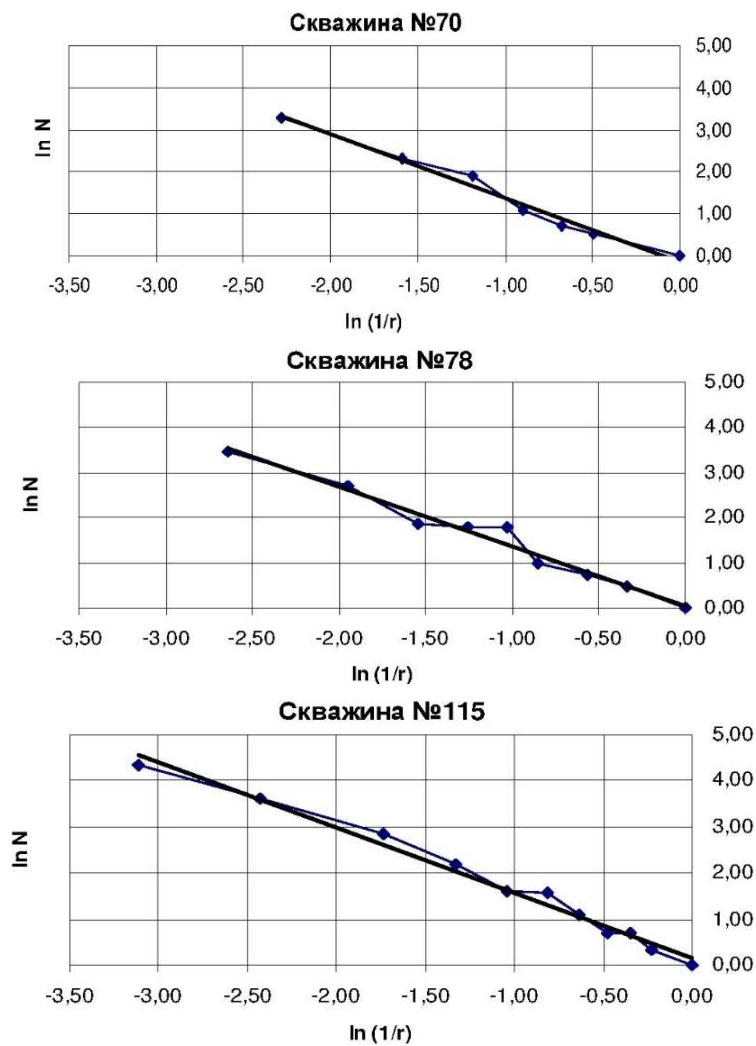


Рисунок 2 – Спряжение в логарифмических координатах для расходной характеристики Q-ΔP

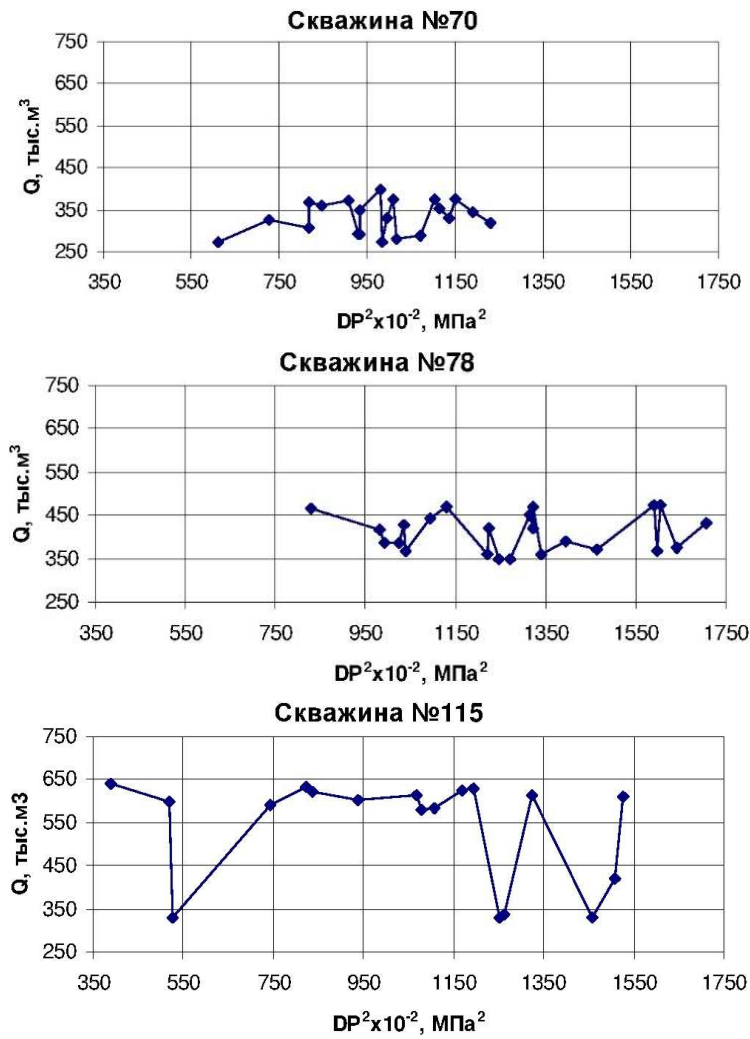


Рисунок 3 – Расходные характеристики Q-ΔP² для отдельных скважин

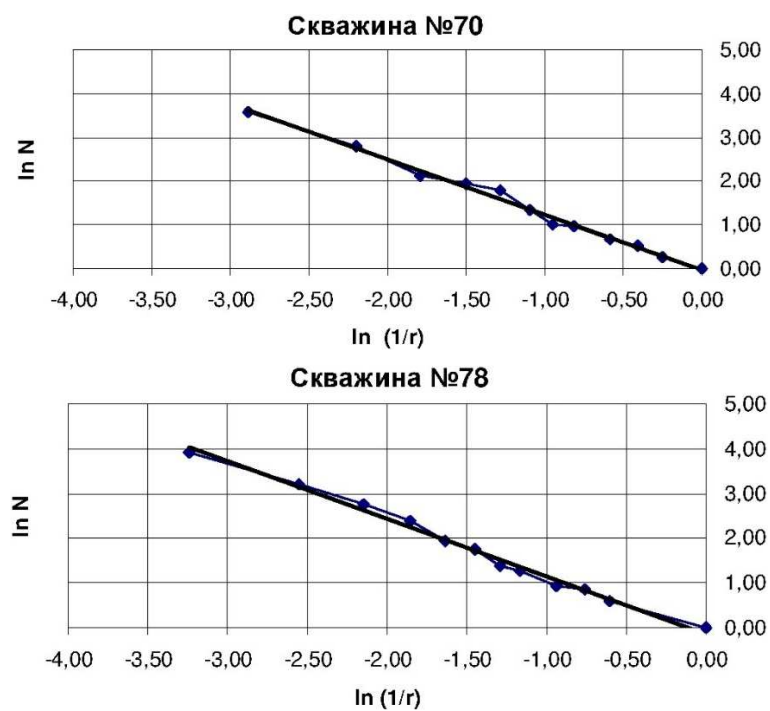
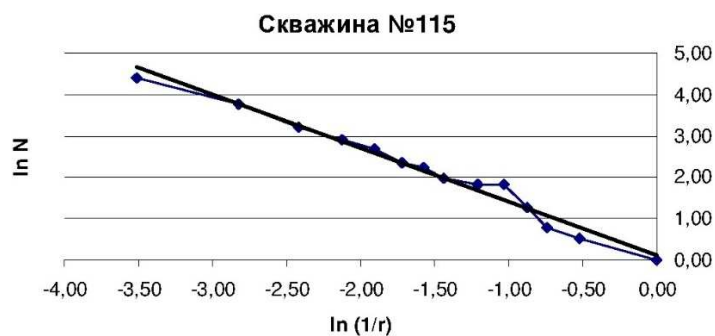


Рисунок 4 – Спряжение в логарифмических координатах для расходной характеристики Q-ΔP²



Окончание рисунка 4 – Спряmlение в логарифмических координатах для расходной характеристики $Q-\Delta P^2$

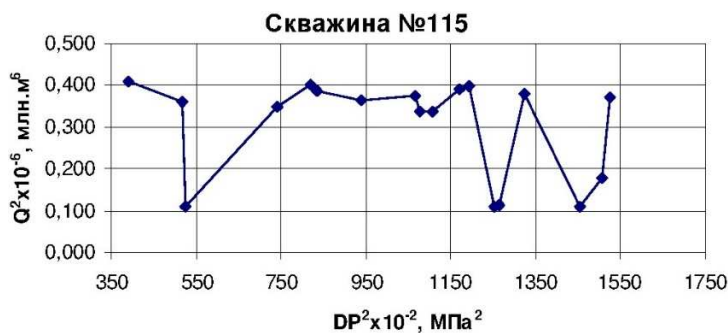
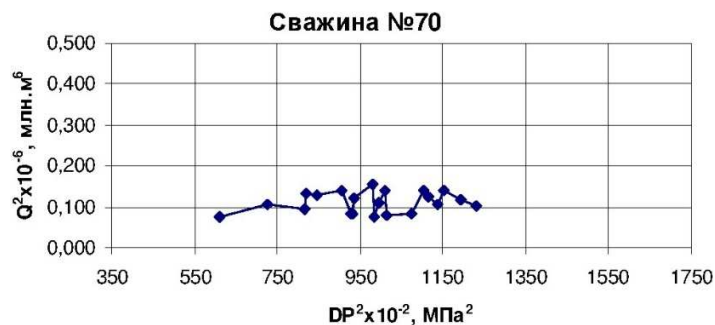


Рисунок 5 – Расходные характеристики $Q^2-\Delta P^2$ для отдельных скважин

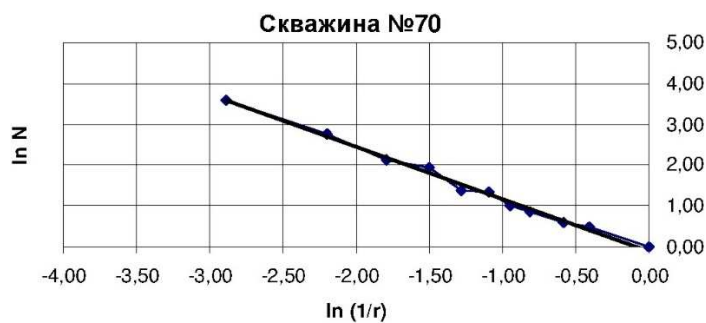
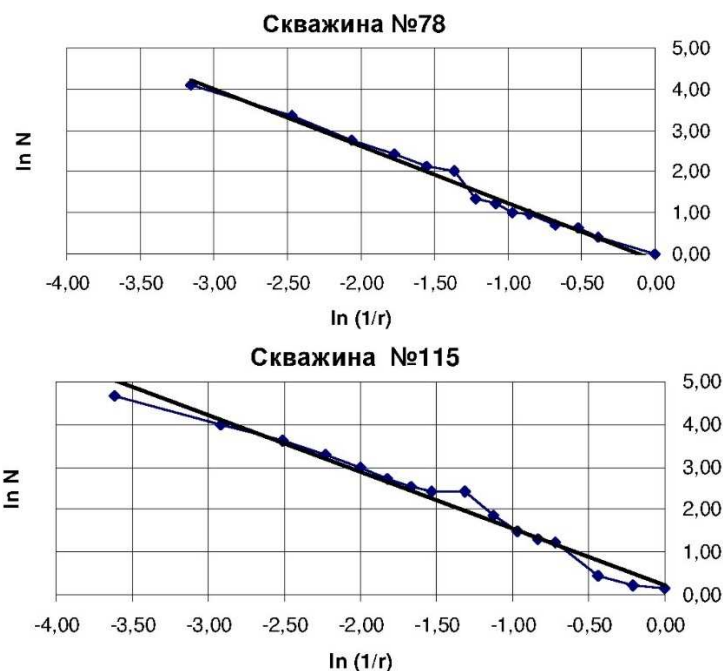


Рисунок 6 – Спряmlение в логарифмических координатах для расходной характеристики $Q^2-\Delta P^2$



Окончание рисунка 6 – Спрямление в логарифмических координатах для расходной характеристики $Q^2-\Delta P^2$

Вышесказанное позволяет заключить, что жидкие включения в составе газового потока влияют на характер адиабатических процессов в трубопроводе и приводят к увеличению показателя адиабаты. А это в свою очередь отражается на отклонении значения фрактальной размерности для расходной характеристики $Q^2-\Delta P^2$ от значения 1.

Выводы

1. Обоснован фрактальный подход к анализу режимов работы промышленных трубопроводов и получены для них расходные характеристики.
2. Установлено, что фрактальная характеристика расходных характеристик тесно связана с реальными адиабатическими и политропическими процессами в промышленных трубопроводах.
3. Показана возможность диагностирования наличия жидких включений в составе потока по значениям фрактальной размерности расходных характеристик промышленных трубопроводов.

Литература

1. Мирзаджанзаде А.Х. [и др.]. Основы технологии добычи газа. – М. : Недра, 2003. – 880 с.
2. Гужов А.И. [и др.]. Учебное пособие. – М. : Недра, 1978. – 405 с.
3. Федер Е. Фракталы. – М. : Мир, 1991. – 260 с.
4. Саттаров Р.М., Исмаилов Р.А. Применение методов фрактальной геометрии при моделировании движения газа в трубе // Азербайджанское Нефтяное Хозяйство. – 2007. – № 2. – С. 44–46.
5. Саттаров Р.М., Исмаилов Р.А., Мамедова К.Р. О проявлении фрактальных свойств газов при движении по трубопроводу // Проблеми нафтогазової промисловості : Збірник наукових праць. – Київ, 2006. Випуск 3. – С. 330–337.

References

1. Mirzajanzade A.H. [et al.]. Basics of Gas Production Technology. – М. : Nedra, 2003. – 880 p.
2. Guzhov A.I. [et al.]. Training Manual. – М. : Nedra, 1978. – 405 p.
3. Feder E. Fractals. – М. : Mir, 1991. – 260 p.
4. Sattarov R.M., Ismayilov R.A. Application of methods of fractal geometry at modelling of movement of gas in a pipe // Azerbaijan Oil Industry. – 2007. – № 2. – P. 44–46.
5. Sattarov R.M., Ismayilov R.A., Mamedova K.R. About manifestation of the fractal properties of gases at movement on the pipeline // Problems of the naphtha-gas production. Zbirnik of science prats. – Kiev, 2006. – Vyp. 3. – P. 330–337.