

4. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕКАЧКИ НЕФТИ И ГАЗА

УДК 622.691.4.01

ВАРИАНТЫ ОЦЕНКИ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРОТИВОТУРБУЛЕНТНОЙ ПРИСАДКИ В НЕФТЕПРОДУКТЕ ПРИ ЕГО ТРАНСПОРТИРОВКЕ ПО МАГИСТРАЛЬНОМУ ТРУБОПРОВОДУ

А.А. Долгий¹, А.Д. Прохоров², С.Н. Челинцев²

¹ООО «LatRosTrans», Даугавпилс, Латвия,

²Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина,
Москва, Россия

Приводятся результаты оценки требуемой производительности магистрального трубопровода для перекачки нефтепродукта с присадкой. При этом используется экспериментально полученная связь концентрации с эффективностью ее применения. На конкретном примере дано сравнение производительности магистрального трубопровода при детерминистском и вероятностном подходах.

Введение. На основе результатов испытания противотурбулентной присадки (ПТП) рассмотрены некоторые практические варианты расчета ее концентрации для обеспечения требуемого объемного расхода нефтепродукта (НП), который транспортируется по магистральному трубопроводу (МТ). При этом в расчетах используется экспериментально полученная связь концентрации ПТП и эффективности ее применения. Показана возможность оценки концентрации ПТП как при условии поддержания постоянного рабочего давления на НПС, так и при его отсутствии. Первоначально рассматривается процесс оценки концентрации ПТП для режима перекачки НП с ПТП, который заполняет всю длину трубопровода. Далее рассмотрены варианты, когда он заполняет один и два его участка. При этом концентрации ПТП на каждом из участков могут быть различными. Потенциальные оценки концентрации ПТП, получаемые в рассматриваемых выше ситуациях, являются слишком оптимистичными. Это связано с детерминистским подходом при их описании, что приводит к завышенным оценкам желаемых объемных расходов НП. Поэтому в заключение рассматривается один из возможных подходов, когда при описании процесса

оценки концентрации ПТП следует учитывать тот факт, что отдельные используемые в расчетах параметры носят случайный характер, и в простейшем случае часть из них является случайными величинами. На наш взгляд, это дает более реалистические результаты упомянутых расчетов.

Расчетные соотношения для оценки концентрации ПТП в нефтепродукте при заполнении им всей длины МТ. Используя известные уравнения для баланса давлений при перекачке НП с ПТП и без неё, а также соответствующую связь (1) гидравлических сопротивлений МТ с эффективностью применения ПТП:

$$\lambda = \lambda_0 \left(1 - \frac{\Phi}{100} \right), \quad (1)$$

где λ_0, λ – соответственно коэффициенты гидравлического сопротивления МТ при перекачке НП без ПТП и с ПТП, получаем

$$Q = \sqrt{\frac{Q_0^2 - \frac{\Delta P_{cm}}{\lambda_0 f}}{1 - \frac{\Phi}{100}}}, \quad (2)$$

Здесь Q_0, Q – соответственно объемный расход НП без ПТП и с ПТП, м³/ч;

$$\Delta P_{cm} = B_1(Q^2 - Q_0^2), \quad (3)$$

где B_1 – коэффициент, получаемый при аппроксимации характеристик подпорного и основного насосных агрегатов НПС;

$$f = \frac{L}{d_3^5} \cdot \frac{8\rho_n}{\pi^2}. \quad (4)$$

Здесь L – полная длина трубопровода, м; d_3 – эквивалентный диаметр МТ, м; ρ_n – плотность нефтепродукта, кг/м³.

Учитывая связь (5) концентрации C присадки и эффективности ее применения

$$C = \frac{3,05}{\frac{76,33}{\Phi} - 1} \quad (5)$$

и соотношение (2), получаем:

$$C = \frac{3,05}{\frac{0,7633}{A} - 1}, \quad (6)$$

где

$$A = 1 - \frac{Q_0^2}{Q^2} + \frac{\Delta P_{cm}}{\lambda_0 f Q^2}. \quad (7)$$

Используя соотношения (2), (3), (6) и (7), можно показать, что при поддержании постоянного рабочего давления $\Delta P_{cm} = 0$ требуются меньшие значения концентрации присадки, чем при $\Delta P_{cm} \neq 0$. В последнем случае концентрация присадки возрастает в 2...4 раза.

Расчетные соотношения для оценки концентрации ПТП в нефтепродукте при заполнении им одной части длины МТ. В рассматриваемом случае имеем:

$$Q = \sqrt{\frac{Q_0^2 - \frac{\Delta P_{cm} \cdot x}{\lambda_0 f_1 L}}{1 - \frac{\varphi \cdot x}{100 \cdot L}}}, \quad (8)$$

где x – длина участка трубопровода, заполненная НП с ПТП, м;

$$f_1 = \frac{x}{d^5} \cdot \frac{8\rho_n}{\pi^2} \quad (9)$$

Концентрация присадки

$$C = \frac{3.05}{\frac{76.33}{A} - 1}, \quad (10)$$

где

$$A = \left(1 - \frac{Q_0^2}{Q^2}\right) \frac{L}{x} + \frac{\Delta P_{cm}}{\lambda_0 f_1 Q^2}. \quad (11)$$

Заметим, что при $x = L$ соотношения (8) и (11) будут соответствовать соотношениям (2) и (7). Можно показать, что в режиме заполнения одной части магистрального трубопровода НП с ПТП при прочих равных условиях требуется в среднем в 3 раза большее значение концентрации ПТП, чем при заполнении всей его длины.

Расчетные соотношения для оценки концентрации ПТП в нефтепродукте при заполнении им двух частей длины МТ. Рассматривается ситуация, когда вся длина трубопровода L делится промежуточной НПС на две части, длины которых соответственно l_1 и l_2 .

Как и ранее, используя уравнения баланса давлений для первой и второй частей МТ, получаем:

$$Q = \sqrt{\frac{Q_0^2 \cdot \frac{L}{l_1} - \frac{\Delta P_u + \Delta P_d}{\lambda_0 f_1}}{\left(1 - \frac{\varphi_1}{100}\right) + \frac{l_2}{l_1} \left(1 - \frac{\varphi_2}{100}\right)}} \quad (12)$$

или

$$Q = \sqrt{\frac{Q_0^2 \cdot \frac{L}{l_2} - \frac{\Delta P_u + \Delta P_d}{\lambda_0 f_2}}{\left(1 - \frac{\varphi_2}{100}\right) + \frac{l_1}{l_2} \left(1 - \frac{\varphi_1}{100}\right)}} \quad (13)$$

При этом формула для концентрации C присадки будет в рассматриваемом случае иметь вид:

$$C_i = \frac{3,05 A_i}{0,7633 - A_i}, \quad i = 1; 2, \quad (14)$$

где

$$A_1 = 1 - \frac{L}{l_1} \cdot \frac{Q_0^2}{Q^2} + \frac{l_2}{l_1} (1 - 0,01\varphi_2) + \frac{\Delta P_u + \Delta P_d}{\lambda_0 f_1 Q^2}, \quad (15)$$

или

$$A_2 = 1 - \frac{L}{l_2} \cdot \frac{Q_0^2}{Q^2} + \frac{l_1}{l_2} (1 - 0,01\varphi_1) + \frac{\Delta P_u + \Delta P_d}{\lambda_0 f_2 Q^2}. \quad (16)$$

При этом

$$\Delta P_{cm} = \Delta P_u + \Delta P_d = (B_1 + B_d)(Q^2 - Q_0^2), \quad (17)$$

где B_d – коэффициент, определяемый при аппроксимации характеристик насосных агрегатов промежуточной НПС.

Учет влияния случайной оценки концентрации противотурбулентной присадки на производительность магистрального трубопровода. Ранее в соотношениях (2), (8), (12), (13) предполагалось, что для получения требуемой Q производительности магистрального трубопровода за счет применения ПТП ее заданная концентрация C устанавливается без ошибок. То есть входящие в них переменные известны точно или измеряются без погрешностей. В результате расчета получаем слишком оптимистические потенциальные значения C и Q .

В упомянутых соотношениях не учитываются также некоторые неконтролируемые аппаратурные факторы, которые, например, имеют место в дозирующих насосных установках ввода ПТП в МТ и могут также влиять на снижение потенциальных величин C и Q . Такими факторами в дозирующей насосной установке типа RUKI 500 LR является наличие в гидравлической части насоса пузырьков воздуха или различного рода загрязнения присадки и его накопление в соответствующих фильтрах и т.д. Это приводит к эквивалентным сужениям (уменьшениям сечений) подводящих линий дозирующей установки. Если не учитывать это обстоятельство, то получаем также завышенные оценки требуемой Q производительности МТ.

Все вышесказанное позволяет говорить об оценке C_0 концентрации, которая отличается от идеальной на величину $\Delta C = C - C_0$ и на которую могут влиять все перечисленные выше ошибки исходных данных (переменные величины) и аппаратурные факторы.

В дальнейшем полагаем, что переменные величины известны точно, а аппаратурные факторы установки RUKI 500 LR носят случайный характер. При этом отклонение ΔC или $\Delta C/C_0$ являются гауссовскими случайными величинами. Иными словами, они имеют Гауссов (нормальный) закон распределения вероятностей. Условие гауссовости выполняется почти, наверное, в связи с тем, что имеет место многообразие разноречивых факторов, влияющих на эти величины. Для дальнейших расчетов необходимо, как известно, задавать две характеристики нормального закона распределения вероятностей: стандартное (среднеквадратическое) отклонение отношения $\Delta C/C_0$, т.е. $\sigma_{\Delta C/C_0}$, или $\sigma_{\Delta C}$ и σ_{C_0} , а также средние значения этих величин, т.е. $E_{\Delta C/C_0}$, $E_{\Delta C}$, E_{C_0} . Для упрощения этого процесса целесообразно использовать зависимости упомянутых стандартных отклонений от соответствующих ошибок оценок $\Delta C/C_0$, ΔC , C_0 с учетом различных вероятностей попадания нормально распределенных случайных величин в заданные доверительные интервалы. Для учета случайного характера упомянутых выше величин в (13) вводится поправочный коэффициент α , зависящий от $\sigma_{\Delta C/C_0}$ и $E_{\Delta C/C_0}$. В результате соотношение (13) с учетом (14) и (15) будет иметь вид:

$$Q/Q_0 = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^2 \frac{1}{L} (A_i \alpha_i \ell_i)}{1 + F(B_1, B_0, \lambda_0, f_1, L, \ell_i)} \right]^{-1/2}, \quad (18)$$

де F – функция переменных $B_1, B_0, \lambda_0, f_1, L, \ell_i$; $i = 1, 2$ – номера участков МТ.

Используя соотношение (18), получаем результаты (таблица) оценки относительного значения объемного расхода НП для различных комбина-

ций $\sigma_{\Delta C/C_0}$ и $E_{\Delta C/C_0}$, а на рисунках 1...6 – соответствующие этим вариантам графики.

Таблица 1

Варианты расчета относительной производительности МТ

Значения параметров	Отношение Q/Q_0 при $C_1 = 3$ г/г, $C_2 = 3$ г/г		
	Вся длина МТ	Одна часть МТ	Две части МТ
$\Delta P_{cm} = 0$ $\sigma_{\Delta C/C_0} = 0$ $E_{\Delta C/C_0} = 0$	1,268	1,147	1,268
$\Delta P_{cm} \neq 0$ $\sigma_{\Delta C/C_0} = 0$ $E_{\Delta C/C_0} = 0$	1,21	1,12	1,20
$\Delta P_{cm} = 0$ $\sigma_{\Delta C/C_0} = 0$ $E_{\Delta C/C_0} = 0 \dots 0,2$	1,21	1,12	1,21
$\Delta P_{cm} \neq 0$ $\sigma_{\Delta C/C_0} = 0$ $E_{\Delta C/C_0} = 0 \dots 0,2$	1,17	1,1	1,17
$\Delta P_{cm} = 0$ $\sigma_{\Delta C/C_0} = 0 \dots 0,08$ $E_{\Delta C/C_0} = 0,2$	1,14	1,08	1,14
$\Delta P_{cm} \neq 0$ $\sigma_{\Delta C/C_0} = 0 \dots 0,08$ $E_{\Delta C/C_0} = 0,2$	1,11	1,06	1,10

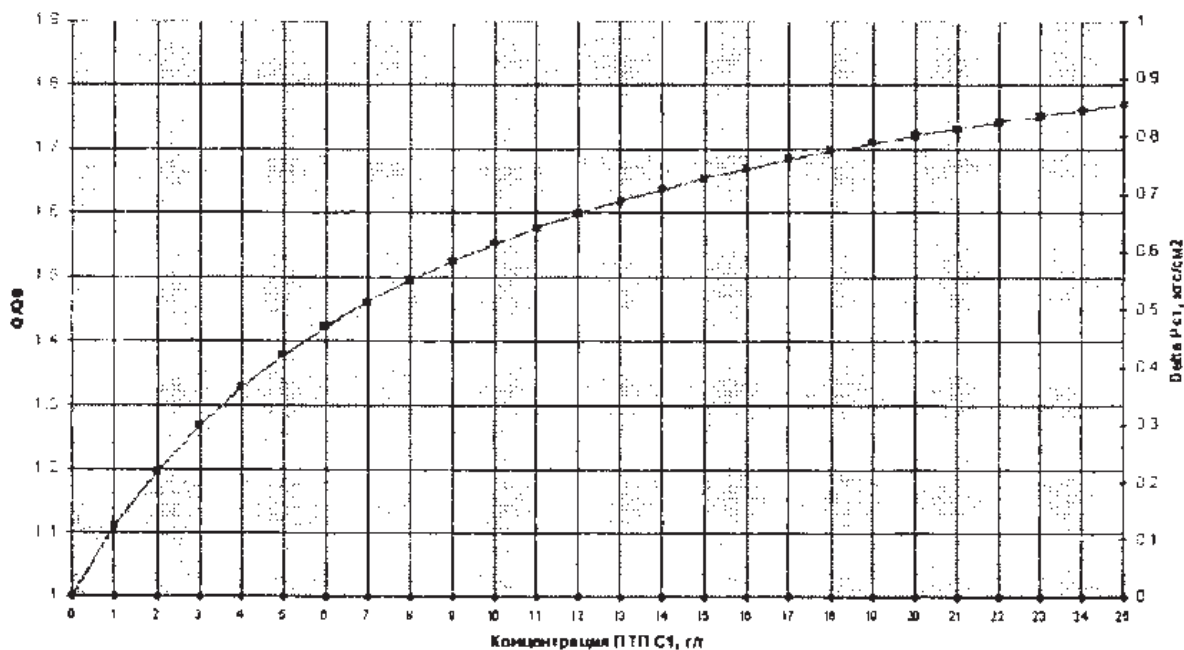


Рис. 1. Зависимость объемного расхода от концентрации ПТП ($\Delta P_{cm} = 0$)

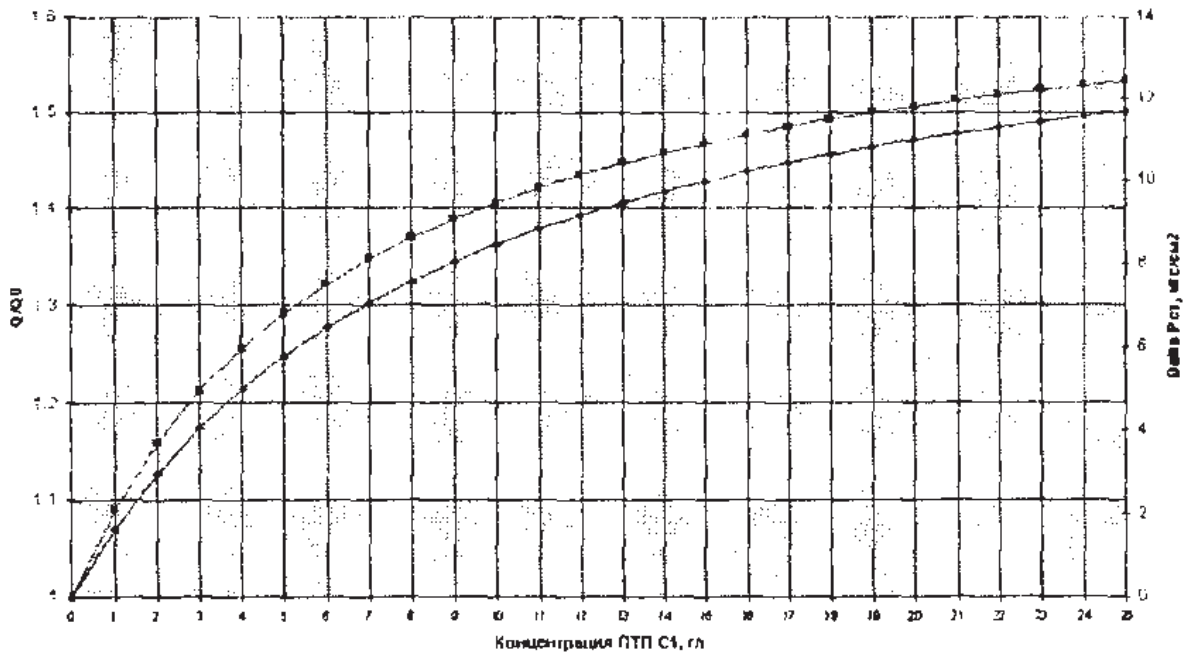


Рис. 2. Зависимость объемного расхода от концентрации ПТП ($\Delta P_{см} \neq 0$)

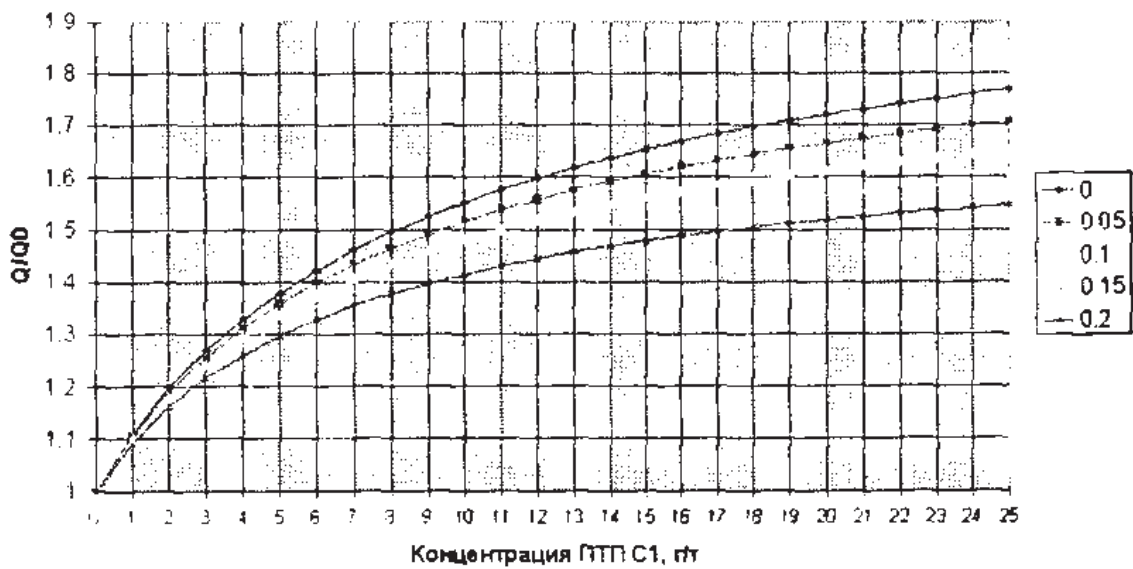


Рис. 3. Зависимость объемного расхода от концентрации ПТП при различных значениях среднего отклонения ($\Delta P_{см} = 0$)

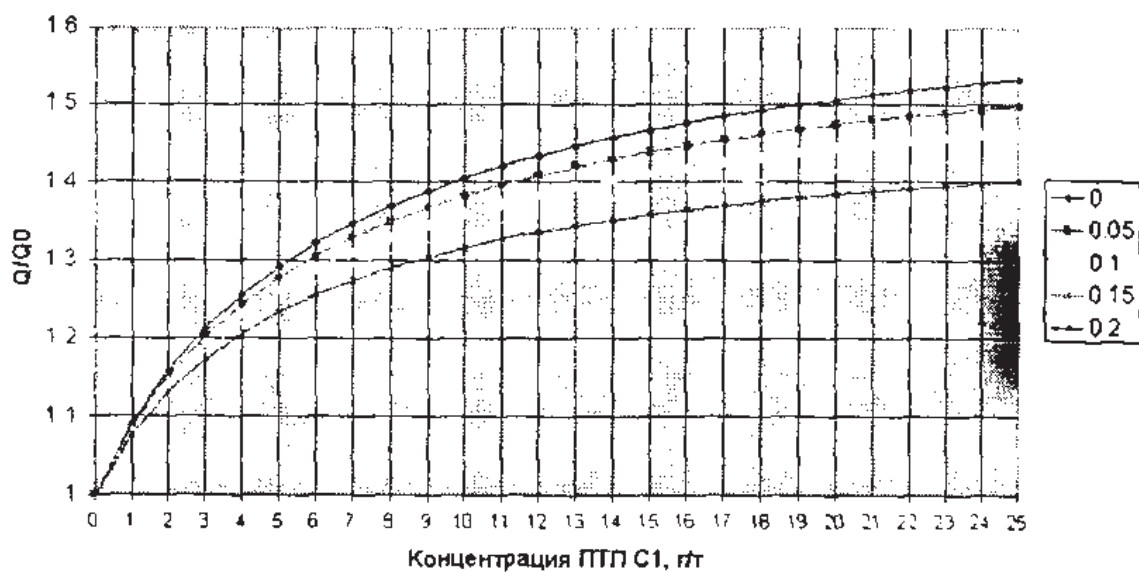


Рис. 4. Зависимость объемного расхода от концентрации ПТП при различных значениях среднего отклонения ($\Delta P_{см} \neq 0$)

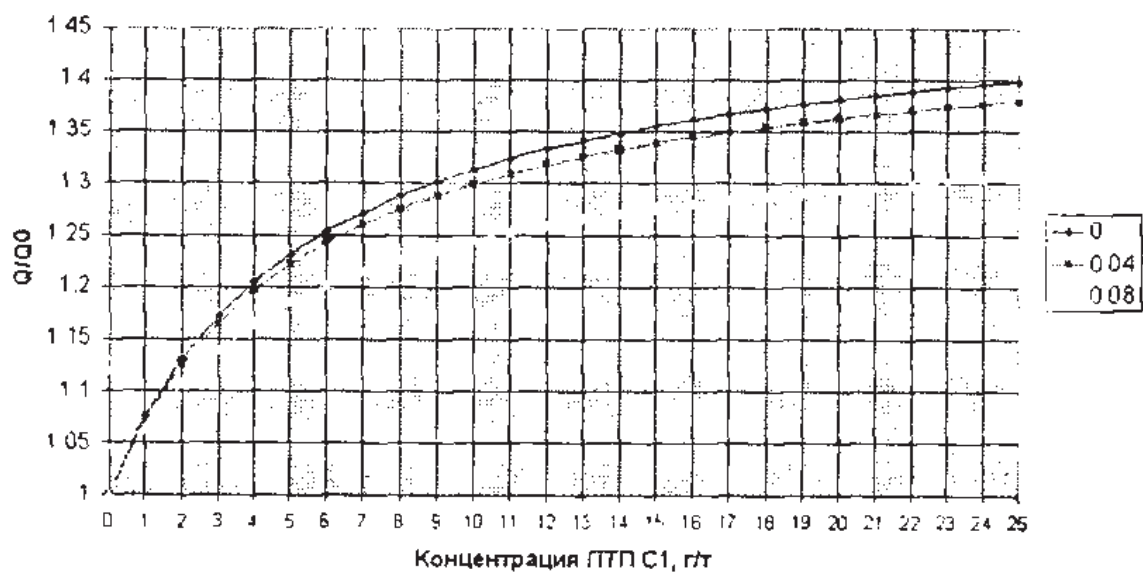


Рис. 5. Зависимость объемного расхода от концентрации ПТП при различных значениях стандартного отклонения ($\Delta P_{см} = 0$)

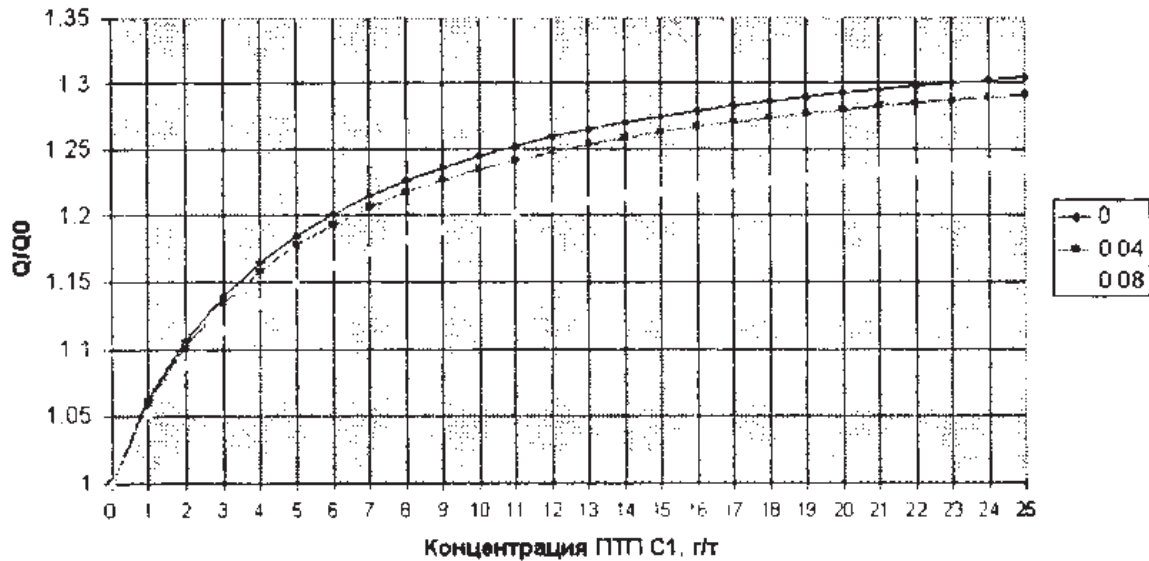


Рис. 6. Зависимость объемного расхода от концентрации ПТП при различных значениях стандартного отклонения ($\Delta P_{cm} \neq 0$)

Выводы

Показано, что наиболее предпочтительным вариантом с точки зрения получения наибольшего объемного расхода Q при прочих равных условиях является заполнение магистрального трубопровода нефтепродуктом с ПТП всей его длины. При этом требуется в 3 раза меньшее значение концентрации ПТП по сравнению с заполнением одной его части. Показано также, что отсутствие возможности компенсировать падение рабочего давления приводит к увеличению концентрации ПТП в 2...4 раза.

Заполнение 2-х частей МТ нефтепродуктом с ПТП, концентрация которой на каждом участке, например, постоянная, не дает увеличения объемного расхода по сравнению с вариантом заполнения нефтепродуктом с ПТП всей длины МТ. Однако этот вариант требует соответствующих расходов на установку и обслуживание дозирующей насосной установки на втором участке магистрального трубопровода.

Учет отдельных случайных параметров дозирующей насосной установки показывает, что по сравнению с ситуацией, когда они не учитываются, потенциальные значения объемного расхода снижаются в 1,1 раза, например для варианта заполнения нефтепродуктом с ПТП всей длины магистрального трубопровода.