МИНИСТЕРСТВО НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ВНИИСПТнефть
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР
УФИМСКИЙ НЕФТЯНОЙ ИНСТИТУТ

МЕТОДИКА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕКАЧКИ ВЯЗКИХ И ЗАСТЫВАЮЩИХ НЕФТЕЙ И НЕФТЕПРОДУКТОВ С РАЗБАВИТЕЛЕМ

РД 39-30-996-84

1984

gost.e-ecolog.ru

Министерство нефтяной промышленности

Всесоюзный научно-исследовательский институт по сбору, подготовке и транспорту нефти и нефтепродуктов

Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР

Уфимский нефтяной институт

УТВЕРЖДЕНА
первым заместителем
министра
В.И.Кремневым

29 декабря 1982 года

М Е Т О Д И К А

ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕКАЧКИ ВЯЗКИХ И ЗАСТЫВАЮЩИХ НЕФТЕЙ И НЕФТЕПРОДУКТОВ С РАЗБАВИТЕЛЕМ

РД 39-30-996-84

Уфа 1984

Методика позволяет рассчитать оптимальную технологию, наиболее соответствующую условиям перекачки, сложившимся в данной трубопроводной системе. Кроме того, в Методике рекомендованы способы рациональной организации работ по изучению влияния разбавителя и условий смешения на реологические свойства получаемых смесей.

Методика справедлива для нефтей и нефтепродуктов, обладающих при условиях перекачки ньютоновскими свойствами. С некоторым приближением она может быть использована и для неньютоновских нефтей и нефтепродуктов.

Рассмотренный в Методике круг задач по планированию и организации перекачки вязких и застывающих нефтей (нефтепродуктов) в смеси с разбавителем применим как при обычной перекачке, так и при перекачке с подогревом.

Методика разработана коллективом авторов Всесоюзного научно-исследовательского института по сбору, подготовке и транспорту нефти и нефтепродуктов (Р.Г.Исхаков) и Уфимского нефтяного института (Л.С.Абрамзон, П.И.Тугунов).

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

Методика выбора оптимальной технологии перекачки вязких и застывающих нефтей и нефтепродуктов с разбавителем

РД 39-30-996-84

Вводится впервые

Приказом Министерства нефтяной промышленности от 12.01.1984 г. № 39
Срок введения установлен с 01.03.84 г.
Срок действия до 01.03.89 г.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. По настоящей Методике должен проводиться выбор оптимальной технологии перекачки вязких и застывающих нефтей и нефтепродуктов на действующих магистральных трубопроводах, переводимых на перекачку с разбавителем.

I.2. Под разбавителем понимается любой агент (маловязкая жидкость, растворенный газ, депрессатор и др.), введение которого в перекачиваемую нефть (нефтепродукт) приводит к уменьшению ее вязкости.

I.3. Перекачка с разбавителем является одним из способов перекачки вязких и застывающих нефтей и нефтепродуктов, повышающих надежность и эффективность транспортировки их по магистральным трубопроводам.

Как правило, перекачка с разбавителем преимущественно может быть использована в следующих условиях:

а) при наличии эффективного и дешевого разбавителя;

б) при невозможности или затрудненности использования других способов перекачки вязких и застывающих нефтей или нефтепродуктов

(например, в районах с вечно-мерзлыми и болотистыми грунтами нецелесообразна перекачка с подогревом);

в) при подаче вязких и застывающих нефтей в трубопроводные системы с ограничениями на реологические свойства перекачиваемых нефтей и нефтепродуктов;

г) при наличии разветвленной сети магистральных нефте- и продуктопроводов, позволяющей рационализировать общую схему грузопотоков.

I.4. Перекачка с разбавителем может применяться в комбинации с другими способами улучшения транспортабельных свойств вязких и застывающих нефтей и нефтепродуктов. В настоящее время иногда используются комбинированные методы: например, разбавление и подогрев, разбавление и термообработка и др.

I.5. В зависимости от условий эксплуатации каждого конкретного трубопровода с помощью разбавителя могут быть достигнуты следующие цели:

а) доведение вязкости смеси до необходимой по условиям эксплуатации величины;

б) минимизация давления, потребного для перекачки заданного количества вязкой нефти или нефтепродукта;

в) максимизация количества перекачиваемой по трубопроводу вязкой нефти (нефтепродукта) при заданном допустимом давлении;

г) минимизация затрат мощности на перекачку заданного количества вязкой нефти или нефтепродукта;

д) минимизация затрат электро- и теплоэнергии на перекачку заданного количества вязкой нефти или нефтепродукта;

е) минимизация расходов на организацию перекачки вязкой или застывающей нефти (нефтепродукта) с разбавителем.

В Методике рекомендованы технологические параметры перекачки, обеспечивающие достижение указанных целей с учетом и без учета характеристики установленных на трубопроводе насосных агрегатов.

I.6. Расчет оптимальной технологии перекачки должен производиться на основе следующих зависимостей:

– для вязкости смеси

$$\nu_c = \nu_н e^{ak+bk^2} \qquad (1)$$

или

$$\nu_c = \nu_н \left(\frac{\nu_р}{\nu_н}\right)^k e^{bk(k-1)}, \qquad (2)$$

где ν_c – вязкость смеси с объемной концентрацией разбавителя

$$k = \frac{Q_р}{Q_н + Q_р}; \qquad (3)$$

$Q_р$ – объем разбавителя, перекачиваемый по трубопроводу в единицу времени; $Q_н$ – то же, вязкой нефти; $\nu_н$ – вязкость необработанной разбавителем вязкой нефти; $\nu_р$ – вязкость разбавителя; a и b – эмпирические коэффициенты

$$a = \ln\frac{\nu_р}{\nu_н} - b; \quad b = \frac{\ln\frac{\nu_{c_1}}{\nu_н} - k_1 \ln\frac{\nu_р}{\nu_н}}{k_1(k_1-1)}; \qquad (4)$$

ν_{c_1} – вязкость смеси при концентрации разбавителя k_1;
величина коэффициентов a и b может быть определена также по значению ν_{c_1}, вычисленному по одной из точных формул для расчета вязкости смеси, например, по формуле Вальтера;

- для потерь напора на трение

$$H=\beta\frac{Q_н^{2-m}\nu_н^{m}\ell}{D^{5-m}}\cdot\frac{e^{mk(a+bk)}}{(1-k)^{2-m}}+\sum_{i=0}^{2}a_i k^i=$$

$$=h_{нр}\frac{e^{mk(a+bk)}}{(1-k)^{2-m}}+\sum_{i=0}^{2}a_i k^i, \qquad (5)$$

где $h_{нр}$ - потери напора на трение, рассчитываемые для перекачки вязкой нефти при β и m - соответствующих режиму и зоне трения, устанавливающихся в трубопроводе при добавке разбавителя,

$$h_{нр}=\beta\frac{Q_н^{2-m}\nu_н^{m}\ell}{D^{5-m}}; \qquad (6)$$

β и m - коэффициенты Л.С.Лейбензона, зависящие от режима и зоны трения; a_i - эмпирические коэффициенты в зависимости, аппроксимирующей функцию влияния добавления разбавителя с объемной концентрацией k (в долях единицы) на величину необходимого напора в конце трубопровода (включая и разность нивелирных отметок конца и начала трубопровода);

- для затрат мощности на перекачку

$$N=\frac{Q_н\gamma}{\eta}\left[h_{нр}\frac{e^{mk(a+bk)}}{(1-k)^{3-m}}+\frac{1}{1-k}\sum_{i=0}^{2}a_i k^i\right], \qquad (7)$$

где η - к п д перекачивающих станций; γ - удельный вес смеси (принимается равным удельному весу нефти $\gamma_н$ независимо от концентрации разбавителя);

- для эксплуатационных расходов на перекачку и разбавление (в единицу времени)

$$\mathcal{P} = \frac{Q_н \gamma_н}{\eta}\left[h_{нр}\frac{e^{mk(a+bk)}}{(1-k)^{3-m}} + \frac{1}{1-k}\sum_{i=0}^{2} a_i k^i\right] C_э + \frac{k}{1-k} Q_н C_р \gamma_р , \qquad (8)$$

где $C_э$ - стоимость единицы электроэнергии; $C_р$ - стоимость единицы веса разбавителя с учетом затрат на приобретение, доставку, ввод, отделение и реализацию на конечном пункте за вычетом стоимости реализации (принята постоянной независимо от количества требующегося разбавителя); $\gamma_р$ - удельный вес разбавителя.

I.7. Рекомендуемые в настоящей Методике зависимости получены для нефтей и нефтепродуктов, обладающих при температуре перекачки ньютоновскими свойствами. Они могут быть использованы и для неньютоновских нефтей и нефтепродуктов. При этом, вместо кинематического коэффициента вязкости, в формулы следует подставлять кинематический коэффициент эффективной вязкости:

$$\nu_{эф} = \frac{\Delta p D}{32 \ell \rho \left[\frac{3Q}{\pi D^3} + \frac{\Delta p D}{\ell}\cdot\frac{d(Q/\pi D^3)}{d(\Delta p D/\ell)}\right]} , \qquad (9)$$

где D - внутренний диаметр трубопровода; Δp - перепад давлений на длине ℓ ; Q - расход смеси; ρ - плотность смеси.

Перепад давлений на длине ℓ , соответствующий расходу Q в трубе диаметром D , вычисляется общепринятыми методами в

зависимости от используемой модели реологического поведения нефти (нефтепродукта).

I.8. В дальнейшем тексте вязкие и застывающие нефти и нефтепродукты обозначаются для краткости словом "нефти", а смеси вязких и застывающих нефтей с разбавителем - словом "смеси".

2. ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СМЕСИ

2.I. Реологические свойства смеси, как правило, определяются реологическими и химическими свойствами нефти и разбавителя, концентрацией разбавителя K, температурой смешения разбавителя с нефтью t_c и температурой перекачки t_n.

Для заданной пары нефть - разбавитель реологические свойства смеси определяются тремя действующими факторами: K, t_c и t_n.

2.2. Исследование реологических свойств смеси должно быть проведено таким образом, чтобы зависимость свойств смеси от действующих факторов можно было получить достаточно точно с помощью минимального числа опытов. Постановка опытов при этом регламентируется методическими руководствами [1, 2].

2.3. Интервалы варьирования действующих факторов определяются условиями, сложившимися на трубопроводе, для которого изучаются реологические свойства смеси, и целями проведения исследований.

Так, при получении полной зависимости свойств смеси, концентрация разбавителя должна меняться от 0 до I. Пределы изменения температуры перекачиваемой смеси определяются минимальной температурой грунта и возможной максимальной температурой смеси, поступающей в начало трубопровода. Пределы изменения температуры смешения ограничиваются снизу минимальными температурами нефти и разбавителя, поступающими на пункт смешения, а сверху - I0°С

превышением над нижней эндотермической точкой нефти.

2.4. Обработка полученных опытных данных должна быть проведена в соответствии с уже упомянутыми методическими руководствами [1,2]. При обработке должно быть выявлено влияние каждого из факторов и учтены эффекты их взаимодействия. В окончательной зависимости, рекомендуемой для практического использования, должны быть оставлены лишь те факторы и члены, учитывающие их взаимодействие, которые существенно влияют на точность получаемых результатов по вязкости смеси.

2.5. В заключение должен быть проведен анализ полученной зависимости и выявлены условия смешения, приводящие к получению смеси с минимальной при условиях перекачки вязкостью.

Пример 2.1. Получить зависимость, описывающую вязкость смеси нефти и разбавителя с учетом влияния концентрации разбавителя, температуры смешения и температуры перекачки, если она должна описывать вязкость смеси в следующих пределах варьирования факторов:

$$0 \leqslant \kappa \leqslant 0{,}25;$$
$$10 \leqslant t_c \leqslant 40^{\circ}C;$$
$$5 \leqslant t_n \leqslant 35^{\circ}C.$$

Определяем средние значения уровня каждого фактора:

$$\bar{\kappa} = 0{,}5\,(\kappa_{min} + \kappa_{max}) = 0{,}5\,(0+0{,}25) = 0{,}125;$$
$$\bar{t}_c = 0{,}5\,(t_c^{min} + t_c^{max}) = 0{,}5\,(10+40) = 25^{\circ}C;$$
$$\bar{t}_n = 0{,}5\,(t_n^{min} + t_n^{max}) = 0{,}5\,(5+35) = 20^{\circ}C.$$

В соответствии с условиями оптимального планирования экспериментов каждый фактор должен варьироваться на уровнях: - 1,21; -1,0; 0; 1,0; 1,21. С учетом этого определяем шаг варьирования:

$$h_\kappa = \frac{\kappa_{max} - \bar{\kappa}}{1{,}21} = \frac{0{,}25 - 0{,}125}{1{,}21} = 0{,}1033,$$

а затем значения уровня фактора $\bar{K}$, соответствующие выбранным условным масштабам:

масштабу -I,2I соответствует значение $K_{min} = 0$;

масштабу- I,0 соответствует значение $K - h_K = 0,I25 - 0,I033 = 0,022$;

масштабу 0 соответствует значение $\bar{K} = 0,I25$;

масштабу I,0 соответствует значение $\bar{K} + h_K = 0,I25 + 0,I03 = 0,228$;

масштабу I,2I соответствует значение $K_{max} = 0,25$.

Результаты расчетов для других факторов приведены в табл. I.

Таблица I.

Уровни действующих факторов в условном и натуральном масштабах

Исследуемый фактор	Обозначение	Средний уровень фактора	Шаг варьирования	Значение уровней факторов				
				-I,2I	-I,0	0	I,0	I,2I
Концентрация разб.	K	0,I25	0,I033	0	0,02I7 0,I25		0,228	0,25
Тем-ра смешения, °С	t_c	25	I2,40	I0	I2,6	25	37,4	40
Тем-ра перекачки, °С	t_n	20	I2,40	5	7,6	20	32,4	35

В соответствии с рассчитанными уровнями планируется (см.табл. 2) и проводится эксперимент. Результаты опытного определения вязкости смеси в запланированном эксперименте приведены в табл.2.

Регрессионную зависимость, отображающую результаты эксперимента, будем искать в виде

$$\nu = exp(b_0 + b_1\kappa + b_2 t_c + b_3 t_n + b_{11}\kappa^2 + b_{22} t_c^2 + b_{33} t_n^2 + b_{12}\kappa t_c + b_{13}\kappa t_n + b_{23} t_c t_n).$$

Таблица 2.

Схема планирования и результаты эксперимента

Номер опыта	Уровни исследуемых факторов						Вязкость смеси
	В условном масштабе			В натуральном масштабе			
	κ	t_c	t_n	κ	t_c, °C	t_n, °C	ν, $\frac{мм^2}{с}$
I	-I	-I	-I	0,0217	I2,6	7,6	63,3
2	I	-I	-I	0,228	I2,6	7,6	I5,8
3	-I	I	-I	0,0217	37,4	7,6	63,3
4	I	I	-I	0,228	37,4	7,6	I5,8
5	-I	-I	I	0,0217	I2,6	32,4	20,6
6	I	-I	I	0,228	I2,6	32,4	7,4
7	-I	I	I	0,0217	37,4	32,4	20,6
8	I	I	I	0,228	37,4	32,4	7,4
9	-I,2I	0	0	0	25,0	20,0	39,3
I0	I,2I	0	0	0,25	25,0	20,0	8,6
II	0	-I,2I	0	0,I25	I0,0	20,0	I6,2
I2	0	I,2I	0	0,I25	40,0	20,0	I8,2
I3	0	0	-I,2I	0.I25	25,0	5,0	35,I
I4	0	0	I,2I	0,I25	25,0	35,0	I0,8
I5	0	0	0	0,I25	25,0	20,0	I6,2

Обработав результаты в соответствии с рекомендациями [2], получим b_0 = 4,765; b_1 =-7,822; b_2 = -0,00000046; b_3 = = 0,0629; b_{11} = I,965; b_{22} = 0,000000028; b_{33} = 0,0003920; b_{12} = 0,0000028; b_{13} = 0,07II6; b_{23} = незначимо.

Оценивая полученные результаты, видим, что фактор t_c (и все члены регрессии, связанные с ним) в данном случае не влияет на реологические свойства смеси. Следовательно, для исследуемой пары нефть-разбавитель условия смешения (t_c) можно не контролировать.

Окончательно, уравнение регрессии для исследуемой смеси примет вид:

$$\gamma = exp(4{,}765 - 7{,}822K - 0{,}0629 t_n + 1{,}965K^2 + 0{,}000392 t_n^2), \ \frac{мн^2}{с}.$$

В таком виде оно должно использоваться для проведения необходимых технологических расчетов.

3. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗБАВИТЕЛЯ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПО ДАННЫМ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.I. В пункте I.5 были перечислены цели, которых можно достичь с помощью разбавителя. Часть из них может быть использована при формулировании критериев, определяющих оптимальный режим выбранной технологии перекачки. В частности, могут быть сформулированы следующие критерии оптимальности (целевые функции).

3.I.I. Минимум расходов на перекачку и разбавление заданного количества вязкой нефти.

3.I.2. Минимум затрат энергии на подогрев и привод насосов для перекачки заданного количества вязкой нефти.

3.I.3. Минимум затрат мощности на перекачку заданного количества вязкой нефти.

3.I.4. Максимум перекачиваемой вязкой нефти при заданном допустимом давлении.

3.I.5. Минимум давления, необходимого для перекачки заданного количества вязкой нефти.

3.2. Перечисленным критериям оптимальности в определенных условиях перекачки удовлетворяет не всякий разбавитель. Предрасчетная оценка соответствия разбавителя заданным условиям перекачки и критерию оптимальности следует производить на основе выражений, приведенных в пункте 3.3.

3.3. Критерию 3.I.I. будет удовлетворять разбавитель, для которого при заданной температуре перекачки

$$\left.\begin{aligned} a &< 1 - \frac{3}{m} - \frac{c_p \gamma_p \eta}{c_э \gamma_н m h_{нр}} + \frac{a_o}{h_{нр}}; \\ b &> \ln\frac{\nu_p}{\nu_н} - 1 + \frac{3}{m} + \frac{c_p \gamma_p \eta}{c_э \gamma_н m h_{нр}} - \frac{a_o}{h_{нр}}. \end{aligned}\right\} \qquad (10)$$

где a и b – эмпирические коэффициенты в формуле (I) при температуре перекачки $t_п$; $\nu_н$ – вязкость нефти при температуре перекачки; $\nu_р$ – то же, разбавителя; m – коэффициент Л.С.Лейбензона, соответствующий режиму течения, устанавливающемуся в трубопроводе при использовании разбавителя; $c_р$ – стоимость единицы веса разбавителя с учетом затрат на приобретение, доставку, ввод, отделение и реализацию на конечном пункте за вычетом стоимости реализации; $c_э$ – стоимость единицы электроэнергии; $\gamma_р$ – удельный вес разбавителя; $\gamma_н$ – то же, нефти; $h_{нр}$ – потери напора на трение, рассчитываемые для перекачки вязкой нефти и β и m , соответствующим режиму и зоне трения, устанавливающимся в трубопроводе при добавке разбавителя (см.формулу (6) ; η – к.п.д. перекачивающей станции; a_o – эмпирический коэффициент в зависимости (3) при $i = 0$.

3.4. Критерию 3.I.3 будет удовлетворять разбавитель, для которого при заданной температуре перекачки

$$\left.\begin{aligned} a &< 1 - \frac{3}{m} + \frac{a_0}{h_{нр}}; \\ b &> \ln\frac{\nu_р}{\nu_н} - 1 + \frac{3}{m} - \frac{a_0}{h_{нр}}. \end{aligned}\right\} \qquad (11)$$

3.5. Критериям 3.I.4 и 3.I.5 будет удовлетворять разбавитель, для которого при заданной температуре перекачки

$$\left.\begin{aligned} a &< 1 - \frac{2}{m}; \\ b &> \ln\frac{\nu_р}{\nu_н} - 1 + \frac{2}{m}. \end{aligned}\right\} \qquad (12)$$

Пример 3.I. Оценить по критериям 3.I.3 и 3.I.5 эффективность использования разбавителя, свойства которого изучены в примере 2.I, если температура перекачки $t_п$ = I5°C, режим перекачки смеси – турбулентный в зоне гладкого трения; a_0 = 40 м; $h_{нр}$ = = 800 м.

В соответствии с реологическими исследованиями

$$\nu = \exp(4{,}765 - 7{,}822K - 0{,}0629\,t_п + 1{,}965K^2 + 0{,}000395\,t_п^2).$$

При температуре перекачки I5°C эту зависимость, представленную в виде (I) , можно переписать следующим образом:

$$\nu_c = 49{,}9\,e^{-7{,}822K + 1{,}965K^2},$$

т.е. $\nu_н = 49{,}9\ \frac{мм^2}{с}$; $a = -7{,}82$; $b = 1{,}965$.

Проверяем эффективность использования разбавителя по минимуму затрат мощности на перекачку:

$$1 - \frac{3}{m} + \frac{a_0}{h_{нр}} = 1 - \frac{3}{0{,}25} + \frac{40}{800} = -10{,}95 < a = -7{,}82.$$

т.е. для данной пары нефть-разбавитель ни при какой добавке разбавителя нельзя достичь минимальных затрат мощности на перекачку и лучше качать вязкую нефть без разбавителя.

Проверяем эффективность использования разбавителя для достижения минимума потерь напора на перекачку смеси:

$$1-\frac{2}{m}=1-\frac{2}{0{,}25}=-7>a=-7{,}822,$$

т.е. данная пара нефть-разбавитель позволяет подобрать такую концентрацию разбавителя, при которой можно достичь минимальных потерь напора (максимального количества перекачиваемой нефти).

3.6. Один и тот же разбавитель, как показывает пример, не позволяет достичь всех целей. Приведенные в настоящем параграфе способы предрасчетной оценки эффективности разбавления позволяют заранее произвести эту оценку.

4. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ПЕРЕКАЧКИ СМЕСЕЙ В ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

4.1. Важнейшей характеристикой режима перекачки смеси в изотермических условиях является оптимальная концентрация - т.е. такая концентрация разбавителя, при которой в заданных условиях эксплуатации достигается необходимый уровень (обычно экстремум) целевой функции.

4.2. Приводимые ниже формулы для расчета оптимальной концентрации разбавителя, как правило, выписаны в виде, справедливом для определения оптимальной концентрации в самых сложных условиях эксплуатации. В зависимости от конкретных условий эксплуатации, сложившихся на данном трубопроводе, формулы могут быть упрощены с учетом этих условий.

4.3. Для вывода формул, по которым определяется оптимальная концентрация, использованы выражения (I)- (8). При этом формулы для расчета оптимальной концентрации разбавителя приведены раздельно с учетом и без учета характеристики насосных агрегатов, установленных на трубопроводе.

4.4. Оптимальная концентрация разбавителя, позволяющая достичь в единицу времени минимума расходов на перекачку и разбавление без учета характеристики насосных агрегатов, рассчитывается по формуле:

$$\frac{[(1-k)(ma+2bk)+3-m]e^{mk(a+bk)}}{(1-k)^{2-m}} + \frac{1-k}{h_{нр}}\sum_{i=0}^{2} i a_i k^{i-1} +$$

$$+ \frac{1}{h_{нр}}\sum_{i=0}^{2} a_i k^{i} + \frac{\eta}{h_{нр}} \cdot \frac{c_p \gamma_p}{c_в \gamma_н} = 0, \qquad (13)$$

где условные обозначения приведены ранее.

4.5. Оптимальная концентрация разбавителя, позволяющая достичь минимальных затрат мощности на перекачку смеси без учета характеристики насосных агрегатов, рассчитывается по формуле:

$$\frac{[(1-k)(m+2bk)+3-m]e^{mk(a+bk)}}{(1-k)^{2-m}} + \frac{1-k}{h_{нр}}\sum_{i=0}^{2} i a_i k^{i-1} +$$

$$+ \frac{1}{h_{нр}}\sum_{i=0}^{2} a_i k^{i} = 0. \qquad (14)$$

4.6. Оптимальная концентрация разбавителя, позволяющая достичь минимума потерь при перекачке смеси (максимума количества перекачиваемой вязкой нефти) без учета характеристики насосных агрегатов, рассчитывается по формуле:

$$\frac{e^{mK(a+bK)}}{(1-K)^{3-m}}\left[(1-K)(ma+2bK)+2-m\right]+\sum_{i=0}^{2} i a_i K^{i-1}=0. \qquad (15)$$

Если разбавитель не требует повышения конечного давления то из (I5)получаем:

$$K=\frac{2b-a-\sqrt{(a-2b)^2-8b\left(1-a-\frac{2}{m}\right)}}{4b}. \qquad (16)$$

Расчет численного значения оптимальной концентрации по формулам(I3) - (I5)производится графоаналитическим методом или на ЭВМ по соответствующей программе.

Пример 4.I. Определить оптимальную концентрацию разбавителя для пары нефть-разбавитель с $a = -11{,}2$; $b = 5{,}0$, если нужно достичь минимума потерь напора на перекачку, режим движения турбулентный и разбавитель не требует повышения конечного давления.

В этом случае оптимальная концентрация разбавителя рассчитывается по формуле(I6):

$$K=\frac{2\cdot5{,}0-(-11{,}2)-\sqrt{(-11{,}2-2\cdot5{,}0)^2-8\cdot5{,}0\left[1-(-11{,}2)-\frac{2}{0{,}25}\right]}}{4\cdot5{,}0}=0{,}221,$$

т.е. в условиях примера оптимальная концентрация разбавителя будет составлять 22,I%.

4.7. Если движение разбавленной нефти при концентрации разбавителя $K = 0$ является ламинарным, и при добавлении разбавителя режим движения меняется, то оптимальная концентрация разбавителя будет соответствовать вязкости смеси, при которой

$$2300 = \frac{4 Q_н}{(1-K_c)\pi D v_н \exp(aK_c + bK_c^2)}. \qquad (17)$$

Оптимальная концентрация K_c, определяемая по формуле (17), должна быть не меньше оптимальной концентрации K_i, рассчитываемой в зависимости от выбранного критерия оптимальности и условий перекачки по одному из уравнений (13)-(17) при $m = 1$ и $m = 0{,}25$.

4.8. При переводе трубопровода на перекачку с разбавителем с использованием установленных насосных агрегатов целей, названных в пункте 1.5, достичь не удается. В этом случае применение разбавителя позволяет совместить характеристики трубопровода

$$h_{тр} = h_{нр} \frac{e^{mK(a+bK)}}{(1-K)^{2-m}} + \sum_{i=0}^{2} a_i K^i$$

и насосных станций

$$h = a_н + b_н \left(\frac{Q_н}{1-K}\right)^{2-m}$$

с минимальным (равным нулю) дросселированием.

Здесь $a_н$ и $b_н$ – коэффициенты в аппроксимационной зависимости напора насосных станций от их производительности при работе из насоса в насос; остальные обозначения приведены ранее.

Концентрация разбавителя, которая при заданном $Q_н$ обеспечит совмещение характеристик трубопровода и насосных агрегатов с дросселированием, равным нулю, определяется из уравнения

$$Q_н = (1-K)\left[h_{пр}\frac{e^{mK(a+bK)}}{b_н(1-K)^{2-m}} + \frac{1}{b_н}\sum_{i=0}^{2} a_i K^i - \frac{a_н}{b_н}\right]^{\frac{1}{2-m}}. \qquad (18)$$

Если концентрация разбавителя задана, то по уравнению (18) можно рассчитать расход нефти $Q_н$, соответствующий нулевому дросселированию.

5. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ПЕРЕКАЧКИ СМЕСЕЙ ПО СЛОЖНЫМ ТРУБОПРОВОДАМ

5.1. Результаты, полученные в параграфе 4, справедливы и для трубопроводов со вставками. При этом постоянные a и b нужно вычислять по приведенной длине $l_{пр}$ и приведенному диаметру трубопровода

$$l_{пр} = \frac{D_{пр}^{5-m_{пр}}}{\beta_{пр}\,\nu_c^{m_{пр}}}\sum_{i=1}^{n}\beta_i\frac{\nu_c^{m_i} l_i}{D_i^{5-m_i}}, \qquad (19)$$

где β и m – коэффициенты Л.С.Лейбензона; ν_c – вязкость смеси; l_i и D_i – длина и диаметр отдельных участков трубопровода; n – количество участков трубопровода с разным диаметром; индекс "пр" соответствует параметрам течения в трубе диаметром $D_{пр}$ при расходе $Q_c = Q_н/(1-K)$ с вязкостью ν_c; индекс "i" – соответствует параметрам течения в трубе диаметром D_i при расходе Q_c и вязкости ν_c.

5.2. Выбор оптимальной технологии перекачки нефти с разбавителем по двухниточному трубопроводу требует решения следующих задач:

а) перекачивать ли нефть с разбавителем по обоим трубопрово-

дам или по одному из них;

б) если выгодна перекачка по одному трубопроводу, то какой трубопровод выделить для перекачки смеси, а какой - для перекачки нефти;

в) как распределить нефть по трубопроводам, если известно количество разбавителя;

г) какова оптимальная концентрация разбавителя κ ?

Поставленные задачи должны быть решены для заданных условий эксплуатации на основе наиболее существенного в этих условиях критерия оптимальности. Методы решения этих задач, рекомендуемые в настоящей "Методике..." базируются на следующих уравнениях:

$$\mathcal{P} = c_э N + c_р Q_р ; \qquad (20)$$

$$N = \left[\beta_1 \nu_н^{m_1} \frac{Q_1^{3-m_1}}{D_1^{5-m_1}} + \beta_2 \nu_н^{m_2} e^{m_2 \kappa (a+b\kappa)} \frac{(Q_н - Q_1 + Q_р)^{3-m_2}}{D_2^{5-m_2}}\right] \frac{\ell \gamma}{\eta} +$$

$$+ \frac{Q_1 \Delta z \gamma}{\eta} + \frac{(Q_н - Q_1 + Q_р)\gamma}{\eta} \sum_{i=0}^{2} a_i \kappa^i ; \qquad (21)$$

$$H = \left[\beta_1 \nu_н^{m_1} \frac{Q_1^{2-m_1}}{D_1^{5-m_1}} + \beta_2 \nu_н^{m_2} e^{m_2 \kappa (a+b\kappa)} \cdot \frac{(Q_н - Q_1 + Q_р)^{2-m_2}}{D_2^{5-m_2}}\right] \ell +$$

$$+ \Delta z + \sum_{i=0}^{2} a_i \kappa^i , \qquad (22)$$

где $\mathcal{P}$ - суммарные расходы на разбавление и перекачку; $c_э$ - стоимость единицы энергии для привода насосов; N - мощность, требующаяся для перекачки; $c_р$ - стоимость единицы объема разбави-

теля с учетом затрат на его приобретение, доставку, ввод в нефть и отделение после перекачки за вычетом реализационной стоимости разбавителя на конечном пункте; $Q_р$ – объемный расход разбавителя; Q_1 – объемный расход нефти, перекачиваемой по первому трубопроводу; β и m – коэффициенты Л.С.Лейбензона; $\nu_н$ – вязкость нефти при температуре перекачки; D – внутренний диаметр трубопровода; a и b – коэффициенты в формуле для вязкости смеси в зависимости от объемной концентрации разбавителя в частях единицы; $Q_н$ – заданный расход вязкой нефти, подлежащий перекачке по обеим ниткам системы; ℓ – длина системы; γ – удельный вес нефти (смеси); η – коэффициент полезного действия насосных агрегатов; Δz – разность геодезических отметок конца и начала первого трубопровода; величины с индексом "I" относятся к трубопроводу для перекачки нефти, а с индексом "2" – к трубопроводу для перекачки смеси.

5.2.I. Количество нефти Q_1, перекачиваемое без разбавления, по критерию минимума напора, потребного для перекачки, определяется из уравнения:

$$\left[\beta_1 \nu_н^{m_1}(2-m)\frac{Q_1^{1-m_1}}{D_1^{5-m_1}} + \beta_2 \nu_н^{m_2}\frac{e^{m_2 k(a+bk)}}{D_2^{5-m_2}}\cdot\frac{(m_2-2)(Q_н-Q_1+Q_р)}{(Q_н-Q_1+Q_р)^{m_2}} + \right.$$

$$\left. + \frac{m_2 Q_р (a+2bk)}{(Q_н-Q_1+Q_р)^{m_2}}\right]\ell + \frac{\sum_{i=0}^{2} i a_i k^{i-1}}{Q_н-Q_1+Q_р} = 0. \qquad (23)$$

Для вычисления Q_1 задаемся величиной $Q_{1i} < Q_н$; рассчитываем Re_{1i}, Re_{2i}, m_{1i}, m_{2i}, β_{1i} и β_{2i}, а затем подсчитываем величину слагаемых в(23). Искомому значению Q_1 соответствует сумма слагаемых, равная нулю.

Если $Q_1 > 0$, то количество нефти Q_1 должно перекачиваться без разбавления по первому трубопроводу (по второму - соответственно $Q_н - Q_1 + Q_р$). Выбор трубопровода, по которому должна перекачиваться чистая нефть, осуществляется по минимуму H, рассчитываемому по уравнению (22). В это уравнение последовательно подставляются значения Q_1' (чистая нефть перекачивается по первому трубопроводу, а смесь - по второму) и Q_1'' (чистая нефть перекачивается по второму трубопроводу, а смесь - по первому).

5.2.2. Оптимальное количество разбавителя по критерию минимума напора, потребного для перекачки заданного количества нефти $Q_н$ определяется из совместного решения уравнений (23)' и (24):

$$\beta_2)_н^{m_2}\left(\frac{e^{m_2 K(a+bK)}}{D_2^{5-m_2}}\left[\frac{(2-m_2)(Q_н-Q_1+Q_р)+m_2(a+2bK)(Q_н-Q_1)}{(Q_н-Q_1+Q_р)^{m_2}}\right]+\right.$$

$$\left.+\frac{Q_н-Q_1}{(Q_н-Q_1+Q_р)^2}\sum_{i=0}^{2} i a_i K^{i-1}=0.\right. \qquad (24)$$

Графоаналитический расчет $Q_р$ из системы уравнений (23) - (24) производится следующим образом: по уравнению (23) строится зависимость между $Q_р$ и Q_1, а по уравнению (24) - зависимость между Q_1 и $Q_р$; зависимости накладываются друг на друга - точка их пересечения определит искомые $Q_р$ и Q_1.

5.2.3. Оптимальное распределение нефти и смеси по ниткам системы из условия возможности достижения максимального количества перекачиваемой по системе нефти $Q_н$ при заданном количестве разбавителя $Q_р$ определяется из решения системы уравнений(23) и (25)

$$\beta_2 \nu_н^{m_2} \ell \frac{e^{m_2 K(a+bK)}}{D_2^{5-m_2}} (Q_н - Q_1 + Q_р)^{2-m_2} \left[2 - m_2 - m_2 K(a + 2bK)\right] - \sum_{i=0}^{2} i a_i K^{i-1} = 0. \quad (25)$$

Графоаналитический расчет $Q_н$ из системы уравнений (23) и (25) производится следующим образом: по уравнению (23) определяем зависимость Q_1 ст $Q_н$, а по уравнению (25) – зависимость между $Q_н$ и Q_1; зависимости накладываются друг на друга – точка их пересечения определит искомые Q_1 и $Q_н$.

5.2.4. Количество нефти Q_1, перекачиваемое без разбавления по первому трубопроводу из условия минимума затрат мощности на перекачку при заданном $Q_н$, определяется по уравнению:

$$\left[\frac{\beta_1 \nu_н^{m_1} (3-m_1) Q_1^{2-m_1}}{D_1^{5-m_1}} + \frac{\beta_2 \nu_н^{m_2} (m_2-3)(Q_н - Q_1 + Q_р)^{2-m_2}}{D_2^{5-m_2}} \cdot e^{m_2 K(a+bK)} + m_2 K(a+2bK)\right] \ell + \Delta z + \sum_{i=0}^{2} (i-1) a_i K^i = 0. \quad (26)$$

Расчет Q_1 по уравнению (26) производится аналогично описанному в пункте 5.2.I. Так же производится и выбор трубопровода для перекачки неразбавленной нефти, только значения Q_1' и Q_1'' подставляются не в уравнение (22), а в уравнение (2I).

5.2.5. Оптимальное количество разбавителя и распределение вязкой нефти по трубопроводам, исходя из минимума энергозатрат

на перекачку, при заданном $Q_н$, определяется из решения системы уравнений (26) и (27):

$$\frac{\beta_2 \nu_н^{m_2} \ell}{D_2^{5-m_2}} e^{m_2 K(a+bK)} (Q_н - Q_1 + Q_р)^{1-m_2} \left[(3-m_2)(Q_н - Q_1 + Q_р) + \right.$$

$$\left. + m_2 (a+2bK)(Q_н - Q_1)\right] + \sum_{i=0}^{2} \left[K + i(Q_н - Q_1) a_i K^{i-1}\right] = 0. \quad (27)$$

Процедура расчета оптимальных Q_1 и $Q_р$ по уравнениям (26) и (27) аналогична описанной в пункте 5.2.2.

5.2.6. Количество нефти Q_1 перекачиваемое без разбавления по критерию минимума расходов на перекачку при заданных $Q_н$ и $Q_р$ определяется из уравнения

$$\ell \left[\beta_1 \nu_н^{m_1} (3-m_1) \frac{Q_1^{2-m_1}}{D_1^{5-m_1}} + \beta_2 \nu_н^{m_2} (Q_н - Q_1 + Q_р)^{2-m_2} \frac{e^{m_2 K(a+bK)}}{D_2^{5-m_2}} \cdot \right.$$

$$\left. \left(m_2 - 3 + m_2 K(a+2bK)\right)\right] + \Delta z + \sum_{i=0}^{2} (i-1) a_i K^i = 0. \quad (28)$$

Расчет Q_1 по уравнению (28) производится аналогично описанному в пункте 5.2.I. Так же производится и выбор трубопровода для перекачки неразбавленной нефти, только значения Q_1' и Q_1'' подставляются не в уравнение (22), а в уравнение(20).

5.2.7. Оптимальное количество разбавителя и распределение вязкой нефти по трубопроводам, исходя из минимума расходов на перекачку, при заданном $Q_н$, определяется из решения систем уравнений (28) и (29):

$$\beta_2 \nu_н^{m_2} \ell \frac{e^{m_2 k(a+bk)}}{D_2^{5-m_2}} (Q_н - Q_1 + Q_р)^{1-m_2} [(3-m_2)(Q_н - Q_1 + Q_р) +$$

$$+ m_2 (a+2bk)(Q_н - Q_1)] + \sum_{i=0}^{2} [k + i(Q_н - Q_1)] a_i k^{i-1} + \frac{c_р \eta}{c_э \delta} = 0. \quad (29)$$

Процедура расчета оптимальных Q_1 и $Q_р$ по уравнениям (28) и (29) аналогична описанной в пункте 5.2.2.

5.2.8. Изменение критерия оптимальности существенно влияет на результаты расчетов, поэтому выбор критерия оптимальности для заданных условий эксплуатации должен быть тщательно обоснован.

5.2.9. Если трубопроводов больше двух, то вместо диаметра в расчетные формулы следует подставлять приведенный диаметр группы параллельных трубопроводов.

Пример 5.1. Определить оптимальное количество нефти Q_1, перекачиваемой без смешения по системе трубопроводов D_1 = 600 мм и D_2 = 700 мм, если длина системы ℓ = 202,6 км; $Q_н$ = 10,5 млн. т/год; $Q_р$ = 0,35 млн.т/год; $\nu_н$ = 90 $мм^2/с$; a = -14,0; b = 8,0; Δz = 0; в качестве критерия оптимальности выбран критерий минимума напора, потребного на перекачку.

Подставив приведенные данные в уравнение (23) и действуя по схеме, описанной в пункте 5.2.1, получим Q_1 = 2,75 млн.т/год. Таким образом, если 2,75 млн.т/год нефти перекачивать по трубопроводу диаметром 600 мм, а остальные 6,75 млн.т/год в смеси с 0,35 млн.т/год разбавителя – по трубопроводу диаметром 700 мм, то общий напор, требующийся для перекачки будет минимальным.

5.3. Выбор технологии перекачки нефти с разбавителем в системе, представляющей собой звезду (к головной насосной станции (ГНС) магистрали подходят два подводящих трубопровода: один с нефтью, другой с разбавителем), заключается в правильном опреде-

лении метода и производительностей откачки нефти и разбавителя, поступающих на ГНС.

Этот выбор осуществляется по следующим уравнениям:
если режим перекачки разбавителя и смеси турбулентный, то

$$\left(\frac{55D^2\nu_р + Q_п\Delta}{55D^2\nu_с + Q_п\Delta}\right)^{0,25} = 1 + \frac{13,75\bar{Q}_н D^2\nu_с\bar{\tau}(a+2bк)}{(\bar{\tau}-1)(55D^2\nu_с + Q_п\Delta)}; \quad (30)$$

если режим перекачки разбавителя турбулентный, а смеси -ламинарный, то

$$2,19\cdot10^{-3}\frac{Q_п}{D\nu_с}\left(\frac{55D\nu_р}{Q_п} + \frac{\Delta}{D}\right)^{0,25} - \bar{Q}_н(a+2bк)\frac{\bar{\tau}}{\bar{\tau}-1} = 1; \quad (31)$$

если режим перекачки разбавителя и смеси ламинарный, то

$$\frac{\nu_р}{\nu_с} - \bar{Q}_н\frac{\bar{\tau}}{\bar{\tau}-1}(a+2bк) = 1, \quad (32)$$

где D – внутренний диаметр магистрали; $\nu_р$ и $\nu_с$ – соответственно кинематические коэффициенты вязкости разбавителя и смеси с объемной концентрацией разбавителя

$$\left.\begin{aligned} к &= \bar{Q}_р - \frac{\bar{Q}_н}{\bar{\tau}-1}; \\ \bar{Q}_р &= \frac{Q_р}{Q_п}; \quad \bar{Q}_н = \frac{Q_н}{Q_п}; \quad \bar{\tau} = \frac{T_ц}{\tau_н}; \end{aligned}\right\} \quad (33)$$

a и b – коэффициенты в формуле для вязкости смеси

$$\nu_с = \nu_н e^{ак + bк^2}, \quad (34)$$

$\tau_н$ – время перекачки разбавителя с расходом $Q_п$ (в оставшееся время $T_ц - \tau_н$ с расходом $Q_п$ перекачивается смесь нефти с разбавителем); $T_ц = Ч/Ц$ – продолжительность цикла; $Ц$ – число циклов (определяется емкостью, имеющейся на ГНС); $Ч$ – плановое время

функционирования трубопровода в году; $Q_р$, $Q_н$ и $Q_п$ – соответственно подача в единицу времени разбавителя, нефти на ГНС и плановая откачка смеси по трубопроводу.

Значение $\bar{\tau}$ из уравнений (30) - (32) находится графоаналитическим методом с использованием уравнений (33) и (34). Найденное решение должно быть проверено на ограничение - для полученного $\bar{\tau}$ потребный напор при перекачке смеси H не должен превышать допустимого потребного напора $H_д$. Если это ограничение не соблюдается, то выбирается величина $\bar{\tau}$, удовлетворяющая равенству $H = H_д$.

Пример 5.2. На головную станцию нефтепровода длиной 250 км диаметром 300 мм подается разбавитель ($\bar{Q}_р$ = 0,7) и вязкая нефть ($\bar{Q}_н$ = 0,3), откачиваемые со станции с производительностью $Q_п$ = 360 м^3/ч. При температуре перекачки - $\nu_н$ = 100 $\frac{мм^2}{с}$; a = = -4,0; b = 1,5; Δ = 0,2 мм. Найти относительное время перекачки разбавителя $1/\bar{\tau} = \tau_н / T_ц$, обеспечивающее минимальные энергозатраты на перекачку нефти и разбавителя в цикле.

а) Рассчитаем режим течения нефти с производительностью $Q_п$:

$$Re_н = \frac{4 Q_п}{\pi D \nu_н} = \frac{4 \cdot 360 \cdot 10^6}{3600 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}3 \cdot 100} = 4250,$$

следовательно, расчеты нужно вести по уравнению (30).

б) Задаваясь различными значениями $\bar{\tau}$, находим корень уравнения (30) $\bar{\tau} = \infty$.

Следовательно, $\tau_н$ = 0, и в данном случае выгоднее закачивать в трубопровод нефть и разбавитель с теми же производительностями, с какими они поступают на ГНС.

5.4. Выбор технологии перекачки нефти в разветвленных системах трубопроводов должен осуществляться на основе расчетов в соответствии со значимым для изучаемой системы критерием оптималь-

ности. В виду разнообразия систем выбор оптимальной технологии по единой для всех систем формуле не может быть произведен. Расчетная формула для изучаемой системы должна быть получена на основе единого метода, суть которого состоит в нахождении экстремума целевой функции дифференцированием критерия оптимальности по искомому параметру технологии перекачки и приравниванием производной нулю.

Пример 5.3. Рассчитать оптимальную технологию перекачки в системе трубопроводов, представленной на рис.I. Система должна обеспечить поставку планового количества нефти на НПЗ № I (Q_{n_1}) и на НПЗ № 2 (Q_{n_2}) при подаче с промыслов № I - $Q_{н_1}$ и № 2 - $Q_{н_2}$. Нефтепромысел № I дает вязкую и маловязкую нефти, причем вязкая нефть составляет долю x от всей добычи промысла № I.

Наиболее значимым критерием оптимальности для данной системы является минимум расходов на перекачку. При определении оптимальной технологии перекачек в системе будем учитывать только расходы на перекачку по трубопроводам l_2, l_3 и l_5, так как в действующей системе остальные затраты останутся примерно одинаковыми для всех технологических вариантов.

Обозначив вязкости вязкой нефти промысла № I, маловязкой нефти промысла № I и нефти промысла № 2 соответственно через $\gamma_в$, $\gamma_м$ и $\gamma_к$, долю вязких нефтей промысла № I, поставляемую на НПЗ № I, через y, долю маловязких нефтей промысла № I, поставляемую на НПЗ № I, через $y_м$, получим следующее выражение для расходов на перекачку, считая перекачку непрерывной:

$$P = \left[\frac{yx Q_{н_1} H_в \gamma}{\eta} t_в + \frac{y_м (1-x) Q_{н_1} H_м \gamma}{\eta} t_м + \frac{x(1-y) Q_{н_1} H'_в \gamma}{\eta} t'_в + \right.$$

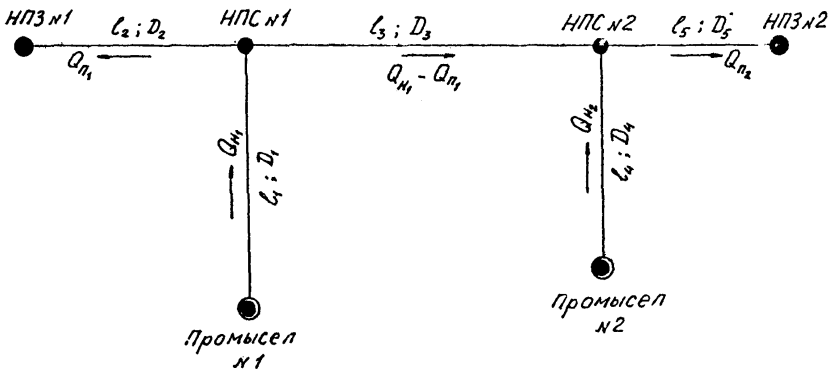

Рис. I. Схема сети нефтепроводов

$$+\frac{(1-x)(1-y_м)Q_{н_1}H'_м\gamma}{\eta}t'_м\Big]C_1+\Big\{\frac{[Q_{н_2}+x(1-y)Q_{н_1}]H''_в\gamma}{\eta}t''_в+$$

$$+\frac{[Q_{н_2}+(1-y_м)(1-x)Q_{н_1}]H''_м\gamma}{\eta}t''_м\Big\}C_2, \qquad (35)$$

где η – коэффициенты полезного действия насосных агрегатов, одинаковые для обеих НПС вне зависимости от вязкости перекачиваемой нефти; γ – удельные веса нефтей (приняты одинаковыми); C_1 и C_2 – соответственно стоимости единицы энергии на привод насосов на НПС № I и № 2;

$$t_в=\frac{yxQ_{н_1}\gamma}{Q_{п_1}};\quad t_м=\frac{y_м(1-x)Q_{н_1}}{Q_{п_1}}\gamma=\gamma-t_в=\Big(1-\frac{yxQ_{н_1}}{Q_{п_1}}\Big)\gamma.$$

откуда

$$\frac{y_м(1-x)Q_{н_1}}{Q_{п_1}}=1-\frac{yxQ_{н_1}}{Q_{п_1}};$$

$$t'_в=t''_в=\frac{(1-y)xQ_{н_1}\gamma}{Q_{п_2}-Q_{н_2}};\quad t'_м=t''_м=\frac{(1-y_м)(1-x)Q_{н_1}\gamma}{Q_{п_2}-Q_{н_2}}=$$

$$=\gamma-t'_в=\gamma\Big(1-\frac{t'_в}{\gamma}\Big)=\gamma\Big[1-\frac{(1-y)xQ_{н_1}}{Q_{п_2}-Q_{н_2}}\Big],$$

откуда

$$\frac{(1-y_м)(1-x)Q_{н_1}}{Q_{п_2}-Q_{н_2}}=1-\frac{(1-y)xQ_{н_1}}{Q_{п_2}-Q_{н_2}};$$

$$H_в=\beta\frac{(yxQ_{н_1})^{2-m}\nu_в^m l_2}{D_2^{5-m}}+\Delta z_1;$$

$$H_м = \beta \frac{[\gamma_м (1-x) Q_{н_1}]^{2-m} \nu_м^m \ell_2}{D_2^{5-m}} + \Delta z_1 ;$$

$$H_б' = \beta \frac{[(1-y) x\, Q_{н_1}]^{2-m} \nu_б^m \ell_3}{D_3^{5-m}} + \Delta z_{1-2} ;$$

$$H_м' = \beta \frac{[(1-\gamma_м)(1-x) Q_{н_1}]^{2-m} \nu_м^m \ell_3}{D_3^{5-m}} + \Delta z_{1-2} ;$$

$$H_б'' = \beta \frac{[Q_{н_2} + (1-y) x\, Q_{н_1}]^{2-m} \nu_{сб}^m \ell_5}{D_5^{5-m}} + \Delta z_2 ;$$

$$H_м'' = \beta \frac{[Q_{н_2} + (1-\gamma_м)(1-x) Q_{н_1}]^{2-m} \nu_{см}^m \ell_5}{D_5^{5-m}} + \Delta z_2 ;$$

$$\nu_{сб} = \nu_к \exp(a_б K_б + b_б K_б^2); \quad \nu_{см} = \nu_к \exp(a_м K_м + b_м K_м^2);$$

$$K_б = \frac{(1-y) x\, Q_{н_1}}{Q_{н_2}} ; \quad K_м = \frac{(1-\gamma_м)(1-x) Q_{н_1}}{Q_{н_2}} ;$$

$\mathcal{Y}$ – время работы системы в году; Δz_1 – разность отметок НПЗ № I и НПС № I; Δz_{1-2} – разность отметок НПС № 2 и НПС № I; Δz_2 – разность отметок НПЗ № 2 и НПС № 2; t_i^j – время работы на соответствующем режиме; $a_б$ и $b_б$ – эмпирические постоянные в формуле (34), характеризующие смесь вязкой нефти промысла № I с нефтью промысла № 2; $a_м$ и $b_м$ – то же, для смеси маловязкой нефти промысла № I с нефтью промысла № 2.

Подставим полученные выражения в уравнение (35), продиф-

ференцируем результат по y и приравняем производную нулю. Получим следующее уравнение для нахождения оптимального значения y :

$$\frac{c_1}{c_2}\left\{Q_{n_1}^{2-m}\left[\frac{\nu_в^m l_2}{D_2^{5-m}}\left(yx\frac{Q_{н_1}}{Q_{n_1}}\right)^{3-m}-\frac{\nu_м^m l_2}{D_2^{5-m}}\left(1-yx\frac{Q_{н_1}}{Q_{n_1}}\right)^{3-m}\right]+\right.$$

$$+\frac{2\Delta z_1}{\beta(4-m)}\left(2yx\frac{Q_{н_1}}{Q_{n_1}}-1\right)+\left(Q_{n_2}-Q_{н_2}\right)^{2-m}\left[\frac{\nu_м^m l_3}{D_3^{5-m}}\left(1-\frac{(1-y)xQ_{н_1}}{Q_{n_2}-Q_{н_2}}\right)-\right.$$

$$-\frac{\nu_в^m l_3}{D_3^{5-m}}\left(\left(1-y\right)x\frac{Q_{н_1}}{Q_{n_2}-Q_{н_2}}\right)^{3-m}\Bigg]+\left[1-\frac{2(1-y)xQ_{н_1}}{Q_{n_2}-Q_{н_2}}\right]\frac{2\Delta z_2}{\beta(4-m)}\Bigg\}-$$

$$-\frac{\nu_к^m l_5}{D_5^{5-m}}Q_{n_2}^{2-m}\exp\left[a_в m(1-y)x\frac{Q_{н_1}}{Q_{n_2}}+b_в m(1-y)^2x^2\left(\frac{Q_{н_1}}{Q_{n_2}}\right)^2\right]\cdot$$

$$\cdot\left[\frac{Q_{н_2}}{Q_{n_2}}+(1-y)x\frac{Q_{н_1}}{Q_{n_2}}\right]^{3-m}\cdot\left\{1+\frac{m}{4-m}\cdot\frac{Q_{n_2}}{xQ_{н_1}}\left[\frac{Q_{н_2}}{Q_{n_2}}+\frac{Q_{н_2}(1-y)}{Q_{n_2}}\right]a_в x\frac{Q_{н_1}}{Q_{n_2}}+\right.$$

$$\left.+2b_в(1-y)x^2\left(\frac{Q_{н_1}}{Q_{n_2}}\right)^2\right\}-\frac{2\Delta z_2}{\beta(4-m)}\left[\frac{2Q_{н_2}}{Q_{n_2}}+2(1-y)x\frac{Q_{н_1}}{Q_{n_2}}-1\right]+$$

$$+\frac{\nu_к^m l_5 Q_{n_2}^{2-m}}{D_5^{5-m}}\exp\left[a_м m\left(1-(1-y)x\frac{Q_{н_1}}{Q_{n_2}}\right)+b_м m\left(1-(1-y)x\frac{Q_{н_1}}{Q_{n_2}}\right)^2\right]\cdot$$

$$\cdot\left[1-\frac{Q_{н_2}}{Q_{n_2}}(1-y)x\right]^{3-m}\cdot\left\{1+\frac{m}{4-m}\cdot\frac{Q_{n_2}}{xQ_{н_1}}\left[1-\frac{Q_{н_2}}{Q_{n_2}}-(1-y)x\frac{Q_{н_1}}{Q_{n_2}}\right]\cdot\right.$$

$$\left.\cdot\left[a_м x\frac{Q_{н_1}}{Q_{n_2}}+2b_м\left(1-(1-y)x\frac{Q_{н_1}}{Q_{n_2}}\right)x\frac{Q_{н_1}}{Q_{n_2}}\right]\right\}. \qquad (36)$$

Несмотря на громоздкость, уравнение (36) легко решается графоаналитически. Например, для условий: $x = 0{,}32$; $Q_{н_1} = 0{,}0431$ м^3/с; $Q_{н_2} = 0{,}0328$ м^3/с; $Q_{н_3} = 0{,}0107$ м^3/с; $Q_{п_1} = 0{,}0210$ м^3/с; $\nu_в = 21 \cdot 10^{-6}$ м^2/с; $\nu_н = 10{,}2 \cdot 10^{-6}$ м^2/с; $\nu_к = 121{,}5 \cdot 10^{-6}$ м^2/с; $c_1 = c_2$; $l_2 = 211500$ м; $l_3 = 274000$ м; $l_5 = 227000$ м; $D_2 = D_3 = 0{,}3$ м; $a_в = -2{,}40$; $a_н = -3{,}74$; $b_в = 0{,}654$; $b_н = 1{,}265$; $\Delta z_1 = -41$ м; $\Delta z_{к2} = 250$ м; $\Delta z_2 = -60$ м; $m = 0{,}25$,- величина оптимального значения y , рассчитанная по уравнению (36), равна 0,26. Таким образом, 26% вязких нефтей промысла № 1 следует направлять на НПЗ № 1, а остальные 74% - на НПЗ № 2. Только в этом случае затраты на перекачку нефтей в системе будут минимальными.

6. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ПЕРЕКАЧКИ СМЕСЕЙ С УЧЕТОМ ОТЛОЖЕНИЙ ПАРАФИНА

6.1. Если опытным путем установлено, что используемая пара нефть-разбавитель вызывает при перекачке интенсивное отложение парафина на стенках трубопровода, то выбор оптимальной технологии перекачки должен производиться с учетом этого обстоятельства.

6.2. Парафинизация, вызываемая разбавителем, как правило, характеризуется следующим: толщина смолопарафиновых отложений по длине постоянна; вязкость смеси по длине трубопровода не меняется; темп роста отложений не зависит от времени перекачки; количество парафина, отложившегося на единице длины, составляет

$$П = \rho K^{\upsilon} e^{SK} \tau, \qquad (37)$$

где ρ, υ, S - коэффициенты, определяемые при опытных перекачках обратным расчетом по формуле (39) ; τ - время накопления отложений (например, время между двумя пропусками скребка); K - объемная концентрация разбавителя в смеси

$$K = \frac{Q_p}{Q_н + Q_p}; \qquad (38)$$

$Q_н$ – расход перекачиваемой нефти; Q_p – то же разбавителя.

6.3. Расчет оптимальной технологии перекачки должен производиться на основе следующих зависимостей:

– для вязкости смеси – (I. ;

– для потребного напора

$$H = \beta \frac{Q_н^{2-m} \nu_н^m e^{mK(a+bK)} \ell}{(1-K)^{2-m} D^{5-m} (1-2B\tau)^{\frac{5-m}{2}}} + \sum_{i=0}^{2} a_i K^i; \qquad (39)$$

– для затрат мощности на перекачку

$$N = \frac{Q_н \gamma_н}{(1-K)\eta} \left[\frac{h_{нр} e^{mK(a+bK)}}{(1-K)^{2-m}(1-2B\tau)^{\frac{5-m}{2}}} + \sum_{i=0}^{2} a_i K^i \right]; \qquad (40)$$

– для эксплуатационных расходов

$$P = C_c \frac{\mathcal{Y}}{\tau} + \frac{C_э Q_н \gamma_н \mathcal{Y}}{(1-K)\eta} \left[\frac{h_{нр} e^{mK(a+bK)}}{(1-K)^{2-m}(1-2B\tau)^{(5-m)/2}} + \right.$$

$$\left. + \sum_{i=0}^{2} a_i K^i \right] + C_p Q_н \mathcal{Y} \frac{K}{1-K}, \qquad (41)$$

где $\gamma_п$ – удельный вес смолопарафиновых отложений; $\gamma_н$ – то же, нефти и смеси; $h_{нр} = \beta \frac{Q_н^{2-m} \nu_н^m \ell}{D^{5-m}}$ при β и m, соответствующих режиму с оптимальным K; $B = \frac{2\rho K^v e^{sK}}{\pi \gamma_п D^2}$; $\mathcal{Y}$ – – время работы трубопровода за год; C_c – стоимость одного пропуска скребка, включая затраты на его амортизацию и реализацию вынесенного скребком парафина; $C_э$ – стоимость единицы электроэнергии; C_p – стоимость единицы объема разбавителя с учетом его приобретения, доставки, ввода в нефть, отделения и реализации на конечном пункте.

6.4. Оптимальную концентрацию разбавителя, позволяющую перекачать заданное количество нефти $Q_н$ с наименьшими потерями на трение при фиксированном времени накопления отложений τ, следует рассчитывать по формуле

$$(1-2B\tau)\left[m(a+2bK)(1-K)-m+2\right]-B\tau\left(\frac{V}{K}+S\right)(1-K)(m-5)+$$

$$+\frac{(1-K)^{5-m}(1-2B\tau)^{\frac{7-m}{2}}}{h_{нр}\,e^{mK(a+bK)}}=0. \qquad (42)$$

6.5. Оптимальную концентрацию разбавителя, позволяющую перекачать заданное количество нефти $Q_н$ с наименьшими затратами мощности на перекачку при фиксированном времени накопления отложений τ, следует рассчитывать по формуле

$$\frac{h_{нр}\,e^{mK(a+bK)}}{(1-K)^{2-m}(1-2B\tau)^{\frac{7-m}{2}}}\left\{(1-2B\tau)\left[(1-K)m(a+2bK)+3-m\right]-\right.$$

$$\left.-B\tau\left(\frac{V}{K}+S\right)(1-K)(m-5)\right\}+(1-K)\sum_{i=0}^{2} i a_i K^{i-1}+\sum_{i=0}^{2} a_i K^{i}=0. \qquad (43)$$

6.6. Оптимальную концентрацию разбавителя, позволяющую перекачать заданное количество нефти $Q_н$ с наименьшими расходами на перекачку при фиксированном времени накопления отложений τ, следует рассчитывать по формуле

$$\frac{h_{нр}\,e^{mK(a+bK)}}{(1-K)^{2-m}(1-2B\tau)^{\frac{7-m}{2}}}\left\{(1-2B\tau)\left[(1-K)m(a+2bK)+3-m\right]-B\tau\left(\frac{V}{K}+\right.\right.$$

$$\left.\left.+S\right)(1-K)(m-5)\right\}+\frac{c_p\eta}{c_э\gamma_н}+(1-K)\sum_{i=0}^{2} i a_i K^{i-1}+\sum_{i=0}^{2} a_i K^{i}=0. \qquad (44)$$

6.7. Оптимальный период между пропусками скребка τ при заданных $Q_н$ и $Q_р$, дающий минимальные расходы на перекачку,

разбавление и пропуск скребка, следует рассчитывать по формуле

$$A\tau^2(1-2B\tau)^{\frac{m-1}{2}} = \frac{C_c}{C_э}, \qquad (45)$$

где

$$A = \frac{h_{нр} Q_н \gamma_н B(5-m)}{\eta(1-\kappa)^{3-m}} e^{m\kappa(a+b\kappa)}.$$

6.8. Оптимальные концентрации разбавителя и период между пропусками скребка при заданном $Q_н$, позволяющие минимизировать эксплуатационные расходы, следует рассчитывать из совместного решения уравнений (44) и (45).

Пример 6.1. Определить оптимальную концентрацию разбавителя по критерию минимума потерь на трение, если $\nu_н = 250 \frac{мм^2}{с}$; $a = -11{,}2$; $b = 5{,}0$; $V = 2$; $S = -10$; $2p/(\pi\gamma_н D^2) = 1 \cdot 10^{-4}$ 1/о; $\tau = 10^5$ о; $\Delta z = 0$.

Задаваясь различными значениями κ, вычисляем величины левой и правой части уравнения (42). Значение $\kappa = 0{,}191$ соответствует одинаковой величине левой и правой частей уравнения. Оно и будет оптимальным.

Пример 6.2. Определить оптимальный период между пропусками скребка, если $A = 3{,}0$ Дж/с^2; $B = 1 \cdot 10^{-8}$ 1/с; $C_c = 180$ руб.; $C_э = 6 \cdot 10^{-9}$ руб/Дж; $C_р = 0$.

Определяем величину $C_c/C_э = 180 : 6 \cdot 10^{-9} = 3 \cdot 10^{10}$ Дж. Задаемся несколькими значениями τ и вычисляем для них величину левой части уравнения (45). Значение $\tau = 1{,}01 \cdot 10^5$ с(28ч), которое делает левую часть уравнения (45) равной $3 \cdot 10^{10}$Дж, будет соответствовать оптимальному периоду между пропусками скребка.

7. ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ И ВЫБОР ЭФФЕКТИВНОГО НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

7.1. При организации перекачки смеси с использованием ранее установленного на трубопроводе насосного оборудования следует произвести предварительную оценку его пригодности для эффективной перекачки нефти с разбавителем.

7.2. Оценка пригодности ранее установленного насосного оборудования проводится по двум факторам.

Необходимо, во-первых, чтобы

$$b_н < - \frac{\beta \nu_м^m l (ma + 2 - m)}{(2-m) D^{5-m}}, \qquad (46)$$

где $a_н$ и $b_н$ - коэффициенты в аппроксимационной зависимости напора насосов от их производительности

$$H_н = a_н - b_н \left(\frac{Q_н}{1-K}\right)^{2-m}; \qquad (47)$$

β и m - коэффициенты Л.С.Лейбензона; l - длина трубопровода; D - его внутренний диаметр; a и b - эмпирические коэффициенты в зависимости вязкости смеси от вязкости нефти и объемной концентрации разбавителя K в частях единицы; $Q_н$ - количество нефти, подлежащее перекачке в единицу времени.

Во-вторых, нужно, чтобы в точке пересечения кривой потребного напора и характеристики насосов

$$\frac{dH}{dQ} > \frac{dH_н}{dQ}, \qquad (48)$$

где H - напор, потребный для перекачки смеси по трубопроводу; H - напор насосных агрегатов; Q - расход смеси.

7.3. При организации перекачки смеси с установкой новых насосных агрегатов выбор последних следует осуществлять обычным образом по требуемым значениям H и Q. Кроме этого, в рабочей

точке должно соблюдаться условие (48).

7.4. Коэффициенты в общей характеристике насосных агрегатов следует рассчитывать по следующим формулам в зависимости от способа их соединения:

при последовательном соединении

$$a_н = \sum_{j=1}^{n} a_{нj} ; \quad b_н = \sum_{j=1}^{n} b_{нj} ; \qquad (49)$$

при параллельном соединении

$$a_н = a_{нj} ; \quad b_н = \frac{b_{нj}}{n^{2-m}} ; \qquad (50)$$

где j - номер агрегата; n - количество насосов;

при последовательно-параллельном соединении

$$a_н = \sum_{k=1}^{l} a_{нk} ; \quad b_н = \sum_{k=1}^{l} \frac{b_{нj}}{n^{2-m}} \qquad (51)$$

где l - число групп последовательно работающих насосов; k - номер группы последовательно работающих насосов; n - число насосов в группе, работающих параллельно.

8. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ "ГОРЯЧЕЙ" ПЕРЕКАЧКИ СМЕСЕЙ

8.1. Расчет оптимальной технологии "горячей" перекачки смесей должен производиться на основе следующих зависимостей:

- для вязкости смеси

$$\nu = \nu_{но} \exp\left[ck\left(1 - \frac{t - t_0}{t_1 - t_0}\right) + dk^2\left(1 - \frac{t - t_0}{t_1 - t_0}\right) - u(t - t_0)\right]; \qquad (52)$$

- для напора, потребного при перекачке

$$H = \frac{h_{нр} e^{mk(c + dk)}}{Ja\,(1 - k)^{3-m}} \Delta_r \left[Ei(f_н) - Ei(f_н \theta_к)\right] + \sum_{i=0}^{2} a_i k^i ; \qquad (53)$$

- для затрат мощности на перекачку

$$N = \frac{G_н}{(1-K)\eta}\left\{\frac{h_{нр}\, e^{m_K(c+dK)}}{Ja\,(1-K)^{3-m}}\,\Delta_r\left[Ei(f_н)-Ei(f_н\theta_K)\right]+\right.$$

$$\left.+\sum_{i=0}^{2} a_i K^i\right\}; \qquad (54)$$

- для эксплуатационных расходов на перекачку, подогрев и разбавление

$$\mathcal{P} = \frac{c_э G_н}{(1-K)\eta}\left\{\frac{h_{нр}\, e^{m_K(c+dK)}}{Ja\,(1-K)^{3-m}}\,\Delta_r\left[Ei(f_н)-Ei(f_н\theta_K)\right]+\right.$$

$$\left.+\sum_{i=0}^{2} a_i K^i\right\}+\frac{c_р G_н K}{\gamma(1-K)}+\frac{c_т n G_н c_{эр}(T_н - T_к)}{(1-K)}; \qquad (55)$$

- для допустимой конечной температуры в зависимости от концентрации разбавителя

$$T_к = \sum_{i=0}^{2} S_i K^i, \qquad (56)$$

где $\nu_{н0}$ - кинематический коэффициент вязкости нефти при $t = t_0$; c и d - коэффициенты аппроксимационной зависимости вязкости смеси от концентрации разбавителя при $t = t_0$; K - объемная концентрация разбавителя в смеси нефти с разбавителем; t - текущая температура смеси; t_0 - температура грунта на глубине заложения оси трубопровода в ненарушенном тепловом состоянии; t_r - температура, при которой добавление присадки практически не изменяет реологических свойств смеси; u - коэффициент крутизны вискограммы нефти; $h_{нр}$ - потери на трение на перегоне между пунктами подогрева при изотермическом течении с температурой t_0 (но β и m соответствуют режиму с оптимальной концентрацией разбавителя)

$$h_{нр} = \beta \frac{G_н^{2-m} \gamma_{но}^{m} \ell}{\gamma_{но}^{2-m} D^{5-m}};$$

$G_н$ – весовой расход нефти; ℓ – расстояние между пунктами подогрева; Δ_r – поправка на неизотермичность по радиусу трубопровода;

$$Ja = \frac{h \pi D \ell}{G_н c_{эф}}; \quad f_н = \frac{m T_н}{t_о - t_1} [u(t_1 - t_о) + ck + dk^2] =$$

$$= \frac{m T_к e^{(1-к) Ja}}{t_о - t_1} [u(t_1 - t_о) + ck + dk^2];$$

$\theta_к = \frac{t_н - t_о}{t_н - t_о} e^{-(1-к) Ja}$ – безразмерная конечная температура на перегоне между пунктами разогрева; $t_н$ – начальная температура на перегоне между пунктами разогрева; $t_к$ – конечная температура на перегоне между пунктами подогрева; $T = t_н - t_о$; $T_к = t_к - t_о$; a_i – эмпирические коэффициенты в формуле, выражающей связь необходимого конечного напора с концентрацией разбавителя; s_i – то же, для допустимой конечной температуры в зависимости от концентрации разбавителя; h – полный коэффициент теплоотдачи от смеси в грунт при температуре $t_{ср} = 0{,}5 (t_н + t_к)$; $C_{эф}$ – эффективная теплоемкость смеси с учетом скрытой теплоты плавления; $C_э$ – стоимость единицы электроэнергии; $C_р$ – стоимость единицы объема разбавителя с учетом затрат на приобретение, доставку, ввод, отделение и реализацию разбавителя за вычетом стоимости его реализации; $C_т$ – стоимость единицы тепловой энергии.

8.2. Оптимальную концентрацию разбавителя, позволяющую достичь минимума расходов на перекачку, подогрев и разбавление заданного количества нефти $G_н$, следует рассчитывать по формуле: при заданной начальной температуре нефти $T_н$ –

$$\frac{n h_{нр} \Delta_r e^{mк(c+dк)}}{Ja (1-к)^{2-m}} \left\{ [m(c+2dк) + \frac{4-m}{1-к}] \cdot [Ei(f_н) - Ei(f_к)] + \right.$$

$$+\frac{c+2dK}{cK+dK^2+uT_1}(e^{t_н}-e^{t_к})-Jae^{t_н}\Big\}+(1-K)\sum_{i=0}^{2}ia_iK^{i-1}+\sum_{i=0}^{2}a_iK^i+$$

$$+\frac{c_p\eta}{c_э\gamma}+\frac{c_т}{c_э}nc_{эф}\eta T_н\Big\{1-e^{-(1-K)Ja}[1+(1-K)Ja]\Big\}=0; \quad (57)$$

при заданной конечной температуре $T_к$ -

$$\frac{nh_{нр}\Delta_p e^{mK(c+dK)}}{Ja(1-K)^{2-m}}\Big\{\Big[m(c+2dK)+\frac{4-m}{1-K}\Big]\cdot[Ei(f_н)-Ei(f_к)]+$$

$$+\frac{c+2dK}{cK+dK^2+uT_1}(e^{t_н}-e^{t_к})-Jae^{t_н}\Big\}+(1-K)\sum_{i=0}^{2}ia_iK^i+\sum_{i=0}^{2}a_iK^i+$$

$$+\frac{c_p\eta}{c_э\gamma}+\frac{c_т}{c_э}\eta nc_{эф}T_к\Big\{[1-(1-K)Ja]e^{(1-K)Ja}-1\Big\}=0; \quad (58)$$

при конечной температуре, рассчитываемой по уравнению (8.5), -

$$\frac{nh_{нр}\Delta_p e^{mK(c+dK)}}{Ja(1-K)^{2-m}}\Big\{\Big[m(c+2dK)+\frac{4-m}{1-K}\Big]\cdot[Ei(f_н)-Ei(f_к)]+$$

$$+\Big(\frac{c+2dK}{cK+dK^2+uT_1}+\frac{\sum_{i=0}^{2}iS_iK^{i-1}}{\sum_{i=0}^{2}S_iK^i}\Big)(e^{t_н}-e^{t_к})-Jae^{t_н}\Big\}+\sum_{i=0}^{2}a_iK^i+$$

$$+(1-K)\sum_{i=0}^{2}ia_iK^{i-1}+\frac{c_p\eta}{c_э\gamma}+n\eta c_{эф}\frac{c_т}{c_э}\Big\{[1-Ja(1-K)]e^{Ja(1-K)}-1+$$

$$+(1-K)(e^{Ja(1-K)}-1)\frac{\sum_{i=0}^{2}iS_iK^{i-1}}{\sum_{i=0}^{2}S_iK^i}\Big\}\sum_{i=0}^{2}S_iK^i=0. \quad (59)$$

8.3. Оптимальную концентрацию разбавителя, позволяющую достичь минимума затрат мощности на перекачку заданного количества нефти $G_н$ следует рассчитывать по формуле:

при заданной начальной температуре нефти $T_н$ - (57) с под-

становкой $C_т = C_р = 0$;

при заданной конечной температуре нефти $T_к$ – (58) с подстановкой $C_т = C_р = 0$;

при конечной температуре, рассчитываемой по уравнению (56) (59) с подстановкой $C_т = C_р = 0$.

8.4. Оптимальную концентрацию разбавителя, позволяющую достичь минимума напора, потребного для перекачки смеси с заданным количеством нефти $G_н$ или максимума количества перекачиваемой нефти при заданном допустимом напоре, следует рассчитывать по формуле:

при заданной начальной температуре нефти $T_н$ –

$$\frac{n h_{нр} \Delta_r e^{mк(c+dк)}}{Ja(1-к)^{3-m}} \left\{ \left[m(c+2dк) + \frac{3-m}{1-к} \right] \cdot \left[Ei(f_н) - Ei(f_к) \right] + \right.$$

$$\left. + \frac{c+2dк}{cк+dк^2+uT_1} \left(e^{f_н} - e^{f_к} \right) - Jae^{f_к} \right\} + \sum_{i=0}^{2} i a_i к^{i-1} = 0;$$

при заданной конечной температуре нефти $T_к$ – (60)

$$\frac{n h_{нр} \Delta_r e^{mк(c+dк)}}{Ja(1-к)^{3-m}} \left\{ \left[m(c+2dк) + \frac{3-m}{1-к} \right] \cdot \left[Ei(f_н) - Ei(f_к) \right] + \right.$$

$$\left. + \frac{c+2dк}{cк+dк^2+uT_1} \left(e^{f_н} - e^{f_к} \right) - Jae^{f_к} \right\} + \sum_{i=0}^{2} i a_i к^{i-1} = 0; \quad (61)$$

при конечной температуре, определяемой формулой (58) –

$$\frac{n h_{нр} \Delta_r e^{mк(c+dк)}}{Ja(1-к)^{3-m}} \left\{ \left[m(c+2dк) + \frac{3-m}{1-к} \right] \cdot \left[Ei(f_н) - Ei(f_к) \right] + \left(e^{f_н} - e^{f_к} \right) \cdot \right.$$

$$\left. \cdot \left(\frac{c+2dк}{cк+dк^2+uT_1} + \frac{\sum_{i=0}^{2} i S_i к^{i-1}}{\sum_{i=0}^{2} S_i к^i} \right) - Jae^{f_к} \right\} + \sum_{i=0}^{2} i a_i к^{i-1} = 0. \quad (62)$$

8.5. При заданных количествах нефти и разбавителя и отсутствии ограничений на конечную температуру смеси на перегоне оптимальную температуру нагрева следует определять по принципу В.С.Яблонского (на основе равенства затрат на подогрев и перекачку смеси на первой и последней единицах длины перегона между пунктами подогрева).

8.6. При заданном количестве перекачиваемой нефти и отсутствии ограничений на конечную температуру смеси оптимальные концентрации разбавителя и температура нагрева смеси должны определяться в следующем порядке. Задаваясь различными концентрациями разбавителя в смеси K_i, для каждой из них по принципу В.С.Яблонского следует найти оптимальную температуру нагрева. Полученные результаты подставляют в формулу (55), вычисляют по ней расходы на перекачку, подогрев и разбавление P_i при различных концентрациях разбавителя и соответствующим им значениям оптимальной температуры. Далее строят график зависимости расходов P от концентрации разбавителя. Минимальные расходы определяют оптимальную концентрацию разбавителя (см. рис.2) и соответствующую ей оптимальную температуру нагрева смеси (см.рис.3).

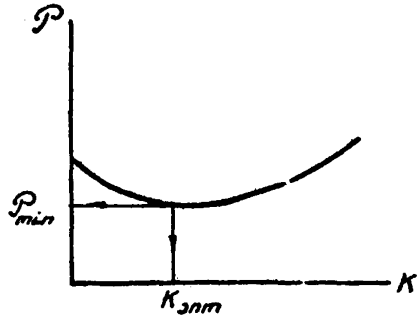

Рис. 2. К определению оптимальной концентрации разбавителя

Рис. 3 следует строить на основе результатов, полученных на первом этапе расчетов, связанном с использованием принципа В.С.Яблонского для каждого из выбранных значений K_i.

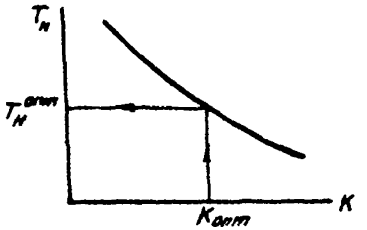

Рис. 3. К определению оптимальной температуры нагрева смеси

9. ПОДГОТОВКА ОБЪЕКТОВ ТРУБОПРОВОДА ДЛЯ ПЕРЕКАЧКИ ВЯЗКИХ И ЗАСТЫВАЮЩИХ НЕФТЕЙ И НЕФТЕПРОДУКТОВ В СМЕСИ С РАЗБАВИТЕЛЕМ

9.1. Перевод трубопровода на перекачку нефти с разбавителем требует предварительного проведения следующих организационно-технических мероприятий:

- осуществение очистки и специализации резервуаров;
- организация учета и регулирования расходов нефти и разбавителя;
- реконструкция объектов трубопровода в соответствии с физико-химическими свойствами разбавителя и смеси;
- реконструкция насосно-силового хозяйства трубопровода.

9.2. Резервуары, выделяемые под разбавитель, должны быть очищены от нефти и парафино-смолистых отложений. Дыхательная арматура, приборы замера и противопожарное оборудование резервуаров должны соответствовать физико-химическим свойствам разбавителя в максимальной степени, допускаемой конструкцией резервуара.

В необходимых случаях должны быть смонтированы новые резервуары, отвечающие условиям хранения разбавителей с высокой упругостью паров, или проведены мероприятия по снижению потерь от испарения разбавителя из резервуаров, выделенных для его хранения.

Емкость резервуаров, предназначенных для хранения разбавителя, должна быть не менее двух-трехсуточного объема закачки разбавителя в трубопровод. Количество резервуаров должно обеспечивать учет поставляемого и откачиваемого разбавителя и подготовку его перед перекачкой (если это необходимо).

9.3. На головной нефтеперекачивающей станции (НПС) должен быть смонтирован узел учета и регулирования, предназначенный для определения объема закачиваемого в нефть разбавителя и регулирования его расхода в зависимости от количества и свойств перекачиваемой нефти и от целей, поставленных перед персоналом трубопровода в разные периоды эксплуатации.

Необходимо также иметь узел учета и регулирования количества нефти, закачиваемой в трубопровод.

Узлы учета и регулирования должны быть обеспечены счетчиками с дистанционной передачей показаний в диспетчерскую и автоматическими регуляторами с изменяемой уставкой, а также сигнализацией, оповещающей персонал об отклонениях от установленного режима перекачки. При ламинарном режиме перекачки смеси на головной НПС должен быть смонтирован также узел смешения нефти с разбавителем.

9.4. Реконструкция объектов трубопровода сводится к реконструкции оборудования НПС и линейной части.

Если добавление разбавителя вызывает парафинизацию стенок трубопровода, для обеспечения пропуска серии очистных устройств на НПС должны быть реконструированы камеры пуска и приема скреб-

ков, организован их пропуск с расчетной периодичностью, а также приняты меры по утилизации смоло-парафиновых отложений, выносимых скребками из трубопровода.

В зданиях насосных должна быть реконструирована вентиляционная система с тем, чтобы она смогла обеспечить воздухообмен, и имела бы конструкцию, необходимую в соответствии с изменившимися физико-химическими и токсикологическими свойствами перекачиваемых смеси и разбавителя.

Для обеспечения полного и равномерного смешения разбавителя с перекачиваемой нефтью должны быть сделаны дополнительные врезки от напорной линии агрегатов, подкачивающих разбавитель, в приемный трубопровод подпорных агрегатов основной насосной, либо (если не соблюдаются условия предотвращения кавитации подпорных насосов) в напорный трубопровод подпорных агрегатов.

На промежуточных НПС и НПС, разделяющих эксплуатационные участки, там, где производится перекачка через резервуар и с подключенным резервуаром, следует провести, если необходимо, мероприятия, уменьшающие потери от испарения.

Линейная часть трубопровода должна быть подготовлена к беспрепятственному пропуску скребков. Для этого следует провести пробные пуски скребка, проверить и реконструировать все выявившиеся при этом места, вызывающие задержку скребков. Необходимо также провести осмотр и профилактический ремонт линейных задвижек, оставив их после этого полностью открытыми.

9.5. Для закачки разбавителя в нефть на головной НПС должны быть установлены дополнительные насосные агрегаты.

В случае необходимости должны быть заменены подпорные и магистральные насосы с тем, чтобы их характеристика соответствовала

планируемым режимам перекачки нефти с разбавителем. С этой же целью там, где это возможно, следует поставить сменные роторы с необходимой для перекачки характеристикой. Подпорные и основные насосные агрегаты должны быть оборудованы торцевыми уплотнениями.

IO. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕКАЧКОЙ СМЕСЕЙ

IO.I. При управлении перекачкой смеси нефти с разбавителем диспетчер обязан соблюдать режимы перекачки, максимально соответствующие целям, поставленным на текущий период руководством трубопровода.

IO.2. В соответствии с поставленными целями диспетчер должен выбрать отвечающий им критерий оптимальности из тех, что перечислены в пункте 3.I.

IO.3. В зависимости от выбранного критерия оптимальности и условий эксплуатации трубопровода диспетчер должен рассчитать оптимальные параметры режима перекачки ($K_{опт}$, $t_{н.опт}$ и т.п.) по формулам, приведенным в параграфах 4–6 и 8 или по другим вспомогательным материалам, составленным на основе выбранных формул. Для выполнения расчетов может быть использована соответствующая ЭВМ.

Пример IO.I. Рассчитать, пользуясь номограммой (рис. 4.), потери на трение и потребный напор при перекачке $Q_н$ = I400 м^3/час нефти в смеси с I0% разбавителя по трубопроводу с Δz = 67 м, D = 720 мм, и L = I05,0 км. Режим перекачки – турбулентный в зоне гладкого трения. Вязкость смеси при температуре перекачки составляет 2I $\frac{мм^2}{с}$.

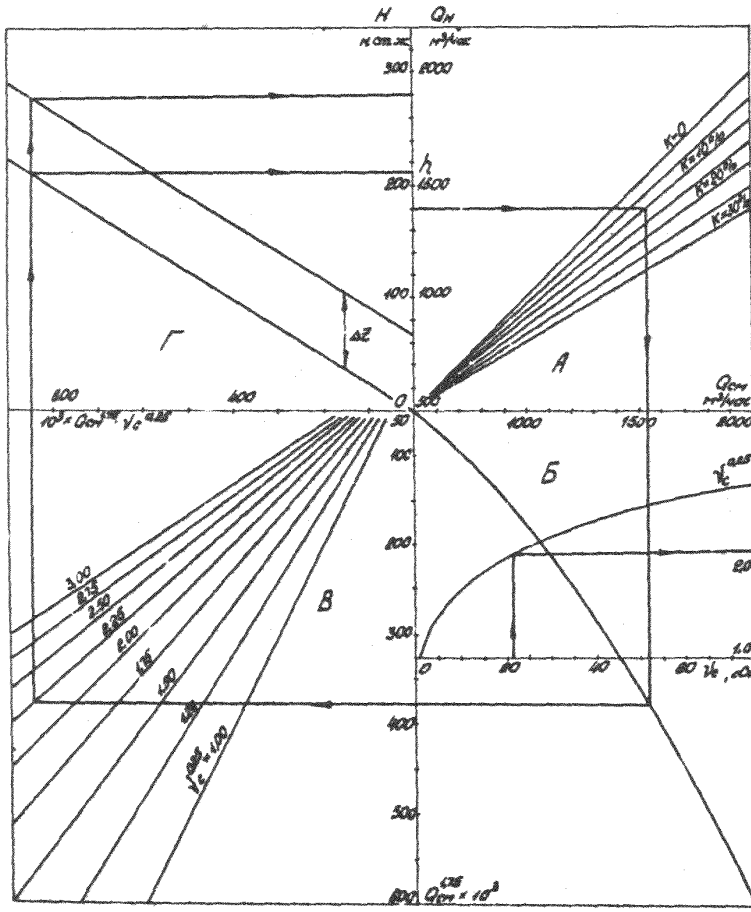

Рис.4. Номограмма для расчета параметров перекачки нефти с разбавителем.

Порядок расчета: а) В квадранте Б по вспомогательной номограмме определяем $\nu^{0,25}$; порядок определения ясен из рисунка; $\nu^{0,25} = 2,25\ (\frac{мм^2}{с})^{0,25}$.

б) Проводим горизонталь от заданного значения $Q_н$ = 1400 $м^3$/час до пересечения в квадранте А с лучом K = 10%.

в) От точки пересечения опускаем вертикаль до пересечения со вспомогательной кривой в квадранте Б.

г) От точки пересечения вертикали со вспомогательной кривой в квадранте Б проводим горизонталь до пересечения с лучом $\nu_c^{0,25} = 2,25$ в квадранте В.

д) От точки пересечения горизонтали с лучом $\nu^{0,25} = 2,25$ в квадранте Г проводим вертикаль, точки пересечения которой со вспомогательными прямыми в квадранте Г дадут потери на трение $h_{тр}$ = 213 м ст.ж и потребный для перекачки напор H = 280 м ст.ж.

10.4. Все расчеты должны производиться на основе лабораторных сведений о вязкости и плотности перекачиваемых нефти и разбавителя.

При значительном изменении вязкости и плотности нефти и разбавителя в расчетах должны использоваться усредненные за планируемый период свойства. В зависимости от режима перекачки осреднение вязкости должно производиться по формулам:

- для ламинарного режима перекачки

$$\nu_{ср} = \sum \nu_i \gamma_i ; \qquad (63)$$

- для турбулентного режима перекачки

$$\nu_{ср} = \left(\sum \nu_i^{0,25} \gamma_i\right)^4 . \qquad (64)$$

Осреднение удельного веса должно производиться по формуле

$$\gamma_{ср} = \sum \gamma_i \tau_i , \qquad (65)$$

где τ_i – время, в течение которого осуществляется перекачка продукта с вязкостью γ_i, в долях планируемого периода.

10.5. Для реализации рассчитанного режима перекачки диспетчер обязан подобрать комбинацию включения насосов, максимально приближающуюся по производительности и потребному напору к выбранному режиму перекачки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

I. Методическое руководство по статистическим исследованиям гидравлики трубопроводного транспорта.-ВНИИСПТнефть, ВНИИнефть, Уфа, 1975.

2. Методическое руководство по проведению планированных экспериментов к исследованию влияния различных добавок на реологические характеристики парафинистых нефтей. - Уфимский нефтяной институт, Московский институт нефтехимической и газовой промышленности им. Губкина И.М., ВНИИСПТнефть, Уфа, 1977.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
I. Общие положения	3
2. Организация исследования реологических свойств смеси	8
3. Оценка эффективности применения разбавителя в различных условиях эксплуатации по данным реологических исследований	I2
4. Выбор оптимальных режимов перекачки смесей в изотермических условиях	I5
5. Выбор оптимальных режимов перекачки смесей по сложным трубопроводам	I9
6. Выбор оптимальных режимов перекачки смесей с учетом отложений парафина	33
7. Оценка пригодности и выбор эффективного насосного оборудования	37
8. Выбор оптимальной технологии "горячей" перекачки смесей	38
9. Подготовка объектов трубопровода для перекачки вязких и застывающих нефтей и нефтепродуктов в смеси с разбавителем	44
I0. Методы и средства диспетчерского управления перекачкой смесей	47
Список литературы	5I

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

М Е Т О Д И К А

ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕКАЧКИ ВЯЗКИХ И ЗАСТЫВАЮЩИХ НЕФТЕЙ И НЕФТЕПРОДУКТОВ С РАЗБАВИТЕЛЕМ

РД 39-30-996-84

ВНИИСПТнефть

450055, Уфа, просп. Октября, 144/3

Подписано в печать 10.08.84 г. ПО1603
Формат 60х90 1/16. Уч.-изд.л. 2,5. Тираж 120 экз.
Заказ 145

Ротапринт ВНИИСПТнефти

gost.e-ecolog.ru