Министерство нефтяной промышленности

ИНСТРУКЦИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА РАСХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРУБОПРОВОДА ПРИ БЕСКОМПРЕССОРНОМ ТРАНСПОРТЕ СЫРОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА

РД 39-32-704-82

gost.e-ecolog.ru

1982
Краснодар

Министерство нефтяной промышленности

УТВЕРЖДАЮ
Начальник Технического
/должность лица Миннефтепрома, утвердившего документ/
управления
/подпись, дата, инициалы и фамилия/
Ю.Н.Байдиков
" " 1982 г.

ИНСТРУКЦИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА РАСХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРУБОПРОВОДА ПРИ БЕСКОМПРЕССОРНОМ ТРАНСПОРТЕ СЫРОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА

РД - 39 -32-704- 82

НАСТОЯЩИЙ ДОКУМЕНТ РАЗРАБОТАЛИ:

Всесоюзный научно-исследовательский и проектный институт по переработке газа
Директор института, к.т.н. М.А.Берлин "15" декабря 1981
Ответственный исполнитель зав.сектором, к.т.н. В.Я.Фридланд "15" декабря 1981

Всесоюзный научно-исследовательский институт природных газов
Директор института, д.т.н. А.И.Гриценко "22" дек. 1981
Ответственный исполнитель зав.сектором, к.т.н. О.В.Клапчук "22" дек 1981

Краснодарский политехнический институт
Ректор института, к.т.н. К.А.Цараган "15" дек 1981
Ответственный исполнитель ст.научн.сотр. к.т.н. Э.Э.Маркович "15" декабря 1981

Начальник Технического управления Миннефтепрома Ю.М.Байдиков
/ подпись, дата/

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

ИНСТРУКЦИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА РАСХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРУБОПРОВОДА ПРИ БЕСКОМПРЕССОРНОМ ТРАНСПОРТЕ СЫРОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА

РД-39-32-704-82

Вводится впервые

Приказом Министерства нефтяной промышленности от_____ №_____ Срок введения установлен с I марта I982 г.Срок действия до 3I декабря I986 г.

I.Общие положения

I.I.Настоящая инструкция являетоя основным руководящим документом при выполнении гидравлических расчетов для трубопроводов, транспортирующих сырой нефтяной газ.

I.2.Требования инструкции обязательны для всех организаций, независимо от их ведомственной подчиненности, проектирующих трубопроводы, указанные в пункте I.I.

Отступления от настоящей инструкции должны быть обоснованы до начала проектирования, согласованы с Миннефтепромом и утверждены совместно с проектом в установленом порядке.

I.3.Инструкция используется для гидравлических расчетов стационарных режимов транспорта сырого нефтяного газа при высоком объёмном расходном газосодержании ($0{,}9 \leq \beta_r \leq 1$).

I.4.Во всех приводимых в инструкции расчетных формулах, алгоритмах, графиках, величины, относящиеся к жидкой фазе,помечены индексом (ж), к газовой фазе – индексом (г),к газожидкостной смеси в целом – индексом (см).

I.5.Все гидравлические расчеты выполняются в международной системе единиц (СИ).

I.6.Расход жидкой фазы через любое сечение трубопровода находится как сумма расходов, определяемых уносом нефти из сепаратора разгазирования, конденсацией воды и углеводородных фракций.

Величина капельного уноса нефти определяется по характеристикам сепараторов разгазирования. Расход нефти $G_н$,кг/с равен произведению величины капельного уноса на величину объёмного расхода газа.

Расход воды в жидкой фазе определяется как разность расходов водяных паров, переносимых насыщенным газом, на входе в трубопровод и в расчетном сечении трубопровода.

Расход конденсата, выпадающего из газа, рассчитывается в зависимости от температуры и давления по известным термодинамическим соотношениям.

I.7.В связи со значительным объёмом расчетов по настоящей инструкции и их сложности рекомендуется вычисления выполнять на ЭВМ.

I.8.Расчёт расходных характеристик выполняется последовательно по следующим этапам:

- формирование банка исходных данных (раздел 2);
- построение эквивалентной трассы (раздел 3);
- последовательное выполнение вычислений для расчетных участков при фиксированном расходе смеси (раздел 4);
- повторение расчетов для заданного набора расходов;
- построение расходной характеристики.

2.Исходные данные

Для выполнения расчетов необходимо иметь:

объёмный расход газа на входе в трубопровод (при нормальных условиях) Q, млн. $м^3$/год;

плотность газа, подаваемого в трубопровод, при нормальных условиях $\rho_{го}$, кг/$м^3$;

состав газа на входе в трубопровод в мольных или массовых долях;

давление на входе в трубопровод $P_н$, Па;

температура газа на входе в трубопровод T, К;

минимально допустимое давление на выходе из трубопровода $P_к$, Па;

внутренний диаметр трубы D, м;

толщина стенок трубы t, м;

коэффициент теплопередачи от газа к грунту k, вт/$м^2$К;

температура грунта на уровне залегания трубы $T_{гр}$, К;

эквивалентная шероховатость труб (принимается по [I]) k, м;

плотность нефти, уносимой из сепараторов разгазирования $\rho_н$, кг/$м^3$;

коэффициент кинематической вязкости нефти $\nu_н$, $м^2$/с;

профиль трассы трубопровода (отметки оси трубы на пикетах и характерных точках).

Примечания:

– некоторые параметры (k, $T_{гр}$, D, t, k) могут изменяться вдоль трассы трубопровода;

– расчетная пропускная способность трубопровода G, необходимая для обеспечения заданной годовой производитель-

ности, определяется по формуле:

$$G = G_{см} = \frac{Q \cdot \rho_{ro}}{31{,}536\ E_н}\ ,\ кг/с\ , \qquad (I)$$

где Q – производительность трубопровода, млн. $м^3$/год;

$E_н = 0{,}75$ – коэффициент неравномерности транспорта газа.

3. Построение эквивалентной трассы

3.1. Эквивалентная трасса состоит из последовательно расположенных расчетных участков. В пределах каждого участка должны быть постоянными диаметр и толщина стенок трубы, массовый расход и состав перекачиваемой смеси, температура и теплофизические свойства грунта.

3.2. Расчетный участок может быть восходящим или нисходящим и состоять из элементарных участков с различными наклонами. Угол наклона элементарного участка определяется из условия:

$$\sin\alpha = \frac{H_н - H_к}{\ell}\ , \qquad (2)$$

где $H_н, H_к$ – соответственно отметки начала и конца элементарного участка, считая по направлению движения смеси, м;

ℓ – длина элементарного участка, м ;

Для восходящих элементарных участков $\alpha > 0$, для нисходящих $\alpha < 0$. С целью учета микрорельефа трассы и для получения некоторого запаса в расчете при $0 \leq \alpha < 0{,}005$ рад полагается $\alpha = 0{,}005$ рад.

В расчетный восходящий участок включаются сопряженные восходящие элементарные участки реальной трассы. В расчетный нисходящий участок включаются сопряженные нисходящие элемен-

тарные участки при условии, что их угол наклона не отличается от угла наклона первого (по ходу движения) элементарного участка более, чем на 10 %. При всех случаях расчетный участок должен удовлетворять требованиям пункта 3.1.

3.3.В пределах расчетного участка давление внутри трубопровода не должно изменяться более, чем на 5 %.

3.4.Если трасса трубопровода ещё не определена, эквивалентная трасса принимается по аналогам для данного географического района. Восходящие и нисходящие участки в такой трассе должны чередоваться.

4.Последовательность выполнения вычислений

4.1.Вычисления выполняются последовательно по расчетным участкам в направлении движения смеси. Порядок выполнения вычислений для каждого расчетного участка показан в виде блок-схемы на рис.1.

4.2.Начальное приближение среднего давления $P_{cpi\,o}$ для i-го участка ($i > 1$) принимается равным:

$$P_{cpi\,o} = P_{ni} + \left[\left(\frac{dP}{de}\right)_{i-1} + g\rho_{cm\,i-1}(\sin\alpha_i - \sin\alpha_{i-1})\right]\frac{\ell_i}{2}, \text{Па}, \quad (3)$$

где P_{ni} -начальное давление на i-ом расчетном участке,Па;

$\left(\frac{dP}{de}\right)_{i-1}$ -продольный градиент давления на (i -1)-ом расчетном участке, Па/м;

$\rho_{cm\,i-1}$ -средняя плотность смеси на (i -1)-ом расчетном участке, кг/м^3;

ℓ_i -длина i-го расчетного участка, м.

Для первого расчетного участка в качестве начального приближения среднего давления принимается давление на входе в трубопровод $P_н$.

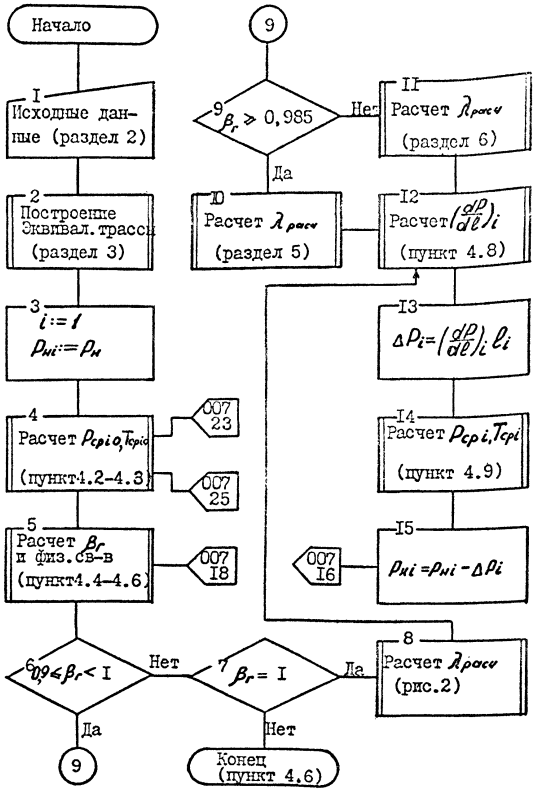
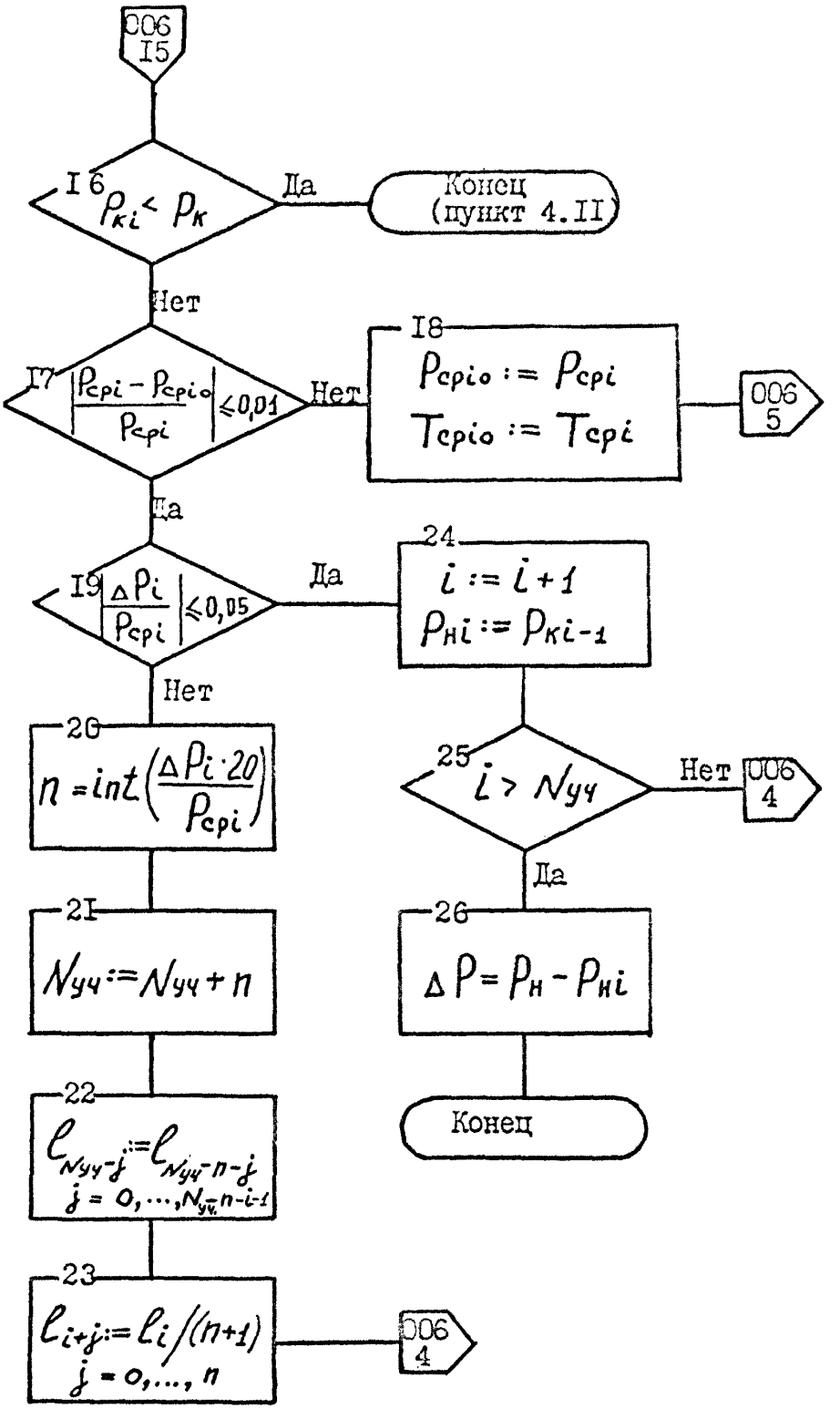


Рис.I.Порядок расчета перепада давления в трубопроводе

(inl - целая часть числа; $N_{уч}$ - число расчетных участков)

Продолжение рис. I



4.3.Начальное приближение средней температуры смеси на расчетном участке определяется по формуле (24) из [I], в которой полагается:

$$\Delta P_{i0} = 2\left(P_{ni} - P_{cpi0}\right), \text{ Па.} \qquad (4)$$

Для первого участка в качестве начального приближения средней температуры смеси принимается температура газа на входе в трубопровод.

4.4.В зависимости от исходного состава газа и вычисленных в пунктах 4.2 и 4.3 средних значений давления и температуры на расчетном участке определяются:

- расход конденсата $G_к$, кг/с;
- расход газа $G_г$, кг/с;
- расход воды в жидкой фазе $G_в$, кг/с;
- суммарный расход жидкой фазы:

$$G_ж = G_в + G_к + G_н, \text{ кг/с;} \qquad (5)$$

- суммарный расход газожидкостной смеси:

$$G_{см} = G_г + G_ж, \text{ кг/с.} \qquad (6)$$

4.5.По методике Института газа АН УССР [2] вычисляются следующие параметры:

- плотность конденсата $\rho_к$ и газа $\rho_г$, кг/м^3;
- коэффициент кинематической вязкости газа $\nu_г$ и жидкой углеводородной фракции $\nu_ж$, м^2/с;
- коэффициент поверхностного натяжения на границе жидкой и газовой фаз σ, Н/м;
- относительная плотность:

$$\bar{\rho} = \frac{\rho_ж}{\rho_г} = \frac{1}{\rho_г} \cdot \frac{G_ж}{G_к/\rho_к + G_н/\rho_н + G_в/\rho_в}. \qquad (7)$$

4.6.Расходное объёмное содержание жидкости на расчетном участке:

$$\beta_ж = \frac{G_ж}{G_ж + \bar{\rho} G_г}; \qquad (8)$$

расходное объёмное газосодержание на расчетном участке:

$$\beta_r = 1 - \beta_ж \quad . \qquad (9)$$

Последующие расчеты выполняются только при условии $\beta_r \geq 0{,}9$ в соответствии с областью применения настоящего документа.

4.7. Коэффициент гидравлического сопротивления рассчитывается по различным алгоритмам в зависимости от величины β_r:

- при $\beta_r = 1$ (течение "сухого" газа) – алгоритм приведен на рис. 2;
- при $0{,}985 \leq \beta_r < 1$ – алгоритм № 1, описан в разделе 5;
- при $0{,}9 \leq \beta_r \leq 0{,}985$ – алгоритм № 2, описан в разделе 6;

4.8. Продольный градиент давления на i-ом участке:

$$\left(\frac{dP}{d\ell}\right)_i = 1{,}2\,\frac{\lambda_{расчi}}{D_i} \cdot \frac{\rho_{ri}\, W_{смi}^2}{2} \quad , \text{ Па/м.} \qquad (10)$$

Величина 1,2 в формуле (10) является коэффициентом гидравлической эффективности и учитывает отклонение состояния внутренней поверхности труб от принятой в расчете, засорение газопровода при строительстве и эсплуатации, неточности методики гидравлического расчета.

4.9. Среднее давление на i-ом участке:

$$P_{cpi} = P_{нi} + \left(\frac{dP}{d\ell}\right)_i \cdot \frac{\ell_i}{2} = P_{нi} + \frac{\Delta P_i}{2} \quad , \text{ Па.} \qquad (11)$$

Средняя температура на i-ом участке определяется аналогично пункту 4.3.

Если расхождение между P_{cpio} и P_{cpi} превышает 1 %, т.е.

$$\left|\frac{P_{cpio} - P_{cpi}}{P_{cpi}}\right| > 0{,}01 \quad , \qquad (12)$$

то расчет повторяется в предположении, что

$$P_{cpio} := P_{cpi} \quad , \quad T_{cpio} := T_{cpi} \quad .$$

4.10. Если не выполняется условие

$$\left|\frac{P_{нi} - P_{кi}}{P_{cpi}}\right| \leq 0{,}05 \quad , \qquad (13)$$

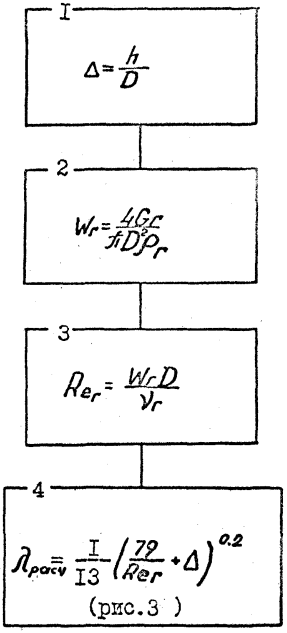


Рис.2. Алгоритм расчета коэффициента сопротивления при течении сухого газа

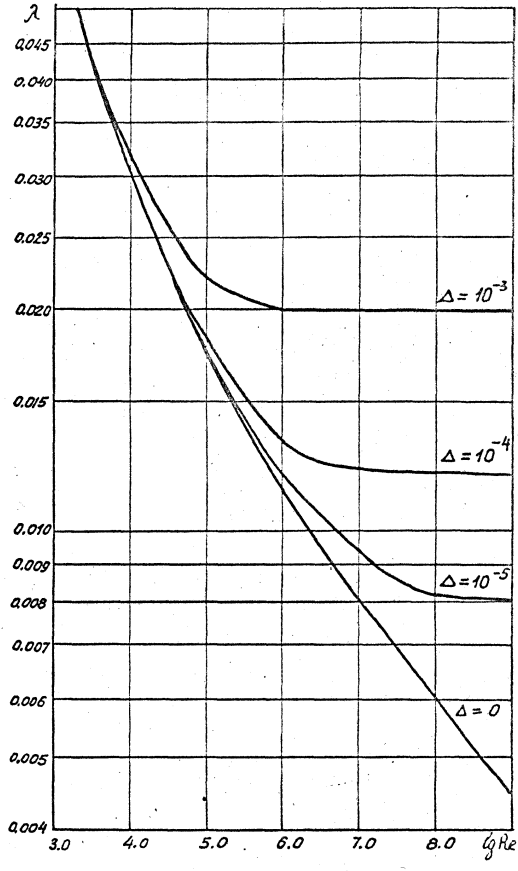


Рис. 3 Зависимость коэффициента сопротивления λ, от числа Рейнольдса Re и коэффициента шероховатости Δ.

то длина расчетного участка должна быть уменьшена делением его на части (см. рис.I, блоки I9–23).

4.II.Нарушение в конце какого-либо расчетного участка условия $P_{ki} < P_k$ означает, что транспорт заданного расхода газа не обеспечивается давлением в начале трубопровода. Расчет должен быть прекращен.

4.I2.Для получения расходной характеристики трубопровода все вычисления выполняются для заранее заданного набора расходов газа.

5.Алгоритм № I расчета коэффициента гидравлического сопротивления ($0{,}985 \le \beta_r < 1$)

5.I.Константы, применяемые в расчете по алгоритму № I:
$K_e = 0{,}65\ 10^{-5}$ м; $\tau_0 = 7{,}85$ Па; $A = 64\ 10^{-12}$ м^4/с^2.

5.2.Параметры, общие для всех режимов течения:

средняя расчетная скорость смеси $w_{см} = 4(Q_г + Q_ж)/(\pi D^2)$, м/с; (I4)

условная средняя скорость газа $w_г = 4 Q_г/(\pi D^2)$, м/с; (I5)

число Рейнольдса для газа $Re_г = w_г D/\nu_г$; (I6)

число Фруда для газа $Fr_г = w_г^2/(g D)$; (I7)

другие критерии подобия $R = \rho_г w_г^2 K_e/\sigma$; (I8)

$E = Q_ж \nu_ж/(\pi D A)$; (I9)

$F = A/\nu_ж^2$; (20)

$B_з = 0{,}09636\, \nu_ж \sqrt{\rho_ж/\sigma}/D$. (2I)

5.3.Последовательность и содержание вычислений при индентификации структуры течения газожидкостной смеси даны в виде блок-схемы на рис.4. В блок-схемах использованы следующие обозначения режимов течений:

СГ – течение сухого газа;

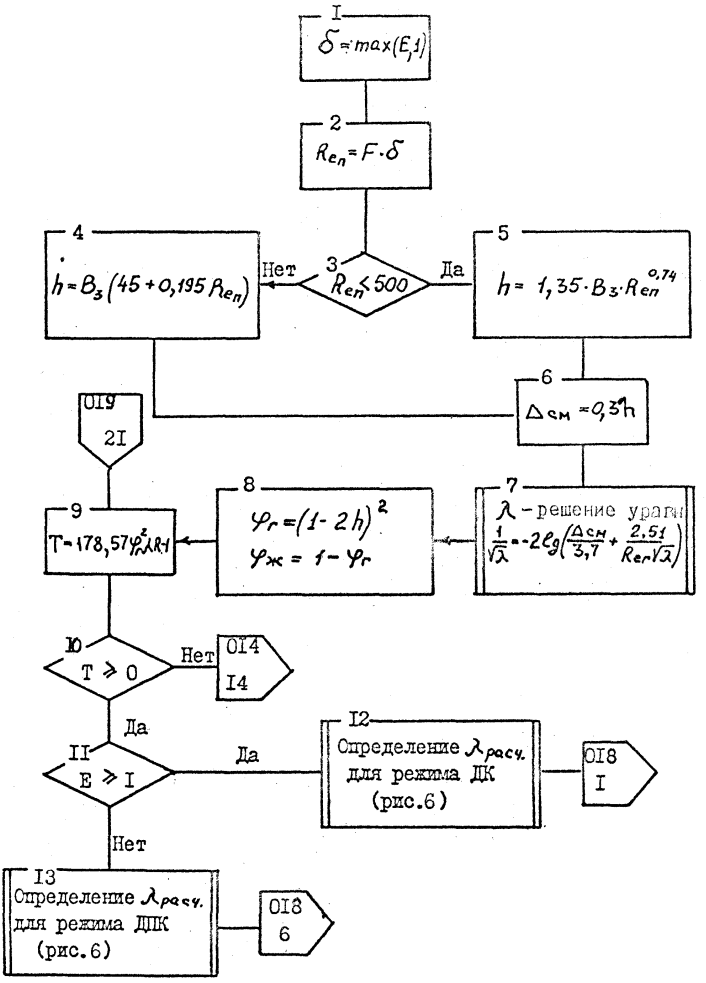
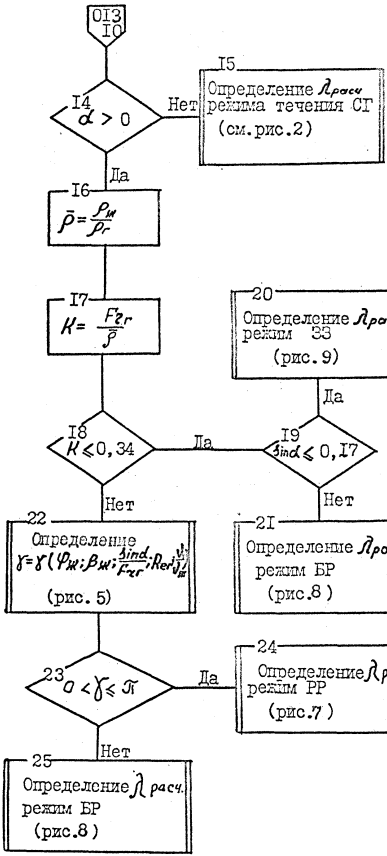


Рис.4. Алгоритм идентификации режимов течения газожидкостной смеси

Продолжение рис. 4.



ДПК – дисперсно-полукольцевой режим;

ДК – дисперсно-кольцевой режим;

РР – режим расслоенного течения;

ЗЗ – течение с застойными зонами;

ПР – пробковый режим;

БР – барботажный режим;

При расчетах по алгоритму №I пробковый режим не реализуется.

5.4. Параметры, применяемые при определении корня уравнения $\gamma = \gamma(\bar{\rho}, \beta_ж, \sin\alpha/Fr_г, Re_г \nu_г/\nu_ж)$ (рис. 5):

$$\varphi_ж = (2\gamma_i - \sin 2\gamma_i)/(2\pi) ; \tag{22}$$

$$Re_{гр} = Re_г \pi/(\pi - \gamma_i) ; \tag{23}$$

$$Re_ж = Re_г \beta_ж \pi \nu_г/[(1-\beta_ж)\gamma_i \nu_ж] ; \tag{24}$$

$$\lambda_{гж} = 0{,}08\,(\pi\varphi_ж/4/\sin\gamma_i)^{0{,}25} ; \tag{25}$$

$$\lambda_г = 0{,}1843\, Re_{гр}^{-0{,}2} ; \tag{26}$$

$$\lambda_ж = \begin{cases} 64/Re_ж, & \text{при } Re_ж \le 1500 ; \\ 0{,}1843 \cdot Re_ж^{-0{,}2}, & \text{при } Re_ж > 1500 ; \end{cases} \tag{27}$$

$$A_1 = \lambda_{гж}\left[(\varphi_ж - \beta_ж)/(1-\beta_ж)\right]^2 \sin\gamma_i ; \tag{28}$$

$$A_2 = \lambda_г (\pi - \gamma_i)\varphi_ж^3 ; \tag{29}$$

$$A_3 = \lambda_ж \bar{\rho}\left[\beta_ж/(1-\beta_ж)\right]^2 \gamma_i \cdot (1-\varphi_ж)^3 ; \tag{30}$$

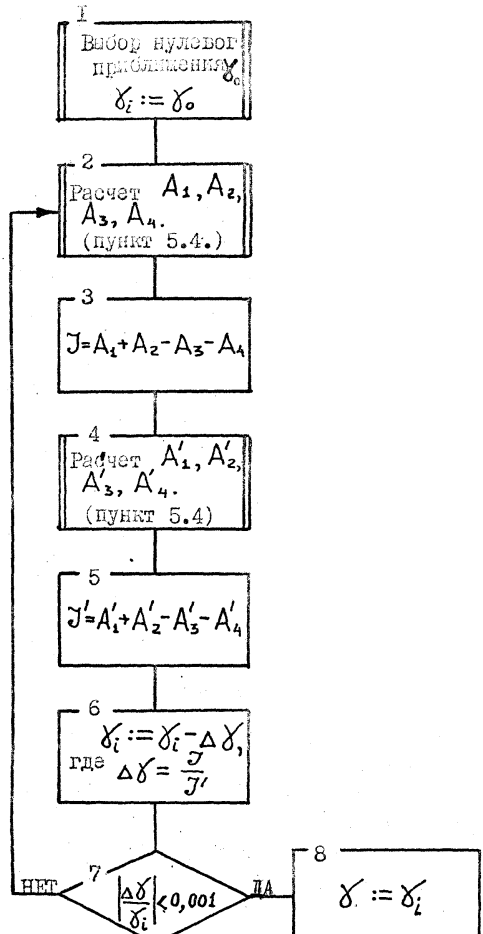


Рис. 5. Решение уравнения $\gamma = \gamma(\bar{\rho}; \beta_ж; \frac{\sin\alpha}{Fr_r}; Re_r; \frac{\nu_r}{\nu_ж})$

$$A_4 = 2\pi\left(\bar{\rho}-1\right)\left(1\sin\alpha/Fr_r\right)\left[\varphi_ж\left(1-\varphi_ж\right)\right]^3 ; \qquad (31)$$

$$\varphi'_ж = 2\,1\sin^2\gamma_i/\pi \ ; \qquad (32)$$

$$A'_1 = A_1\left[\varphi'_ж/\varphi_ж + 3\,ctg\,\gamma_i + 8\varphi'_ж/\left(\varphi_ж-\beta_ж\right)\right]/4 \ ; \qquad (33)$$

$$A'_2 = A_2\left[3\varphi'_ж/\varphi_ж - 1{,}2/\left(\pi-\gamma_i\right)\right] \ ; \qquad (34)$$

$$A'_3 = \begin{cases} A_3\left[2/\gamma_i - 3\varphi'_ж/\left(1-\varphi_ж\right)\right], \text{ при } Re_ж \le 1500 \\ A_3\left[1{,}2/\gamma_i - 3\varphi'_ж/\left(1-\varphi_ж\right)\right], \text{при } Re_ж > 1500 \end{cases} ; \qquad (35)$$

$$A'_4 = 3A_4\varphi'_ж\left[1/\varphi_ж - 1/\left(1-\varphi_ж\right)\right]. \qquad (36)$$

5.5. Алгоритмы расчета коэффициента гидравлического сопротивления для каждого режима течения приведены в виде блок-схем на рис. 6 – 9.

6. *Алгоритм №2 расчета коэффициента гидравлического сопротивления* ($0{,}9 \le \beta_r < 0{,}985$)

6.I. Параметры, общие для всех режимов течения:

объемный расход газа $Q_r = G_r/\rho_r$, м³/с; (37)

объемный расход жидкости $Q_ж = G_ж/\rho_ж$, м³/с; (38)

относительная плотность $\bar{\rho} = \rho_ж/\rho_r$; (39)

относительный коэффициент кинематической вязкости $\bar{\nu} = \nu_ж/\nu_r$; (40)

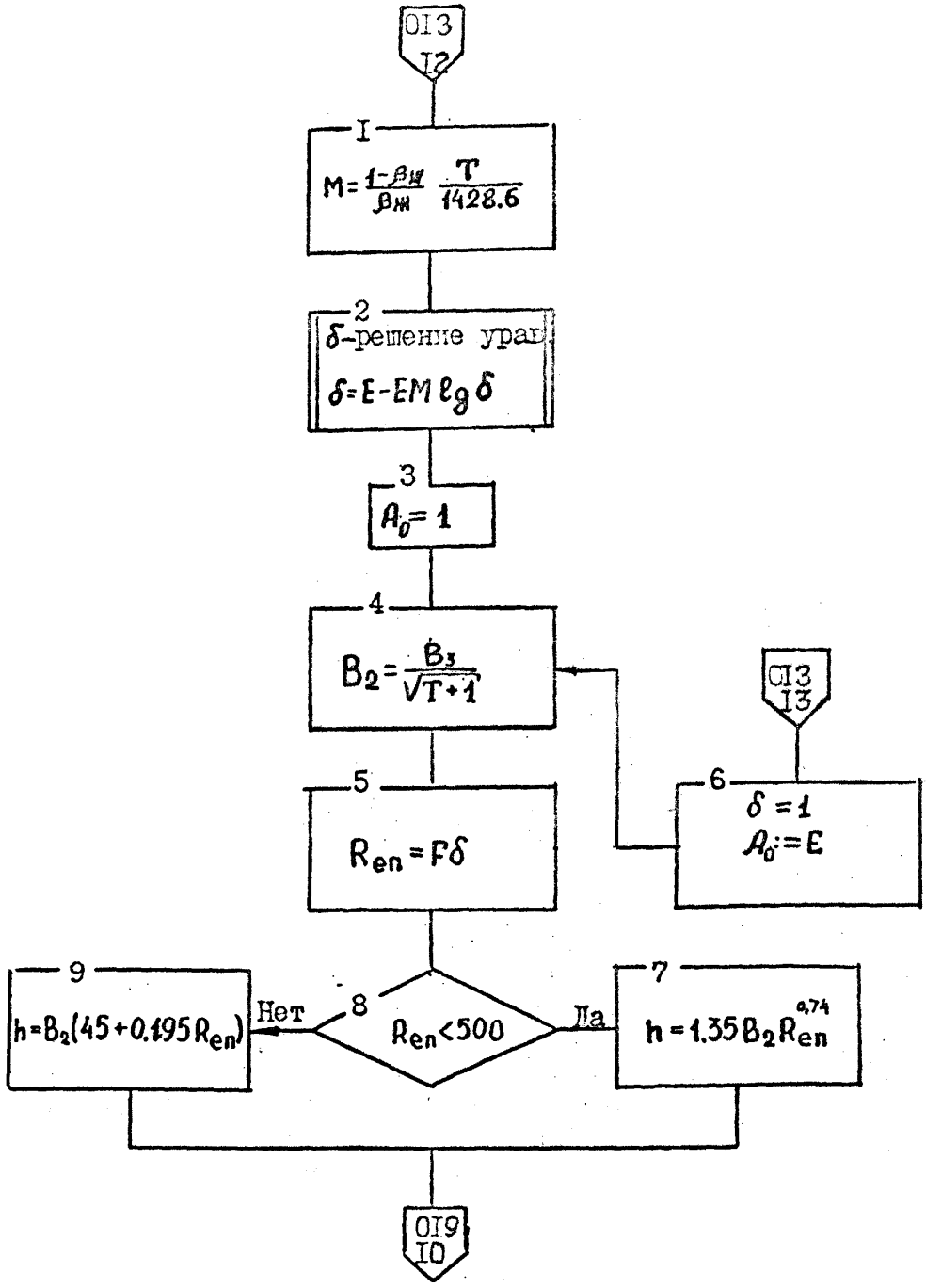
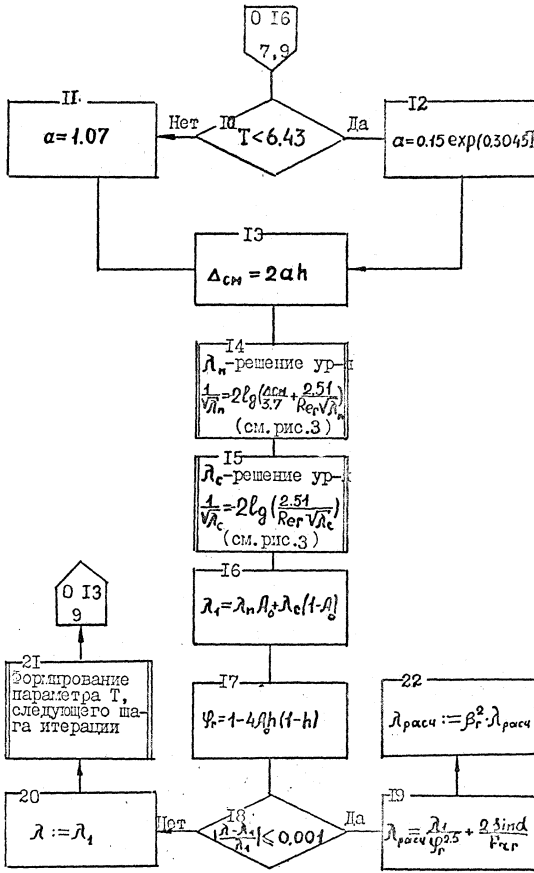


Рис. 6 Алгоритм расчета коэффициента гидравлического сопротивления при дисперсно-кольцевом (ДК) и дисперсно-полукольцевом (ДПК) режима течения

Продолжение рис. 6 .



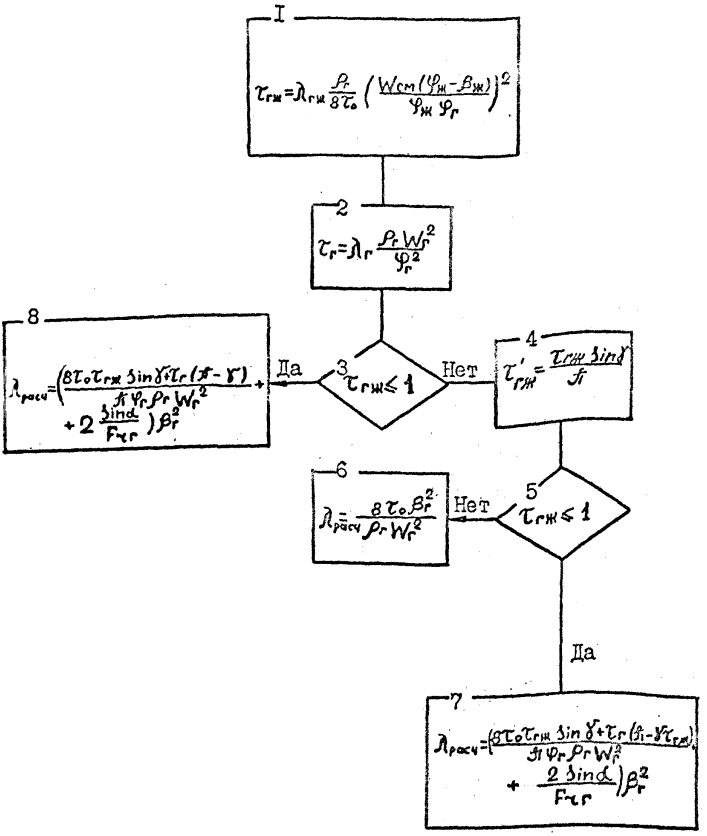


Рис. 7. Алгоритм расчета коэффициента гидравлического сопротивления при расслоенном (РР) режиме течения газожидкостной смеси.

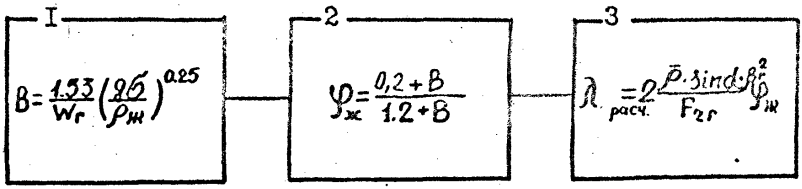


Рис.8. Алгоритм расчета коэффициента гидравлического сопротивления трению $\lambda_{расч}$ при барботажном режиме течения (БР)

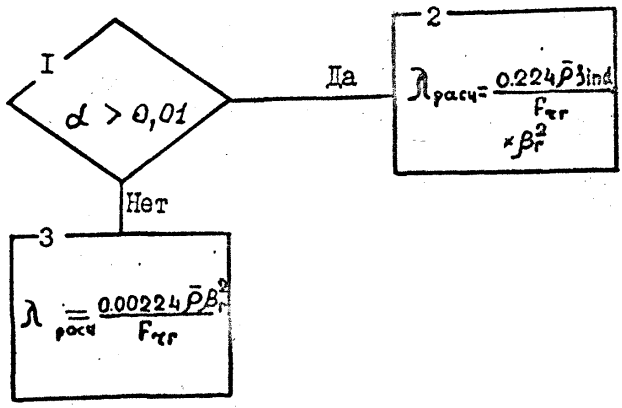


Рис. 9. Алгоритм расчета коэффициента гидравлического сопротивления $\lambda_{расч}$ при режиме течения с застойными зонами (ЗЗ)

относительный коэффициент динамической вязкости $$\bar{M} = \bar{\nu} / \bar{\rho} \quad ; \qquad (41)$$

средняя расходная скорость смеси $$W_{см} = \frac{4(Q_г + Q_ж)}{\pi D^2}, \text{м/с}; \qquad (42)$$

число Фруда смеси $$Fr_{см} = W_{см}^2 / (gD); \qquad (43)$$

условное число Рейнольдса газовой фазы $$Re_2 = \frac{W_{см} D}{\nu_г} \quad ; \qquad (44)$$

условное число Рейнольдса жидкой фазы $$Re_1 = \frac{W_{см} D}{\nu_ж} \quad ; \qquad (45)$$

критерий Клапчука $$K = \left[Re_1 \, Fr_{см} / (\bar{\rho} - 1) \right]^{-1/3} ; \qquad (46)$$

относительное число Рейнольдса $$\bar{Re} = \left(Re_1 / Re_2 \right)^{1/3} ; \qquad (47)$$

критерий кольцевого режима течения

$$V^* = (8{,}2 - 0{,}017 \bar{M}^{-0{,}6}) \cdot K \cdot e^{\beta_ж (3 + 62\bar{M})} \cdot \bar{Re} \quad . \qquad (48)$$

6.2. Последовательность и содержание расчетов при идентификации структуры течения газожидкостной смеси даны в виде блок-схемы на рис.10, где режимы течения обозначены в соответствии с пунктом 5.3.

6.3. Алгоритмы расчета для каждого режима течения приведены в виде блок-схем на рис.11 –14.

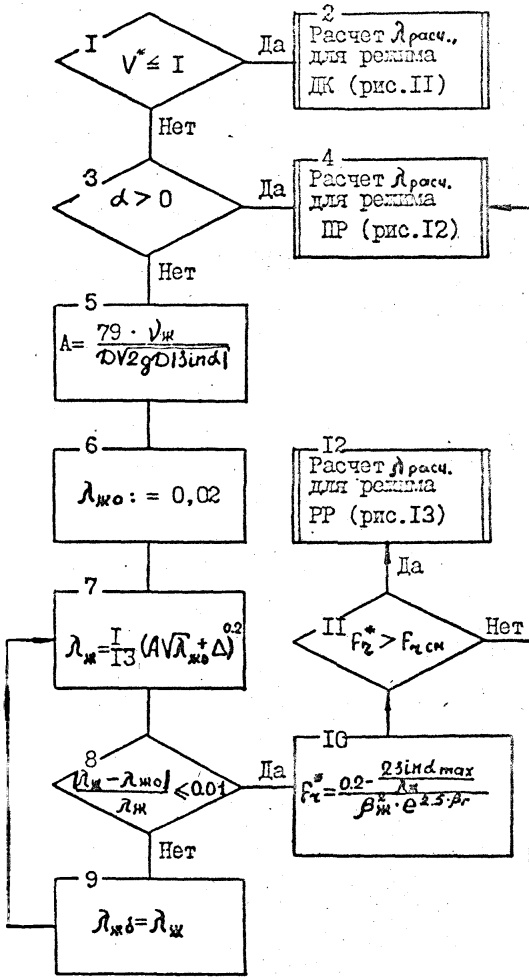


Рис.10. Алгоритм определения режима течения газожидкостной смеси (α_{max} – максимальный по модулю угол наклона трубы в пределах расчетного участка).

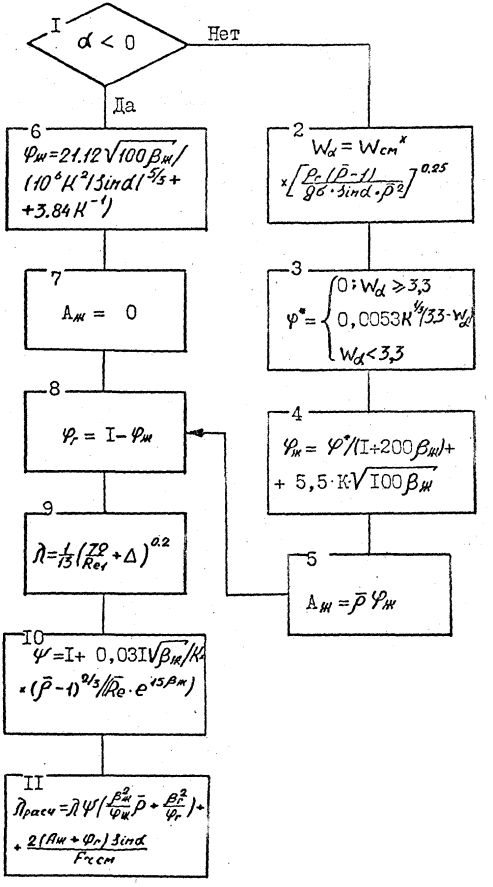


Рис. II. Алгоритм расчета коэффициента сопротивления трению при дисперсно-кольцевом режиме.

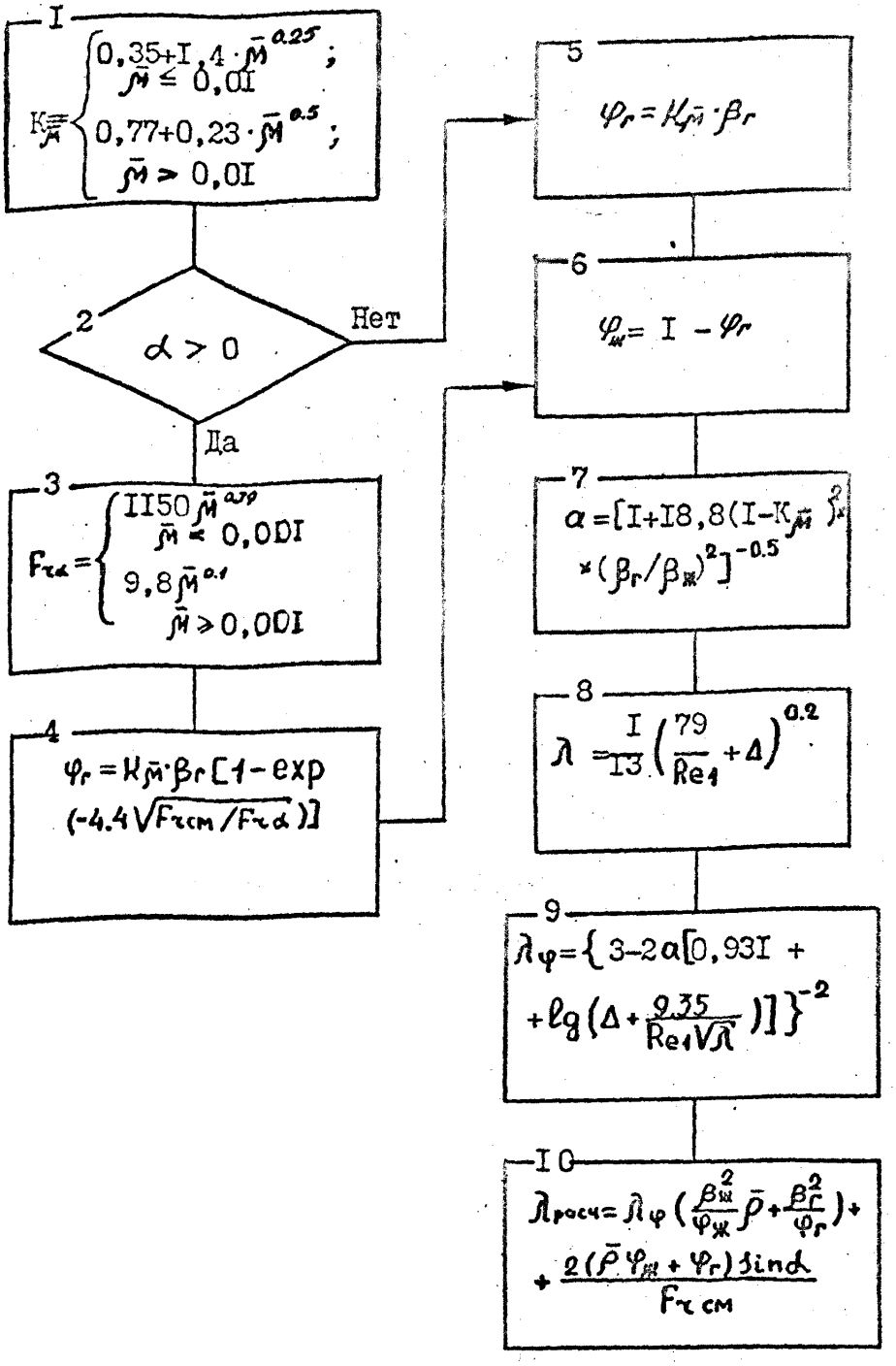


Рис. 12. Алгоритм расчета коэффициента сопротивления трению при пробковом режиме.

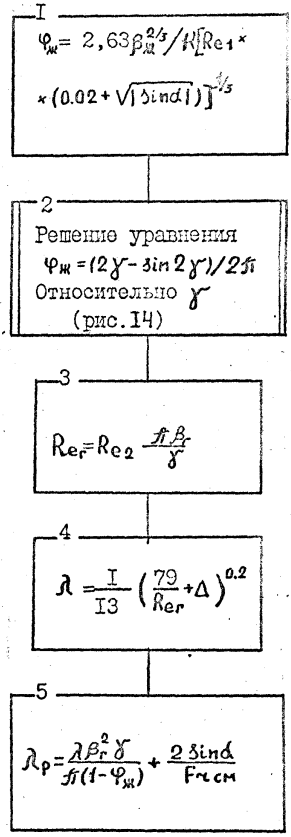


Рис. I3. Алгоритм расчета коэффициента сопротивления трению при расслоенном режиме ($\lambda_р = \lambda_{расч.}$).

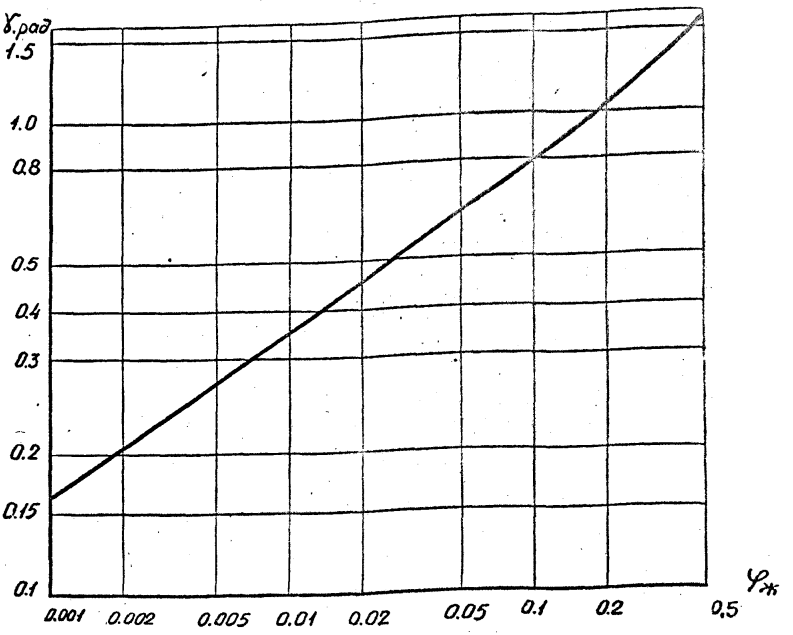


Рис.I4. График для определения угла γ в зависимости от расходного содержания жидкой фазы $\varphi_ж$.

При $0,5 < \varphi_ж < I$ по графику определяется угол γ отвечающий величине $I - \varphi_ж$; угол $\alpha - \gamma$ будет искомы

Список литературы

I. ВСН 5I-2-79. Нормы технического проектирования. Магистральные газопроводы. Мингазпром, М. I980, 98 стр.

2. Пакет прикладных программ расчета теплофизических свойств смесей углеводородов парафинового ряда, сероводорода, углекислоты и азота. Калашников О.В., Пискорская Е.В. Регистрационный № 5785 в Украинском республикационном фонде алгоритмов и программ. I980г.,I07 с.

Аннотация

Методика предназначена для гидравлического расчета трубопроводного транспорта сырого нефтяного газа. Организация разработчик – Всесоюзный научно-исследовательский и проектный институт по переработке газа (ВНИПИгазпереработка) Миннефтепрома

Организации соисполнители:

1. Всесоюзный научно-исследовательский институт природных газов (ВНИИГАЗ) Мингазпрома – раздел 3,6.

2. Краснодарский политехнический институт (КПИ) МВССО РСФСР – раздел 5.

Авторы: Лубинская В.Я., Мильштейн Л.М., Сатырь Ю.В.;
Фридланд В.Я. (ВНИПИгазпереработка);
Клапчук О.В., Одишария Г.Э. (ВНИИГАЗ);
Ивановская В.И., Маркович Э.Э., Пикин В.Г. (КПИ).

Оглавление

	Стр.
I. Общие положения	I – 2
2. Исходные данные	2 – 4
3. Построение эквивалентной трассы	4 – 5
4. Последовательность выполнения вычислений	5 –I2
5. Алгоритм № I расчета коэффициента гидравлического сопротивления ($0{,}985 \leq \beta_r < I$)	I2–I7
6. Алгоритм № 2 расчета коэффициента гидравлического сопротивления ($0{,}9 \leq \beta_r \leq 0{,}985$)	I7–27
Список литературы	28

gost.e-ecolog.ru