МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ
НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Всесоюзный научно-исследовательский институт
по строительству магистральных трубопроводов

ВНИИСТ

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ДИНАМИКИ ТЕПЛОВОГО И МЕХАНИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРУБОПРОВОДОВ С ПРОМЕРЗАЮЩИМИ И ПРОТАИВАЮЩИМИ ГРУНТАМИ

Р 609-86

Москва 1987

gost.e-ecolog.ru

УДК 621.643.002.2:624.13(083.96)

В Рекомендациях изложена методика прогнозирования динамики теплового и механического взаимодействия трубопроводов с промерзающими и протаивающими грунтами, по которой определяют движения фронтов промерзания и оттаивания вокруг трубы и перемещения изотермического сечения трубопровода в вертикальной плоскости в результате воздействия на него как процессов пучения грунтов, так и термокарстовых процессов. Приводятся алгоритм и программа расчета на ЭВМ серии ЕС теплового и механического взаимодействия трубопроводов с окружающей средой для различных конструктивных систем прокладок (подземной, наземной открытой, наземной закрытой) как для теплоизолированных трубопроводов, так и для трубопроводов без теплоизоляции.

Рекомендации разработаны сотрудниками отдела трубопроводов, сооружаемых в особых условиях (ООУ ВНИИСТа), кандидатами технических наук В.В.Спиридоновым, А.С. Гехманом, А.Д.Перельмитером, А.С.Цуриковым, Н.Г.Фигаровым, директором ВНИПИгаздобыча А.В.Буераковым, начальником ВЦ ВНИПИгаздобыча Ю.А.Кривогузовым, руководителем группы ВЦ ВНИПИгаздобыча В.В.Новаковской.

Рекомендации предназначены для инженерно-технических работников проектных и строительных организаций, осуществляющих сооружение магистральных трубопроводов.

© Всесоюзный научно-исследовательский институт по строительству магистральных трубопроводов (ВНИИСТ), 1987

Министерство строительства предприятий нефтяной и газовой промышленности, Министерство газовой промышленности	Рекомендации по прогнозированию динамики теплового и механического взаимодействия трубопроводов с промерзающими и протаивающими грунтами	Р 609-86 Впервые

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Настоящие Рекомендации разработаны в развитие глав СНиП 2.05.06-85 "Магистральные трубопроводы. Нормы проектирования" [I], "Временных указаний по проектированию, строительству и эксплуатации объектов газовой и нефтяной промышленности в условиях вечной мерзлоты" (Р 215-76) [2] и СНиП II-I8-76 (часть II) "Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Нормы проектирования" [3].

Рекомендации распространяются на трубопроводы, эксплуатирующиеся в нестационарном установившемся режиме. Настоящие Рекомендации не позволяют рассчитывать переходные процессы, имеющие место в первые часы с момента пуска трубопроводной системы.

I.2. Проектирование трубопроводов (выбор конструкций, материалов, технологии строительства и эксплуатации) в районах распространения вечномерзлых грунтов следует осуществлять на основании выбора таких оптимальных решений, которые удовлетворяли бы температурным и деформативным ограничениям трубопроводных систем, определяемым с помощью настоящего руководства, а также в соответствии с требованиями, изложенными в следующих нормативных документах: СНиП II-6-74 [4], СНиП 2.02.01-83 [5], СНиП 2.05.06-85 [I], СНиП II-I8-76 [2].

Внесены ВНИИСТом, ОКТ	Утверждены ВНИИСТом 4 декабря I986 г.	Срок введения в действие I мая I987 г.

I.3. Настоящие Рекомендации позволяют определять перемещения и нагрузки, действующие на трубопровод вследствие процессов пучения и осадки грунтов, и рассчитывать динамику фронтов промерзания и оттаивания вокруг трубопровода, формирующихся как с дневной поверхности грунта, так и с поверхности трубопровода.

I.4. Методика прогнозирования динамики теплового и механического взаимодействия трубопроводов с промерзающими и протаивающими грунтами, предложенная в настоящих Рекомендациях, позволит выбрать оптимальные конструктивные системы прокладки и технологические режимы их эксплуатации, обеспечивающие надежность их функционирования и сохранение природной среды.

I.5. Основные условные обозначения в тексте Рекомендаций и в программе PIPE5 приводятся в табл.I.

Таблица I

Символы алгоритма	Единицы измерения	Идентификатор программы	Тип	Исходные и расчетные данные
1	2	3	4	5
ATL(18)	-	*ATL*	Символьный	Название объекта, для которого производится расчет
JT	-	*JT*	Целый	Число лет эксплуатации трубопровода
KD	-	*KD*	То же	Код, указывающий вид прокладки: 1 - надземный ; 2 - наземная в насыпи; 3 - наземная открытая; 4 - подземная; 5 - подводная

Продолжение табл.I

I	2	3	4	5
L	-	L	Целый	Параметр начального состояния грунта над трубопроводом: -I - мерзлый; I - талый
d_0	м	DO	Вещественный	Внутренний диаметр трубопровода
h_T	м	HT	То же	Расстояние от поверхности грунта до оси трубопровода (HT > 0, если ось трубопровода выше поверхности грунта; HT < 0, если ось трубопровода ниже поверхности грунта)
$h_н$	м	HN	"	Высота насыпи
$\delta_{из}$	м	DIZ	"	Толщина теплоизоляции трубопровода или толщина плоского теплоизоляционного экрана
t_f	°С	TF	"	Температура начала замерзания воды в грунте
$t_{гр}$	°С	TGR	"	Среднегодовая температура грунта
A_T	-	AT	"	Альбедо трубопровода
$\lambda_{из}$	0,86 Вт/м·град	LIZ	"	Коэффициент теплопроводности изоляции трубопровода
$\lambda_T^{верх}$	"	LTB	"	Коэффициент теплопроводности талого грунта над трубопроводом (определяется по СНиП II-18-76 или по Руководствам ВНИИСТа (Р 409-80), (Р 486-83) [3, 6, 7].

Продолжение табл. I

I	2	3	4	5
$\lambda_т^{низ}$	0,86* Вт/м·град	LTH	Вещественный	Коэффициент теплопроводности талого грунта под трубопроводом, определяется по [3, 6, 7]
$\lambda_м^{верх}$	"	LMB	То же	Коэффициент теплопроводности мерзлого грунта над трубопроводом, определяется по [3, 6, 7]
$a_м^{верх}$	$3{,}6 \cdot 10^{-5}$ $м^2/с$	AMB	"	Коэффициент температуропроводности мерзлых пород над трубопроводом рассчитывается по формуле $a_м = \frac{\lambda_м}{C_м}$, где $C_м$ – теплоемкость мерзлого грунта, определяемая по формуле $C_м = \gamma_{ск}\left[C_{уд} + 0{,}5(W_c - W_{н.з})\right]$, где $\gamma_{ск}$ – объемный вес скелета мерзлого грунта, кг/м³; $C_{уд}$ – удельная теплоемкость скелета грунта: для глин – $C_{уд} = 0{,}215 \frac{ккал}{кг \cdot ^\circ C}$; для суглинков – $C_{уд} = 0{,}195 \frac{ккал}{кг \cdot ^\circ C}$; для супеси – $C_{уд} = 0{,}18 \frac{ккал}{кг \cdot ^\circ C}$; для песков – $C_{уд} = 0{,}17 \frac{ккал}{кг \cdot ^\circ C}$;

Продолжение табл. I

I	2	3	4	5
				W_c - суммарная весовая влажность, дол.ед., определяется лабораторным методом в естественных условиях, или рассчитывается по СНиП П-I8-76;
				$W_{нз}$- количество незамерзающей воды в грунте, дол.ед., определяется лабораторным методом в естественных условиях и рассчитывается по СНиП П-I8-76 по формуле $$W_{нз} = K_W W_p,$$ где
				K_W - коэффициент, определяется по табл.I в зависимости от числа пластичности I_p и температуры грунта; W_p- влажность грунта на границе раскатывания в долях единицы
$a_T^{верх}$	$3{,}6 \cdot 10^{-5}$ $м^2/с$	АТВ	Вещественный	Коэффициент температуропроводности талых пород над трубопроводом, рассчитывается по формуле $$a_T = \frac{\lambda_T}{C_T},$$ где
				C_T - теплоемкость талого грунта, определяется по формуле

Продолжение табл. I

I	2	3	4	5
				$C_т = \gamma_{ск}(C_{уд} + C_в W)$, где $\gamma_{ск}$ – объемный вес скелета талого грунта; $C_{уд}$ – удельная теплоемкость скелета грунта, определяется, как было описано выше, в случае расчета теплоемкости мерзлых пород; $C_в$ – теплоемкость воды, $C_в$ = = I ккал/кг·°С; W – весовая влажность талого грунта, дол.ед.
$a_м^{низ}$	$3{,}6 \cdot 10^{5}$ $м^2/с$	АМН	Вещественный	Коэффициент температуропроводности мерзлых пород под трубопроводом, определяется аналогично расчету $a_м^{верх}$
$a_т^{низ}$	"	АТН	То же	Коэффициент температуропроводности талых пород под трубопроводом, определяется аналогично расчету $a_т^{верх}$
$K_р$	–	CPU	"	Коэффициент пучения грунта, определяется экспериментально, по методике
K_i	–	CPR	"	Коэффициент просадочности мерзлых грунтов основания трубопровода, определяется экспериментально
$Q_ф^{верх}$	$0{,}239 \cdot \frac{кДж}{м^3}$	QFB	"	Теплота фазовых превращений воды в грунте над трубопроводом, рассчитывается по формуле

Продолжение табл. I

1	2	3	4	5
				$Q_{ф}^{верх} = 80(W - W_{нз})\gamma_{ск}$, $\gamma_{ск}$ – объемный вес скелета грунта, кг/м^3
$Q_{ф}^{низ}$	0,239 $\frac{кДж}{м^3}$	QFH	Вещественный	Теплота фазовых превращений воды в грунте под трубопроводом, рассчитывается аналогично вышеприведенному
$I_{всп}$	-	IBCP	Целый	Параметр, определяющий задание вспомогательных параметров (фронтов): IBCP= I – вспомогательные параметры задаются; IBCP=2 – вспомогательные параметры отсутствуют
I_z	-	IZ	То же	Параметр, определяющий вид теплоизоляции: IZ = I – круговая изоляция; IZ = 2 – плоский теплоизоляционный экран
ITT	-	ITT	"	Число лет изменения температурного режима в начале трубопровода, априори
$\xi'_{обр}$	м	EOBI	Вещественный	Координаты фазового фронта сезонных образований с дневной поверхности вне зоны влияния трубопровода, задаются априори
$\xi'_{разр}$	м	EPBI	То же	Координаты фазового фронта сезонных разрушений с дневной поверхности вне зоны влияния трубопровода, задаются априори

Продолжение табл. I

1	2	3	4	5
$y'_{обр}$	м	УО1	Вещественный	Координаты фазового фронта сезонных образований с дневной поверхности над трубопроводом, задаются априори
$y'_{разр}$	м	УР1	То же	Координаты фазового фронта сезонных разрушений с дневной поверхности над трубопроводом, задаются априори
$\rho'^{верх}_{обр}$	м	RO1	"	Координаты фазового фронта сезонных образований вверх с поверхности трубопровода (отсчет от верхней образующей трубопровода), задаются априори
$\rho'^{верх}_{разр}$	м	RP1	"	Координаты фазового фронта сезонных разрушений вверх с поверхности трубопровода (отсчет от верхней образующей трубопровода), задаются априори
$\rho'_{м/л}$	м	ROM1	"	Координаты фазового фронта многолетних образований в основании трубопровода (отсчет от нижней образующей трубопровода) задаются априори
$\rho'_{обр}$	м	ROS1	"	Координаты фазового фронта сезонных образований в основании трубопровода (отсчет от нижней образующей трубопровода), задаются априори
$\rho'_{разр}$	м	ROP1	"	Фронт сезонных разрушений в основании трубопровода (отсчет от нижней образующей трубопровода), задаются априори

Продолжение табл. I

I	2	3	4	5
t	°С	ТН	Вещественный	Температура в начале трубопровода, меняющаяся во времени как в сезонной динамике (среднемесячные температуры), так и в многолетней динамике (среднегодовые температуры), задаются априори
$t_в$	°С	ТВ	То же	Среднемесячные температуры воздуха, задаются априори
α_F	0,86* Вт/м^2·град	*ALFAF*	"	Среднемесячные коэффициенты теплоотдачи с поверхности грунта или с поверхности моховодернового покрова или с поверхности снега; α_F определяется экспериментально в полевых условиях. При отсутствии данных величину его можно вычислять по формуле $\alpha_F = 4 + 2v$, где v - скорость ветра, м/с

Продолжение табл. I

I	2	3	4	5
α_{2B}	0,86* Вт/м^2·град	ALF2B	Вещественный	Среднемесячные коэффициенты теплоотдачи надземного трубопровода определяются по номограммам, приведенным в Руководствах ВНИИСТа (Р 409-80; Р 486-83) [6,7]
$\mathcal{K}$	I,163* м^2·град/Вт	KAPA	То же	Среднемесячные термические сопротивления теплообмена грунтов с атмосферой с учетом снежного и растительного покровов, определяются по формуле $\mathcal{K} = \frac{1}{\alpha_F} + \frac{\delta_{CH}}{\lambda_{CH}} + \Omega$, где α_F – коэффициент теплоотдачи с подстилающей поверхности; δ_{CH} – толщина снежного покрова, м; λ_{CH} – теплопроводность снега, ккал/м.ч.^{0}С, определяется по номограмме (Р 486-83) [7]; Ω – термическое сопротивление моховодернового покрова, м^2·ч·^{0}С/ккал; δ_{CH}, λ_{CH} – определяются в полевых условиях экспериментально. При отсутствии данных о величине какого-либо из параметров целесообразно его просто не учитывать в рас-

Продолжение табл. I

1	2	3	4	5
				чете, т.е. принимать в расчете $\alpha_F = \infty$ или $\frac{1}{\alpha_F} = 0$, $\delta_{cH} = 0$, $\Omega = 0$, или же определять по Руководствам ВНИИСТа (Р 409-80, Р-486-83) [6,7]
R	$\frac{ккал}{см^2 мес}$	RD	Вещественный	Среднемесячные значения радиационного баланса подстилающей поверхности, определяются по номограмме, приведенной в Руководстве ВНИИСТа (Р 486-83)[7]
LE	То же	LE	То же	Среднемесячные значения затрат тепла на испарение с подстилающей поверхности, определяются по номограммам, приведенным в Руководстве ВНИИСТа (Р 486-83) [7]
IPP	-	IPP	Целый	Параметр, указывающий тип процесса формирования фазового фронта с дневной поверхности грунта вне зоны влияния трубопровода: IPP-I - образование, IPP-2 - разрушение; IPP-3 - отсутствие
IPB	-	IPB	То же	Параметр, указывающий тип процесса формирования фазового фронта с дневной поверхности над трубопроводом: IPB-I - образование; IPB-2 - разрушение; IPB-3 - отсутствие

Продолжение табл.I

I	2	3	4	5
ITB	-	ITB	Целый	Параметр, указывающий тип процесса формирования в грунте фазового фронта вверх с поверхности трубопровода: ITB-I - образование; ITB-2 - разрушение; ITB-3 - отсутствие
$t_п$	°С	TP	Вещественный	Среднемесячная температура поверхности грунта
$\xi_п$, $\xi_{обр.п}$	м	$EOB(N)$	То же	Формирование фазового фронта сезонных образований с дневной поверхности вне зоны влияния трубопровода, рассчитывается по данной Рекомендации
$\xi_п$, $\xi^{верх}_{разр.п}$	м	$EPB(N)$	"	Формирование фазового фронта сезонных разрушений с дневной поверхности вне зоны влияния трубопровода, рассчитывается по данной Рекомендации
ξ_k	м	XH2	"	Обобщенная переменная формирования нижнего фазового фронта сезонных разрушений вне зоны влияния трубопровода
ξ_{k-1}, ξ_{NIPP}	м	EB	"	Обобщенная переменная, принимающая значение EOB (N) или EPB (N)
y_{ces}	м	$YO(N)$	"	Формирование фазового фронта сезонных образований с дневной поверхности над трубопроводом, рассчитывается по данной Рекомендации

Продолжение табл.I

I	2	3	4	5
$y_{разр}$	м	YP(N)	Вещественный	Формирование фазового фронта сезонных разрушений с дневной поверхности над трубопроводом, рассчитывается по данной Рекомендации
y_{NIPB}	-	УВ	То же	Обобщенная переменная, принимающая значение УО (N) или УР (N)
IT	-	IT	Целый	Число фронтов под трубопроводом
$JAKT$	-	$JAKT$	То же	Параметр, указывающий тип процесса формирования в грунте фазового фронта в основании трубопровода: JAKT=0 - отсутствие фронтов; JAKT=I - образование сезонных ореолов; JAKT=2 - разрушение сезонных ореолов; JAKT=3 - образование многолетних ореолов
JT	-	JT	"	Счетчик циклов промерзания - оттаивания грунта вокруг трубопровода по годам
IGR	-	IGR	"	Указатель знака $t_{гр}$: IGR = I, если $t_{гр} \geq 0$; IGR = -I, если $t_{гр} < 0$
ITN	-	ITN	"	Указатель знака $t(N)$: TTN = I, если $t(N) \geq 0$; ITN = -I, если $t(N) < 0$.

Продолжение табл. I

I	2	3	4	5
ITP	-	ITP	Целый	Указатель знака $t_n(N)$: ITP=I, если $t_n(N) \geq 0$; ITP=-I, если $t_n(N) < 0$.
n	-	N	То же	Переменная цикла по текущим месяцам года
$\rho_{сез}^{верх}$	м	$RO(N)$	Вещественный	Формирование фазового фронта сезонных образований вверх с поверхности трубопровода (отсчет от верхней образующей трубопровода), определяется по данной Рекомендации
$\rho_{разр}^{верх}$	м	$RP(N)$	То же	Формирование фазового фронта сезонных разрушений вверх с поверхности трубопровода (отсчет от верхней образующей трубопровода), определяется по данной Рекомендации
$\rho_{NITB}^{верх}$, $\rho_{NJAKT}^{верх}$	м	RB	"	Обобщенная переменная, принимающая значение $RO(N)$ или $RP(N)$
$\rho_{NJAKT}^{низ}$	м	RH	"	Обобщенная переменная, принимающая значение $ROS(N)$, $ROP(N)$, $ROPH(N)$, $ROM(N)$
$\rho_{сез}$	м	$ROS(N)$	"	Формирование фазового фронта сезонных образований в основании трубопровода (отсчет от нижней образующей трубопровода), определяется по данной Рекомендации
$\rho_{разр}$	м	$ROP(N)$	"	Формирование фазового фронта сезонных разрушений с поверхности трубопровода в его основании (отсчет от нижней об-

Продолжение табл. I

I	2	3	4	5
				разующей трубопровода), определяется по данной Рекомендации
$\rho_{разр}^{низ}$	м	ROPH(N)	Вещественный	Формирование фазового фронта разрушения за счет геотермического градиента в основании трубопровода (отсчет от нижней образующей трубопровода), определяется по данной Рекомендации
$\rho_{м/л}$	м	ROM(N)	То же	Формирование фазового фронта многолетних образований в основании трубопровода (отсчет от нижней образующей трубопровода), определяется по данной Рекомендации
$\rho_{пр}$	м	RMS(N)	"	Формирование фазового фронта многолетних образований в основании трубопровода с учетом собственных перемещений трубы в результате процессов пучения или термокарстовых процессов, определяется по данной Рекомендации
$h_{осад}^{(п)}$	м	HPR(N)	"	Величина просадки трубопровода, определяется по данной Рекомендации
$h_{пуч}^{(п)}$	м	HPU(N)	"	Величина выпучивания трубопровода, определяется по данной Рекомендации
$\pm Q_д$	0,86, Вт/м	QA	"	Среднемесячные теплопотоки с одного погонного метра трубопровода в окружающую среду при отсутствии фазовых превращений влаги в грунте

Окончание табл. I

I	2	3	4	5
$\pm Q_{гр}$	0,86 Вт/м	QGR	Вещественный	Среднемесячные теплопотоки с одного погонного метра трубопровода в грунт за счет фазовых превращений влаги
$\pm Q_{С}$	0,86 Вт/м	QSUM	То же	Сумма по периметру трубы, среднемесячных теплопотоков с одного метра трубопровода в окружающую среду. $\pm Q_{А}$, $\pm Q_{гр}$, $\pm Q_{С}$ определяются по данной Рекомендации. Знак минус означает, что тепло теряется трубопроводом в окружающую среду, а знак плюс означает, что тепло поступает в трубопровод и он нагревается за счет окружающей среды

I.6. Исходные данные, необходимые для расчета механического взаимодействия трубопровода с промерзающими и оттаивающими грунтами, приведены в табл.2.

Таблица 2

Обозначение	Единица измерения	Исходные данные
I	2	3
$D_{Н}$	м	Наружный диаметр трубопровода. Задается в проекте
$h_{Т}$	м	Глубина заложения оси трубопровода. Задается в проекте
$\gamma_{гр}$	МН/м^3	Объемный вес грунта. Задается по данным изысканий

Продолжение табл. 2

I	2	3
E	МПа	Модуль деформации талых грунтов. Определяется по СНиП 2.02.03-85 (табл.I и табл.3 приложения 2) [5]
$\varphi_{гр}$	град	Угол внутреннего трения талого грунта. Задается по данным изысканий
C	МПа	Удельное сцепление. Задается по данным изысканий
$q_т$	Мн/м	Вес трубопровода с продуктом. Рассчитывается в соответствии со СНиП 2.05.06-85 [I]
$K_{см}$	МПа/град	Коэффициенты, определяющие прочность смерзания мерзлого грунта с поверхностью трубопровода в зависимости от температуры. Задаются.
β	МПа	
$P_л$	МПа	Липкость грунта. Задается
$\sigma^{дл}_{р.т}$	МПа	Длительная прочность талого грунта на разрыв. Задается.
$P_п$	МПа	Относительные нормальные силы пучения. Задаются
K	$Мн/м^3$	Значение нормального давления морозного пучения, создаваемого I м промороженного слоя грунта. Задается
m	$\frac{кН}{м^4}$	Коэффициент пропорциональности при определении коэффициента постели талого грунта. Задается в соответствии со СНиП П-I7-77 [9]
$K_р$	-	Коэффициент морозного пучения. Определяется экспериментально по методике [I0]
K_i	-	Коэффициент просадочности. Определяется экспериментально

1	2	3
$R^{сж}_{вр.м}$	МПа	Расчетные давления (сжатия) на мерзлые грунты. Задаются в соответствии со СНиП II-18-76 (табл.2, приложение 6) [3]
$h_{в.м}$	м	Глубина залегания вечномерзлых грунтов. Задаются в проекте
$\xi_м$	м	Глубина промерзания (текущая) грунта с поверхности. Рассчитывается по данной Рекомендации
$\xi_д$	м	Глубина деятельного слоя. Рассчитывается по данной Рекомендации
$D_{т.м}$	м	Диаметр намерзшего слоя грунта на трубопровод. Рассчитывается по данной Рекомендации
$h^{н}_{п}$	м	Расстояние от нижней образующей трубопровода, расположенного в талом грунте, до верхней границы вечномерзлого грунта
a	$\frac{м^2}{МН}$	Коэффициент сжимаемости талых грунтов
t_{min}	°С	Среднемесячная температура поверхности грунта самого холодного месяца $$t_{min} = t_ф - \frac{(t_ф - t_в^{min})\xi_м}{\xi_н + 1{,}5\lambda_м \cdot \varkappa},$$ где $t_в^{min}$ - среднемесячная температура воздуха наиболее холодного месяца. Остальные параметры, входящие в формулу, даны в табл.I
$P_т$	МПа	Полное давление трубопровода на грунт основания с учетом всех факторов
C_1	МН/м^3	Коэффициент постели талого грунта. Рассчитывается по данной Рекомендации

Окончание табл. 2

I	2	3
$C_м$	Мн/м^3	Коэффициент постели мерзлого грунта. Рассчитывается по данной Рекомендации
τ	ч	Время промерзания грунта
ρ	м	Формирование фронта сезонноотаивающего мерзлого грунта над трубой. В расчете теплового взаимодействия трубопроводов с грунтом этот параметр обозначен через $\rho^{верх}_{разр}$.
$\rho_{м/л}$	м	Формирование фронта многолетнего оттаивания мерзлого грунта в основании трубопровода

2. МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ТЕПЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРУБОПРОВОДА С ПРОМЕРЗАЮЩИМИ И ПРОТАИВАЮЩИМИ ГРУНТАМИ

2.I. Расчет теплового взаимодействия трубопроводов с промерзающими и протаивающими грунтами осуществляют на основе приближенного решения задачи Стефана в классической постановке, когда предполагается наличие четких изотермических границ раздела фаз между талыми и мерзлыми зонами грунтов. Математически задача формулируется в виде системы дифференциальных уравнений теплопроводности, решаемых для талой и мерзлой зон грунта со следующими граничными условиями:

2.I.I. Условиями теплового баланса Стефана на подвижных границах раздела фаз талой и мерзлой зон грунта.

2.I.2. Граничными условиями 4-го рода на контакте неподвижных границ раздела различных слоев теплоизоляции трубопровода.

2.I.3. Граничными условиями первого рода на контуре трубы и на внешней границе рассматриваемой области грунта, где тепловое воздействие трубопровода на естественное температур-

ное поле грунта не сказывается и последнее не нарушается с точностью до 0,1°С.

2.1.4. Верхними граничными условиями, характеризующими сложный теплообмен (радиацией, конвекцией, турбулентной диффузией) дневной поверхности грунта с атмосферой с учетом динамики напочвенных покровов (растительного и снежного в зимнее время).

2.1.5. Верхние граничные условия во времени записываются в виде полного уравнения радиационно-теплового баланса подстилающей поверхности с атмосферой.

2.1.6. Алгоритм расчета теплового взаимодействия трубопровода с промерзающими и оттаивающими грунтами применим для трубопроводов различных конструктивных систем прокладок (наземной, открытой, наземной в насыпи, подземной) с учетом применения теплоизоляции в виде кругового кольца вокруг трубы или плоского теплоизоляционного экрана в основании трубопровода.

2.1.7. Грунт считается однородным, изотропным и его расчетные параметры усредняются для многослойного основания трубопровода. Алгоритм позволяет учесть 2-слойное неоднородное строение траншеи подземного трубопровода или насыпи наземного трубопровода, когда обратная засыпка траншеи или обваловка насыпи трубопровода осуществляется привозным инородным грунтом, имеющим существенно отличные физические свойства по сравнению с грунтом основания.

2.1.8. Нестационарные граничные условия аппроксимируются произвольными ступенчатыми функциями с постоянным шагом по времени, в частном случае равном одному месяцу (730 ч).

2.1.9. В настоящем алгоритме механическое взаимодействие трубопроводов с грунтами учитывается в самом первом приближении, а именно: на основе теплофизического анализа динамики фронтов промерзания и оттаивания грунта вокруг трубопровода с использованием только одномерных моделей морозного пучения грунта при его промерзании и осадки мерзлого грунта при его оттаивании. Это обусловлено тем обстоятельством, что до настоящего времени двухмерные модели механического взаимодействия трубопроводов с промерзающими пучинистыми и мерзлыми оттаивающими просадочными грунтами, несмотря на их исключительную важность, находятся только в стадии разработки.

2.I.IO. В качестве главной характеристики процессов пучения и осадки использовали понятия интенсивности пучения или осадки грунтов, которые характеризуются коэффициентами пучения K_p или осадки K_i, определяющими способность грунта к вертикальным деформациям dh в бесконечно малом слое $d\xi$:

$$K_{p,i} = \frac{dh}{d\xi}.$$

Причем, все закономерности морозного пучения и тепловой осадки грунтов относятся к показателям K_p и K_i, отражающим феноменологические причинно-следственные взаимосвязи между инженерно-геокриологическими факторами, обусловливающими пучение, осадку, и их механическим воздействием на трубопровод.

2.I.II. Такой подход позволяет получить величины оптимального заложения в грунт подземных и наземных в насыпи трубопроводов, транспортирующих продукт с отрицательной температурой, когда заведомо не будет происходить выпучивания трубопроводов. Для этого необходимо выполнение условия превышения усилий, действующих на трубопровод при промерзании грунта в основании трубопровода (смерзания трубопровода с вечномерзлым грунтом), над силами смерзания фронтов, движущихся с дневной поверхности грунта и от поверхности трубопровода.

2.2. Описание алгоритма вычислительного процесса. Алгоритм расчета теплового и механического взаимодействия трубопровода с окружающей средой включает три взаимосвязанных друг с другом алгоритма:

2.2.I. Алгоритм I реализует расчет формирования сезонных фазовых фронтов с дневной поверхности без учета влияния трубопровода;

2.2.2. Алгоритм 2 реализует расчет формирования сезонных фазовых фронтов вверх с поверхности трубопровода и вниз с дневной поверхности над трубопроводом;

2.2.3. Алгоритм 3 реализует расчет формирования как сезонных, так и многолетних фазовых фронтов (ореолов) в основании трубопровода.

2.3. В алгоритме I формирование сезонных фазовых фронтов с дневной поверхности определяется из решения трансцендентного уравнения

$$q = \frac{\left(q_{\varphi}^{верх} + \frac{\lambda_0}{2a_0}\left|t_n\right| + \left|\frac{\lambda_0}{a_0}t_f - \frac{\lambda_\infty}{a_\infty}t_\infty\right|\right)(\xi_n + \xi_{n-1} + 2\lambda_0\varkappa)\left|\xi_n - \xi_{n-1}\right|}{2\lambda_0\left|t_f - t_n\right|} -$$

$$- \frac{\frac{\lambda_0}{a_0}\left|t_n\right|(\lambda_0\varkappa)^2 \cdot \ell n\left|1 + \frac{\xi_n - \xi_{n-1}}{\xi_{n-1} + \lambda_0\varkappa}\right|}{2\lambda_0\left|t_f - t_n\right|}, \qquad (I)$$

где

$t_\infty = t_{вр}$, если процесс образования;

$t_\infty = t_f$, если процесс разрушения;

$$t_n = t_в + \frac{13{,}7(R - LE)}{\alpha_f}.$$

2.4. Формирование нижнего фазового фронта разрушения за счет геотермического градиента в толще основания определяется по формуле

$$\xi_K = \xi_{K-1} - \frac{54\lambda_\infty\left|t_f - t_\infty\right|}{\sqrt{\pi a_\infty}\, Q_\varphi^{верх}}, \qquad (2)$$

где к – индекс месяца разрушения.

В формулах (I), (2)

$$\lambda_0, a_0 = \begin{cases} \lambda_т^{верх}, a_т^{верх} & \text{при } t_n \geq t_f; \\ \lambda_м^{верх}, a_м^{верх} & \text{при } t_n < t_f; \end{cases}$$

$$\lambda_\infty, a_\infty = \begin{cases} \lambda_т^{низ}, a_т^{низ} & \text{при } t_n < t_f, \\ \lambda_м^{низ}, a_м^{низ} & \text{при } t_n \geq t_f. \end{cases}$$

2.5. Когда $\left|t_f - t_n\right| = 0$, расчет по формуле (I) не производится, а просто присваивается $\xi_n = \xi_{n-1}$, т.е. сохраняется прежнее состояние. Для характеристики типа процесса формирования фазовых фронтов с дневной поверхности вне зоны влияния трубопровода вводится число IPP (IPP = I – образование; IPP = = 2 – разрушение; IPP=3 – отсутствие фазовых процессов),и при задании вспомогательных фронтов $\xi'_{обр}$, $\xi'_{разр}$ анализируются фазовые процессы в начальный момент и формируется число IPP.

2.6. Выделяются 2 варианта:

2.6.I. $SIGN(t_n) = sign(t_\infty)$; при выполнении этого условия в зависимости от фазовых процессов (IPP) в n–I месяц:

процесс разрушения отсутствует, если IPP = 3;

процесс разрушения от поверхности и снизу продолжается, если IPP = 2;

начинается процесс разрушения от поверхности и одновременно снизу - от величины ореола образования, если IPP = I.

Расчет продолжается до тех пор, пока не будут выполняться условия:

$$\xi_{разр}^{верх} < \xi_{разр}^{низ},$$

после чего значения $\xi_{разр}^{верх}$, $\xi_{разр}^{низ}$, $\xi_{обр}$ зануляются.

2.6.2. При выполнении $SIGN(t_п) \neq sign\,(t_\infty)$ в зависимости от фазовых процессов (IPP) в n–I месяц:

процесс образования ореолов от поверхности продолжается, если IPP = I;

процесс образования ореолов начинается, если IPP = I.

2.7. В Алгоритме 2 (п.2.2.2) формирование сезонных фазовых фронтов вверх с поверхности трубопровода определяется из решения уравнения

$$\tau = \frac{\left\{Q_ф^{верх} + \left|\frac{\lambda_0}{a_0} t_f - \frac{\lambda_\infty}{a_\infty} t_\infty\right|\right\}\rho_п\left|\rho_п - \rho_{п-1}\right|\left[\ell п\,\frac{2\rho_п}{d_н} + \frac{\lambda_0}{\lambda_{из}}\,\ell п\,\frac{d_н}{d_0}\right]}{\lambda_0\left|t_f - t\right|} +$$

$$+ \frac{\left|\rho_п - \rho_{п-1}\right|}{2a_0}\left[\rho_п - \frac{\rho_п^2 - \frac{d_н^2}{4}\left(1 - \frac{2\lambda_0}{\lambda_{из}}\,\ell п\,\frac{d_н}{d_0}\right)}{2\rho_п\left(\ell п\,\frac{2\rho_п}{d_н} + \frac{\lambda_0}{\lambda_{из}}\,\ell п\,\frac{d_н}{d_0}\right)}\right], \qquad (3)$$

где $d_н = d_0 + 2\delta_{из}$;

$$\lambda_0, a_0 = \begin{cases} \lambda_{Т_{верх}}^{верх},\ a_{Т_{верх}}^{верх} & \text{для } \mathit{Ч} = -I, \\ \lambda_м^{верх},\ a_м^{верх} & \text{для } \mathit{Ч} = I; \end{cases}$$

$$\lambda_\infty, a_\infty = \begin{cases} \lambda_м^{верх},\ a_м^{верх} & \text{для } \mathit{Ч} = -I, \\ \lambda_Т^{верх},\ a_Т^{верх} & \text{для } \mathit{Ч} = +I; \end{cases}$$

$$t_\infty = \begin{cases} t_п & \text{для ТРВ} = 3; \\ t_f & \text{для ТРВ} \neq 3. \end{cases}$$

2.8. Формирование сезонных фазовых фронтов с дневной поверхности над трубопроводом определяется из решения уравнения

$$\tau = \frac{\left(Q_{\varphi}^{верх} + \frac{\lambda_0}{2a_0}|t_n| + \left|\frac{\lambda_0}{a_0}t_f - \frac{\lambda_\infty}{a_\infty}t_\infty\right|\right)\left(y_n + y_{n-1} + 2\lambda_0\varkappa\right)\left|y_n - y_{n-1}\right| - \frac{\lambda_0}{a_0}|t_n|\left(\lambda_0\varkappa\right)^2 \ell n\left|1 + \frac{y_n - y_{n-1}}{y_{n-1} + \lambda_0\varkappa}\right|}{2\lambda_0|t_f - t_n|}, \quad (4)$$

где

$$\lambda_0, a_0 = \begin{cases} \lambda_т^{верх},\ a_т^{верх} & \text{для } L = -1, \\ \lambda_м^{верх},\ a_м^{верх} & \text{для } L = +1; \end{cases}$$

$$\lambda_\infty, a_\infty = \begin{cases} \lambda_м^{верх},\ a_м^{верх} & \text{для } L = -1, \\ \lambda_т^{верх},\ a_т^{верх} & \text{для } L = +1; \end{cases}$$

$$t_\infty = \begin{cases} t, & \text{если процесс образования,} \\ t_f, & \text{если процесс разрушения.} \end{cases}$$

2.9. В случае **одностороннего формирования фазовых фронтов** с дневной поверхности (при отсутствии процессов оттаивания и промерзания с поверхности трубопровода) решается уравнение (4), если $t_\infty = t$ при условии, что $y_n \le X$. Если $y_n > X$, то y_n присваивается значение X ($y_n = X$), где X находится из решения уравнения

$$\frac{\lambda_0|t_f - t_n|}{X + \lambda_0\varkappa} = \frac{\lambda_\infty|t_f - t|}{\left(h_0 + \frac{d_н}{2} - X\right)\left\{\ell n\left[1 + \frac{2(h_0 - X)}{d_н}\right] + \frac{\lambda_\infty}{\lambda_{из}}\ell n\frac{d_н}{d_0}\right\}}, \quad (5)$$

где

$$\lambda_0 = \begin{cases} \lambda_т^{верх} & \text{для } t_n > t_f, \\ \lambda_м^{верх} & \text{для } t_n \le t_f; \end{cases}$$

$$d_н = d_0 + 2\delta_{из}$$

$$\lambda_\infty = \begin{cases} \lambda_т^{верх} & \text{для } t > t_f, \\ \lambda_м^{верх} & \text{для } t \le t_f. \end{cases}$$

При $t = t_f$ расчет ведется только по уравнению (4). Когда $X > h_0$, значение X берется равным h_0.

2.IO. В случае одностороннего формирования фазовых фронтов с поверхности трубопровода (при отсутствии процессов промерзания и оттаивания с дневной поверхности) решается уравнение (3) при значении $t_\infty = t_п$ и условии, что $\rho_п \le X + \frac{d_н}{2}$. Если $\rho_п > X + \frac{d_н}{2}$, $\rho_п$ присваивается значение $2X + \frac{d_н}{2}$, т.е. $\rho_п = X + \frac{d_н}{2}$, где X находится из решения следующего уравнения:

$$\frac{\lambda_\infty |t_г - t_п|}{(h_0 + \frac{d_н}{2} - X) + \lambda_{\infty} X} = \frac{\lambda_0 |t_f - t|}{X \left\{ \ell n \frac{2X}{d_н} + \frac{\lambda_0}{\lambda_{из}} \ell n \frac{d_н}{d_0} \right\}}; \qquad (6)$$

при

$$t \neq t_f \qquad \lambda_0 = \begin{cases} \lambda_т^{верх}, & t > t_f, \\ \lambda_м^{верх}, & t \le t_f; \end{cases}$$

$$d_н = d_0 + 2\delta_{из} \qquad \lambda_\infty = \begin{cases} \lambda_{т верх}^{верх}, & t_п > t_f, \\ \lambda_{м}^{верх}, & t_п \le t_f. \end{cases}$$

При $t = t_f$ расчет ведется по уравнению (3). Когда X получается больше $|h_т|$, то его значение берется равным $|h_т|$.

2.II. Для характеристики типа процесса формирования фазовых фронтов с дневной поверхности и с поверхности трубопровода вводятся числа (IPB, ITB=I - образование; IPB, ITB=2 - разрушение, IPB, ITB=3 - отсутствие), задаются вспомогательные фронты $y_{обр}$, $y_{разр}$, $\rho_{обр}^{верх}$, $\rho_{разр}^{верх}$, анализируются фазовые процессы в начальный момент и формируются числа IPB, ITB.

2.I2. Выделяются 4 варианта расчета.

2.I2.I. I вариант - $SIGN(t_п) = SIGN(L) = SIGN(t)$. Характер фазовых процессов - разрушения сезонных ореолов или отсутствие процессов. В зависимости от фазовых процессов (IPB) в (n-I) месяце:

фазовые процессы от дневной поверхности отсутствуют, если IPB=3;

продолжается процесс разрушения, если IPB=2;

начинается процесс разрушения от величины ореола образования, если IPB=I.

Расчет продолжается до выполнения условия $y_{обр} \le y_{разр}$, после чего значения $y_{обр}$, $y_{разр}$ зануляются. Величину $y_{разр}$ рассчитывают из уравнения (4). Аналогично рассматриваются процессы разрушения вверх от трубопровода. В зависимости от ITB в n-I месяце:

фазовые процессы отсутствуют, если ITB=3;

продолжается процесс разрушения, если ITB=2;

начинается процесс разрушения от величины ореола образования, если ITB=I.

Расчет продолжается до выполнения условия $\rho_{обр}^{верх} \geq \rho_{разр}^{верх} \frac{d_н}{2}$, после чего $\rho_{обр}^{верх}$, $\rho_{разр}^{верх}$ зануляются (приравниваются $\frac{d_н}{2}$). Величина $\rho_{разр}^{верх}$ рассчитывается из уравнения (3).

2.I2.2. П вариант $-SIGN(t_п) \neq SIGN(L) \neq SIGN(t)$.

Характер фазовых процессов - образования сезонных ореолов вверх от трубопровода $\rho_{обр}^{верх}$ и вниз от дневной поверхности $y_{обр}$. В зависимости от ITB в п-I месяце:

образование сезонных ореолов вверх от трубопровода начинается, если ITB $\neq$ I;

продолжается, если ITB = I.

Расчет $\rho_{обр}^{верх}$ ведется из решения уравнения (3). Аналогично рассчитываются образования сезонных ореолов от дневной поверхности $y_{обр}$:

образования сезонных ореолов начинаются, если IPB $\neq$ I;

продолжаются, если IPB = I.

$y_{обр}$ рассчитывается из уравнения (4).

При выполнении условия $\rho_{обр}^{верх} + y_{обр} \geq |h_т|$ происходит смена знака состояния грунта над трубопроводом ($L = -L$), прекращаются фазовые процессы от дневной поверхности и вверх от трубопровода (IPB = ITB = 3).

2.I2.3. Ш вариант - $SIGN(t_п) \neq SIGN(L) = SIGN(t)$.

Вниз от дневной поверхности рассчитывают сезонные образования $y_{обр}$. В зависимости от фазовых процессов над трубопроводом в п-I месяц:

рассчитываются односторонние образования ореолов от поверхности $y_{обр}$, если ITB = 3.

При выполнении условия $y_{обр} \geq h_0$ происходит смена знака состояния грунта над трубопроводом ($L = -L$), прекращаются фазовые процессы от поверхности (IPB = 3). Односторонние образования рассчитываются по формуле (5);

рассчитываются сезонные образования ореолов от поверхности $y_{обр}$ и разрушения вверх от трубопровода $\rho_{разр}^{верх}$, если ITB = I или ITB = 2.

При выполнении условия $y_{обр} + \rho_{обр}^{верх} \geq |h_т|$ происходит смена знака состояния грунта ($L = -L$) и фазовых процессов (IPB = 3, ITB = I). Если это условие не выполняется, условием конца разрушения является

$$\rho_{разр}^{верх} \geq \rho_{обр}^{верх},$$

после чего $\rho_{разр}^{верх}$, $\rho_{обр}^{верх}$ зануляются и ITB = 3 (см.табл.I).

2.I2.4. IУ вариант - $SIGN(t_п) = SIGN(L) \neq SIGN(t)$. Вверх от трубопровода рассчитывают сезонные образования $\rho_{обр}^{верх}$. В зависимости от фазовых процессов над трубопроводом в п-I месяц:

рассчитываются односторонние сезонные образования от трубы вверх $\rho_{обр}^{верх}$, если IPB = 3;

при условии $\rho_{обр}^{верх} \geq |h_т|$ происходит смена знака состояния грунта над трубопроводом ($L = -L$), прекращаются фазовые процессы от трубы (ITB = 3). Для расчета $\rho_{обр}^{верх}$ используется уравнение (6);

рассчитываются сезонные образования от трубы $\rho_{обр}^{верх}$ и разрушения от дневной поверхности $y_{разр}$, если IPB = I или IPB = 2. При условии $y_{обр} + \rho_{обр}^{верх} \geq |h_т|$ происходит смена знака состояния грунта ($L = -L$) и смена фазовых процессов ($y_{обр} = y_{разр}, y_{разр} = 0, \rho_{обр}^{верх} = \frac{d_н}{2}$, ITB = 3, IPB = I). Если же условие не выполняется, условием конца разрушения является $y_{разр} \geq y_{обр}$, после чего $y_{разр}, y_{обр}$ зануляются и IPB = 3.

2.I3. В алгоритме 3 (п.2.2.3) формирование фазовых фронтов в основании трубопроводов описывается следующей системой уравнений:

$$q = \frac{\left(Q_ф^{низ} + \left|\frac{\lambda_0}{a_0} t_f - \frac{\lambda_\infty}{a_\infty} t_\infty\right|\right) \cdot \rho_п \cdot |\rho_п - \rho_{п-1}| \left[\ell n \frac{2\rho_п}{d_н} + \frac{\lambda_0}{\lambda_{из}} \ell n \frac{d_н}{d_0}\right]}{\lambda_0 \cdot |t_f - t|} +$$

$$+ \frac{|\rho_п - \rho_{п-1}|}{2 a_0} \left[\rho_п - \frac{\rho_п^2 - \frac{d_н^2}{4}\left(1 - \frac{2\lambda_0}{\lambda_{из}} \ell n \frac{d_н}{d_0}\right)}{2\rho_п \left(\ell n \frac{\rho_п}{d_н} - \frac{\lambda_0}{\lambda_{из}} \ell n \frac{d_н}{d_0}\right)}\right], \quad (7)$$

где

$$\lambda_0, a_0 = \begin{cases} \lambda_т^{низ}, a_т^{низ} & \text{для } L = -1; \\ \lambda_м^{низ}, a_м^{низ} & \text{для } L = 1, \end{cases} \qquad \lambda_\infty, a_\infty = \begin{cases} \lambda_м^{низ}, a_м^{низ} & \text{для } L = -1; \\ \lambda_т^{низ}, a_т^{низ} & \text{для } L = 1; \end{cases}$$

$$t_\infty = \begin{cases} t_{гр} & \text{для} \quad IT \leq 1, \\ t_f & \text{для} \quad IT > 1 ; \end{cases}$$

$$\left.\begin{aligned} \rho^н &= \frac{d_н}{2} + 0{,}7\left(\rho_п - \frac{d_н}{2}\right) && \text{при } h_т > \frac{h_н}{2} ; \\ \rho^н &= \frac{d_н}{2} + \left(\rho_п - \frac{d_н}{2}\right)\left[1 - 0{,}3\,\frac{2h_т + d_н}{h_н + d_н}\right] && \text{при } -\frac{d_н}{2} \leq h_т \leq \frac{h_н}{2} ; \\ \rho^н &= \rho_п && \text{при } h_т < -\frac{d_н}{2} ; \end{aligned}\right\} \quad (8)$$

$$\left.\begin{aligned} \rho^0 &= \frac{d_н}{2} + \left(\rho_п - \frac{d_н}{2}\right)\left[1 - 0{,}4\left(\frac{2h_т}{d_н} + 1\right)\right] && \text{при } h_т > -\frac{d_н}{2} ; \\ \rho^0 &= \rho_п && \text{при } h_т < -\frac{d_н}{2} ; \end{aligned}\right\} \quad (9)$$

$$\left.\begin{aligned} Q_а^{верх} &= \frac{K^{верх}\,\varphi^{верх}\,d_н\,(t_в - t)}{2} ; \\ Q_а^{низ} &= \frac{K^{низ}\,\varphi^{низ}\,d_н\,(t_\infty - t)}{2} ; \\ Q_а &= Q_а^{верх} + Q_а^{низ} ; \end{aligned}\right\} \quad (10)$$

$$\left.\begin{aligned} Q_{гр}^{верх} &= -\frac{\lambda_0^{верх} \cdot \theta^{верх} \cdot t}{\ell n\,\frac{2\rho_п^{верх}}{d_н} + \frac{\lambda_0^{верх}}{\lambda_{из}}\,\ell n\,\frac{d_н}{d_0}} ; \\ Q_{гр}^{низ} &= -\frac{\lambda_0^{низ}\,\theta^{низ}\,t}{\ell n\,\frac{2\rho_п^{низ}}{d_н} + \frac{\lambda_0^{низ}}{\lambda_{из}}\,\ell n\,\frac{d_н}{d_0}} ; \\ Q_{гр} &= Q_{гр}^{верх} + Q_{гр}^{низ} ; \\ Q_{сум} &= Q_а + Q_{гр} ; \end{aligned}\right\} \quad (11)$$

(12)

$$\left.\begin{aligned} K_{верх}^{п.н.а} &= \frac{1}{\frac{d_н}{2\lambda_{из}}\,\ell n\,\frac{d_н}{d_0} + \frac{1}{\alpha_{2\,верх}^{п.н.а}}} ; \\ K_{низ}^{п.н.а} &= \frac{1}{\frac{d_н}{2\lambda_{из}} \cdot \ell n\,\frac{d_н}{d_0} + \frac{1}{\alpha_{2\,низ}^{п.н.о}}} . \end{aligned}\right\}$$

2.I3.I. Для решения системы уравнений (7)-(I2) необходимо задать зависимости изменения коэффициента внешней теплоотдачи α_2, температуры окружающей среды t_s для различных систем прокладок:

$$\left.\begin{aligned}\alpha_{2\,верх}^{п} &= \frac{2\lambda_0^{верх}}{d_н \ell n\left\{\frac{2h_S}{d_н}\left(1+\sqrt{1+\frac{d_н}{h_S}}\right)+1\right\}};\\ \alpha_{2\,низ}^{п} &= \frac{2\lambda_0^{низ}}{d_н \cdot \ell n\left\{\frac{2h_S}{d_н}\left(1+\sqrt{1+\frac{d_н}{h_S}}\right)+1\right\}};\\ h_S &= \left|h_т + \frac{d_н}{2}\right| + \lambda_0 \varkappa\ ;\end{aligned}\right\} \quad (I3),\ (I4)$$

$$\alpha_2^{н} = \frac{\dfrac{\beta}{\pi d_н\left[\frac{1}{\lambda_0^{верх}} \ell n \frac{2(h_н - h_т)}{d_н} + \frac{1}{(h_н - h_т)\alpha_в}\right]} + \left(1-\frac{\beta}{2\pi}\right) d_н \cdot K_{верх}^{п}}{1-\left(1-\frac{\beta}{2\pi}\right)}$$

$$при \begin{cases} y_{NIPB} = 0 \ \text{и}\ \rho_н^{верх} = \dfrac{d_н}{2}, \\ y_{NIPB} = 0 \ \text{и}\ \rho_н^{верх} \geqslant (h_н - h_т - y_{NIPB}); \end{cases}$$

$$\alpha_2^{н} = \frac{2\lambda_0^{верх}}{d_н \ell n\left\{\frac{2(h_н - h_т - \frac{d_н}{2} - y_{NIPB}}{d_н}\left(1+\sqrt{1+\frac{d_н}{h_н - h_т - \frac{d_н}{2} - y_{NIPB}}}\right)+1\right\}} \quad (I5)$$

$$при \begin{cases} h_т < -\dfrac{d_н}{2} \ \text{и}\ y_{NIPB} \neq 0, \\ \rho_н^{верх} = \dfrac{d_н}{2}; \end{cases}$$

$$\alpha_2^{н} = \frac{2\lambda_0^{верх}}{d_н \ell n \frac{2(h_н - h_т - y_{NIPB})}{d_н}} \quad при\ h_т > -\frac{d_н}{2}\ \text{и}\ y_{NIPB} \neq 0, \rho_н^{верх} = \frac{d_н}{2};$$

$$\alpha_2^{н} = \frac{2\lambda_0^{верх}}{d_н \ell n \frac{2\rho_н^{верх}}{d_н}} \quad при\ y_{NIPB} \geqslant 0\ \text{и}\ \frac{d_н}{2} < \rho_н^{верх} < (h_н - h_т - y_{NIPB})$$

$$\begin{cases} \beta = 0 & \text{при } h_т < -\dfrac{d_н}{2}; \\ \beta = 2\arccos\dfrac{h_т}{h_н - h_т} & \text{при } -\dfrac{d_н}{2} \le h_т \le 0; \\ \beta = 2\pi - 2\arccos\dfrac{h_т}{h_н - h_т} & \text{при } 0 \le h_т \le \dfrac{h_н}{2}; \\ \beta = 2\pi & \text{при } h_т > \dfrac{h_н}{2}; \end{cases} \qquad (16)$$

$$\left.\begin{aligned} \alpha_2^0 &= \frac{\gamma}{2\pi}\alpha_2^в + \frac{2\lambda_0\left(1-\frac{r}{2\pi}\right)}{d_н \ell n\left\{\frac{2\lambda_0 \varkappa}{d_н}\left(1+\sqrt{1+\frac{d_н}{\lambda_0\varkappa}}\right)+1\right\}}; \\ \gamma &= 2\arccos\frac{2|h_т|}{d_н} \quad при\ h_т \le 0; \\ \gamma &= 2\pi - 2\arccos\frac{2h_т}{d_н} \quad при\ h_т > 0. \end{aligned}\right\} \qquad (17)$$

2.13.2. Температура окружающей среды для надземного трубопровода

$$t_s^а = t_в + \frac{8{,}72 \cdot R(1-A_т)}{\alpha_{2в}}. \qquad (18)$$

2.13.3. Для наземного открытого газопровода

$$t_s^0 = t_в + \frac{r \cdot \alpha_{2в}(t_s^а - t_s^н)}{\alpha^н_{2\,верх}\left[1+\gamma\left(\frac{\alpha_{2в}}{\alpha^н_{2\,верх}}-1\right)\right]} \qquad (19)$$

2.13.4. Для наземного в насыпи трубопровода:

$$t_s^н = t_f \qquad при\ y_{NIPB} > 0\ и\ \frac{d_н}{2} \le \rho_н^{верх} < (h_н - h_т - y_{NIPB});$$

$$t_s^н = \frac{(2\pi-\beta)\alpha^н_{2\,верх}(t_s^н - t_в)}{\beta\alpha_2^н + (2\pi-\beta)\alpha_2^н{}_{верх}} + t_в \qquad при \begin{cases} y_{NIPB}=0\ и\ \rho_н^{верх} = \dfrac{d_н}{2}, \\ y_{NIPB} \ge 0\ и\ \rho_н^{верх} > (h_н - h_т - y_{NIPB}) \end{cases} \qquad (20)$$

2.13.5. Для подземного трубопровода:

$$t_s^n = t_f \quad \text{при} \quad \begin{cases} \frac{d_н}{2} < \rho_n^{верх} < |h_т + y_{NIPB}|, \\ \rho_n^{верх} = \frac{d_н}{2} \;\; и \;\; y_{NIPB} \neq 0 \;\; и \;\; |h_т + y_{NIPB}| > \frac{d_н}{2}; \\ h_s \geq \rho_n^{верх} + |h_т| \;\; и \;\; \rho_n^{верх} \geqslant |h_т + y_{NIPB}|; \end{cases}$$

$$t_s^n = t_в - \frac{(t_в - t_ф) h_s}{\rho_n^{низ} + |h_т|} \quad \text{при} \quad h_s < \rho_n^{низ} + |h_т| \;\; и \;\; \rho_n^{верх} \geqslant |h_т + y_{NIPB}|; \qquad (21)$$

$$t_s^n = t_ф \quad \text{при} \quad h_s \geq 7; \qquad t_s^n = t_в - \tfrac{1}{7}(t_в - t_ф) h_s \quad \text{при} \quad h_s < 7 \Bigg\} \; и \;\; \rho_n^{верх} = \frac{d_н}{2} \;\; и \;\; y_{NIPB} = 0.$$

2.14. Параметры $\theta^{низ}$, $\theta^{верх}$, $\varphi^{низ}$, $\varphi^{верх}$ определяются:

2.14.1. Для подземного трубопровода

Если ITB = 3

$$\theta^{верх} = 0, \varphi^{верх} = \varphi^{низ} = \pi \quad при \begin{cases} IPB = 0 \\ или \\ IPB \neq 0 \; и \; \xi_{NIPP} \leqslant y_{NIPB} \end{cases};$$

если $IT = 0$, то $\theta^{низ} = 0$ и

$$\begin{cases} \theta^{верх} = 2\arccos\left|\frac{h_т + \xi_{NIPP}}{h_т + y_{NIPB}}\right|; \; \varphi^{верх} = 0; \; \varphi^{низ} = 2\pi - \theta^{верх} \; при \; |h_т| > \xi_{NIPP} - y_{NIPB}; \\ \theta^{верх} = 2\pi - 2\arccos\left|\frac{h_т + \xi_{NIPP}}{h_т + y_{NIPB}}\right|; \; \varphi^{верх} = 0; \; \varphi^{низ} = 2\pi - \theta^{верх} \; при \; |h_т| < \xi_{NIPP} - y_{NIPB}; \end{cases}$$

(22)

если $IT \neq 0$, то $\varphi^{низ} = 0$ и

$$\begin{cases} \varphi^{верх} = \varphi^{низ} = 0; \; \theta^{верх} = \theta^{низ} = \pi \quad при \; \rho_{NJAKT}^{низ} \leqslant |h_т + \xi_{NIPP}|; \\ \varphi^{верх} = 2\arccos\frac{|h_т + \xi_{NIPP}|}{\rho_{NJAKT}^{низ}}, \; \theta^{верх} = \pi - \varphi^{верх}; \; \theta^{низ} = \pi \; при \; |h_т| \geqslant \xi_{NIPP}; \\ \varphi^{верх} = 2\pi - 2\arccos\frac{|h_т + \xi_{NIPP}|}{\rho_{NJAKT}^{низ}}, \; \theta^{верх} = 0, \; \theta^{низ} = 2\pi - \varphi^{верх} \; при \; |h_т| < \xi_{NIPP}. \end{cases}$$

Если ITB ≠ 3
для любых
IPB и IT

$$\left\{\begin{array}{l}
\varphi^{верх}=\varphi^{низ}=0;\quad \theta^{верх}=\theta^{низ}=\pi;\\
\varphi^{верх}=2\arccos\dfrac{|h_T+\xi_{NIPP}|}{\rho^{верх}_{NITB}};\ \theta^{низ}=2\pi-\varphi^{верх};\ \varphi^{низ}=\theta^{верх}=0\\
\qquad при\left\{\begin{array}{l}|h_T|<\xi_{NIPP},\\ \rho^{верх}_{NITB}>|h_T+y_{NIPB}|;\end{array}\right.\\
\varphi^{верх}=2\pi-2\arccos\dfrac{|h_T+\xi_{NIPP}|}{\rho^{верх}_{NITB}};\ \theta^{низ}=2\pi-\varphi^{верх};\ \varphi^{низ}=\theta^{верх}=0\\
\qquad при\left\{\begin{array}{l}|h_T|\geq\xi_{NIPP},\\ \rho^{верх}_{NITB}>|h_T+y_{NIPB}|.\end{array}\right.
\end{array}\right.\qquad (23)$$

2.I4.2. Для наземного трубопровода в насыпи

Если ITB = 3 и
IT = 0, то

$$\theta^{низ}=0\ и\left\{\begin{array}{l}
если\ IPB=0,\ то\ \theta^{верх}=0;\ \varphi^{верх}=\varphi^{низ}=\pi;\\
\left\{\begin{array}{l}
\theta^{верх}=0,\ \varphi^{верх}=\varphi^{низ}=\pi\ \ при\ h_T<-\dfrac{d_H}{2}\ и\ \xi_{NIPP}\leq(y_{NIPB}-h_H);\\
\theta^{верх}=2\arccos\left|\dfrac{h_T+\xi_{NIPP}}{h_T-h_H-y_{NIPB}}\right|,\ \varphi^{верх}=0,\ \varphi^{низ}=2\pi-\theta^{верх}\\
\qquad при\left\{\begin{array}{l}h_T<-\dfrac{d_H}{2}\ и\\ |h_T|\geq\xi_{NIPP}>(y_{NIPB}-h_H);\end{array}\right.\\
\theta^{верх}=2\pi-2\arccos\left|\dfrac{h_T+\xi_{NIPP}}{h_T-h_H-y_{NIPB}}\right|,\ \varphi=0,\ \varphi=2\pi-\theta^{верх}\\
\qquad при\left\{\begin{array}{l}h_T<-\dfrac{d_H}{2}\ и\\ |h_T|<\xi_{NIPP}>(h_T+y_{NIPB});\end{array}\right.
\end{array}\right.\ \begin{array}{l}\text{если}\\ IPB\neq\\ \neq 0,\\ \text{то}\end{array}\\
\theta^{верх}=\beta,\ \varphi^{верх}=0,\ \varphi^{низ}=2\pi-\beta\quad при-\dfrac{d_H}{2}<h_T<\dfrac{h_H}{2};\\
\theta^{верх}=\pi,\ \varphi^{верх}=0,\ \varphi^{низ}=\pi\quad при\ h_T\geq\dfrac{h_H}{2}.
\end{array}\right.$$

Если $IT\neq 0$, то при любом IPB

$$\varphi^{низ}=0\ и\left\{\begin{array}{l}
\varphi^{верх}=\varphi^{низ}=0;\ \theta^{верх}=\theta^{низ}=0\quad при\ \rho^{низ}_{NJAKT}\leq|h_T+\xi_{NIPP}|;\\
\varphi^{верх}=2\arccos\left[(|h_T+\xi_{NIPP}|)/\rho^{низ}_{NJAKT}\right],\ \theta^{верх}=\pi-\varphi^{верх};\ \theta^{низ}=\pi\ при\ |h_T|\geq\xi_{NIPP};\\
\varphi^{верх}=2\pi-2\arccos\left[(|h_T+\xi_{NIPP}|)/\rho^{низ}_{NJAKT}\right],\ \theta^{верх}=0,\ \theta^{низ}=2\pi-\varphi^{верх}\\
\qquad при\ |h_T|<\xi_{NIPP}.
\end{array}\right.$$

Если ITB ≠ 3,
то при любых
IT и IPB,

если $\frac{d_н}{2} < \rho^{верх}_{NJAKT} < (h_н - h_т - y_{NJAKT})$, то $\theta^{верх} = \theta^{низ} = \pi$; $\varphi^{верх} = \varphi^{низ} = 0$;

если $\rho^{верх}_{NJAKT} \geq (h_н - h_т - y_{NIPB})$ то

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi^{верх} \approx 2\pi;\ \varphi^{низ} = \theta^{верх} = 0 \quad при\ h_т \geq \frac{h_н}{2}; \\ \theta^{низ} = 2\arccos\frac{h_т}{h_н - h_т},\ \varphi^{верх} = 2\pi - \theta;\ \varphi^{низ} = \theta^{верх} = 0 \quad при\ \frac{h_н}{2} > h_т \geq 0; \\ \theta^{низ} = 2\arccos\frac{|h_т + \xi_{NIPP}|}{\rho^{низ}_{NJAKT}},\ \varphi^{верх} = 2\pi - \theta;\ \varphi^{низ} = \theta^{верх} = 0 при\ h_т \leq 0. \end{array} \right\} \quad (25)$$

2.I4.3. Для наземного открытого трубопровода

Если JAKT ≠ 0, то

$$\theta^{верх} = \varphi^{низ} = 0 \text{ и } \left\{ \begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} \varphi^{верх} = 2\arccos\frac{2|h_т|}{d_н}, \\ \theta^{низ} = 2\pi - \varphi^{верх} \end{array} \right\} для\ h_т \leq 0; \\ \left. \begin{array}{l} \varphi^{верх} = 2\pi - \theta^{низ}, \\ \theta^{низ} = 2\arccos\frac{2h_т}{d_н} \end{array} \right\} для\ h_т > 0. \end{array} \right\} \quad (26)$$

ЕслиJAKT = 0, то $\theta^{низ} = \theta^{верх} = 0$;

$$\varphi^{низ} = 2\pi - \varphi^{верх};$$

$$\varphi^{верх} = \left\{ \begin{array}{ll} 2\arccos\frac{2|h_т|}{d_н} & при\ h_т \leq 0; \\ 2\pi - 2\arccos\frac{2h_т}{d_н} & при\ h_т > 0. \end{array} \right\} \quad (27)$$

2.15. При задании плоских теплоизоляционных экранов только при расчете ореолов в основании трубопровода в качестве $d_н$ берется фактическое его значение

$$d_н = d_0 + 2\delta_{из} \qquad \text{(экрана)}, \qquad (28)$$

во всех же остальных формулах в качестве $d_н$ необходимо брать d_0 (без учета толщины теплоизоляции).

3. РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРУБОПРОВОДОВ С ПУЧИНИСТЫМИ ГРУНТАМИ

3.1. Расчет включает определение перемещений и нагрузок, действующих на трубопроводы, для следующих случаев:

промерзания грунта только с поверхности (плоский фронт промерзания);

промерзания грунта только от поверхности трубопровода, транспортирующего охлажденный продукт (цилиндрический фронт промерзания);

совместного промерзания грунта как с поверхности, так и от трубопровода.

3.2. Перемещения в каждом из перечисленных случаев определяются так называемой "эффективной" мощностью промерзшего грунта, обусловленной началом и концом перемещения. Начало перемещений наступит в момент, когда силы, способствующие перемещению, превысят силы, препятствующие движению. Окончание перемещения трубопровода наступит либо с окончанием процесса пучения (окончание промерзания), либо в момент, когда возрастающие по какой-либо причине силы сопротивления превысят силы, способствующие перемещению.

Таким образом, "эффективная" мощность может быть определена из условия равновесия сил в процессе пучения грунта.

3.3. При промерзании грунта только с поверхности на трубопровод действуют силы, зависящие от положения границы плоского фронта промерзания относительно трубы.

3.3.1. При положении границы фронта промерзания между верхней образующей и осью трубы (рис.1, поз.а), т.е.

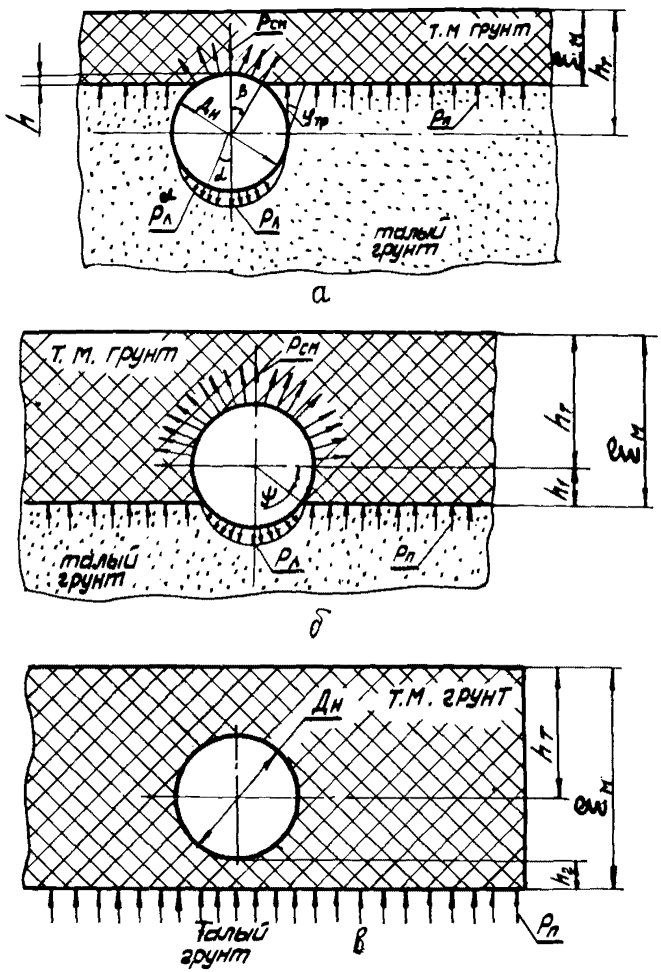


Рис.I. Схема действия сил на трубопровод при промерзании грунта с поверхности

$$h_т - 0{,}5D_н \le \xi_м \le h_т, \qquad (29)$$

перемещение трубопровода происходит под действием сил смерзания $q_{см}$ трубы с промерзшим слоем, перемещающимся вверх при дальнейшем промерзании грунта и увлекающим за собой трубу.

Перемещению препятствуют: вес трубы с газом $q_т$; вес грунта над трубой и сопротивление талого грунта сдвигу на отрезке от половины диаметра трубы до нижней границы фронта промерзания $q_{гр}$; силы, обусловленные или липкостью $q_л$ талого грунта с трубой по нижней образующей, или прочностью талого грунта при отрыве налипшего грунта от основного массива $q_{разр}$. Кроме того, необходимо учитывать интенсивность вертикальной нагрузки q на рассматриваемый элемент от влияния примыкающих участков трубопровода. Эта нагрузка определяется при расчете трубопровода при воздействии температуры и давления. На ровных участках с однородным пучинистым грунтом (по длине трубопровода) можно принять $q = 0$.

$$q_{см} = \frac{1}{2} K_{см} D_н^2 \frac{t_{min} \sin\left(\frac{\pi}{T_з}\tau\right)}{\xi_м} \left(\sin\beta - \frac{1}{4}\sin 2\beta - \frac{1}{2}\beta\right) + BD_н \sin\beta, \qquad (30)$$

где $K_{см}$ и B – коэффициенты пропорциональности, определяемые по табл.3.

Таблица 3

Вид грунта	Коэффициент пропорциональности $K_{см}$, МПа/град	B, МПа
Супесь	0,055	0,03
Суглинок	0,065	0,04
Глина	0,068	0,04

$$\beta = arccos\left(2\frac{h_т - \xi_м}{D_н}\right) = arccos\left(2\frac{h_т - \varepsilon\sqrt{\tau}}{D_н}\right), \text{ рад;} \qquad (31)$$

$$\xi_M = \varepsilon\sqrt{\tau}, \tag{32}$$

где

$$\varepsilon = \frac{\xi_g}{\sqrt{T_3}}, \tag{33}$$

ξ_g определяется по методике, изложенной в разд.2.

$$q_{гр} = \gamma_{гр}\left(h_T - \frac{1}{2}D_H\right)D_H + 0{,}107\gamma_{гр}D_H^2 + \frac{1}{4}\gamma_{гр}D_H^2\cos^2\beta\, tg\varphi_{гр} + \frac{cD_H\cos\beta}{\cos\varphi_{гр}}; \tag{34}$$

$$q_л = \frac{\pi}{4}p_л D_H; \tag{35}$$

$$q_{разр} = \sigma_{р.т}^{дл} D_H, \tag{36}$$

$p_л$ и $\sigma_{р.т}^{дл}$ определяются для различных грунтов по рис.2 в зависимости от влажности.

Перемещения трубопровода в рассматриваемом сечении начнется в момент, когда

$$q_{см} - q_1 - q_{гр} - q_т \pm q = 0. \tag{37}$$

Здесь величина q_1 равна меньшему из двух значений, определенных по формулам (35) и (36). Нагрузки $q_{см}$ и $q_{гр}$ являются функциями времени τ от начала промерзания грунта до начала перемещения. Поэтому τ находится при решении уравнения (37). Соответствующая этому времени минимальная глубина промерзания грунта ξ_{min}, при которой начинается смещение трубопровода в рассматриваемом сечении, определяется по формуле (32).

Пучение трубопровода заканчивается с окончанием промерзания грунта с поверхности, т.е. при ξ_g. Величину перемещения определяют по формуле

$$\Delta = h_{эф} \cdot K_p, \tag{38}$$

где

$$h_{эф} = \xi_g - \xi_{min}. \tag{39}$$

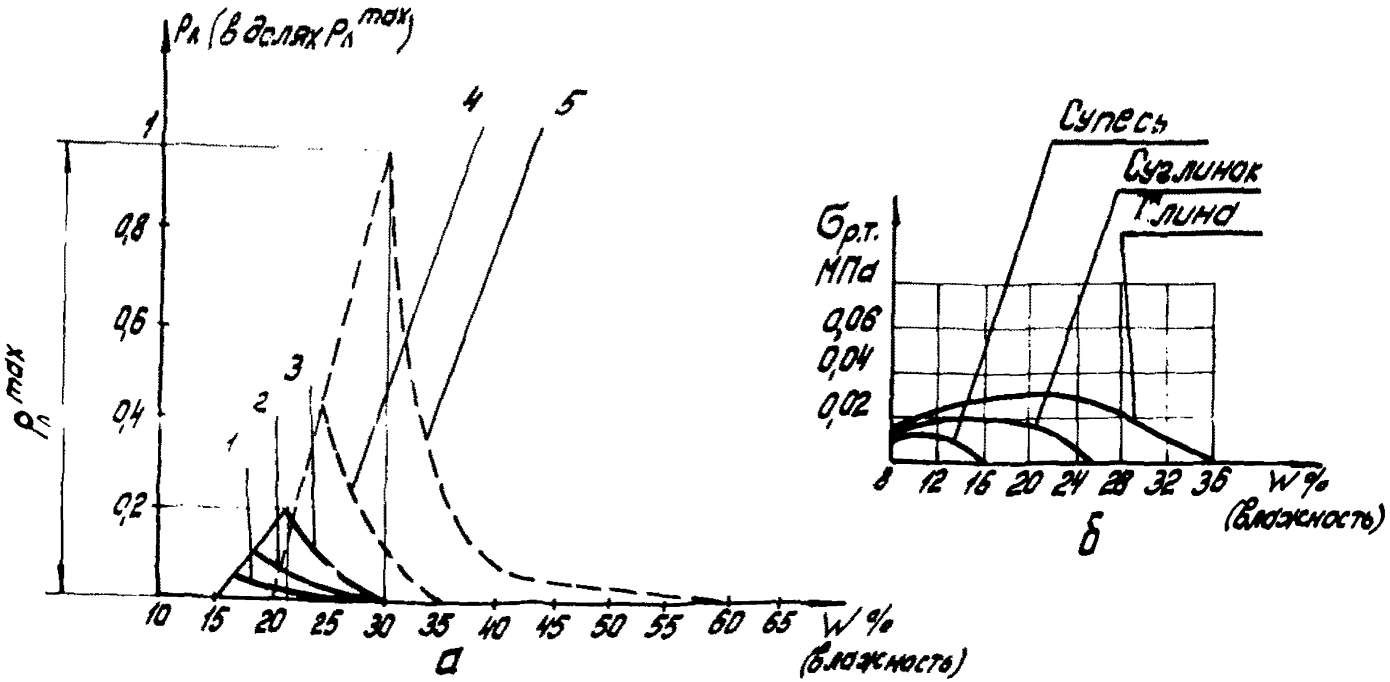


Рис.2. Зависимость липкости (а) и длительной прочности грунтов на растяжение от влажности (б):
I-супеси легкие, суглинки нарушенные полутвердой консистенции; 2-супеси тяжелые, суглинки легкие или нарушенного сложения; 3-суглинки средние и тяжелые нарушенного сложения; 4-глины легкие нарушенного сложения, глины тяжелые ненарушенного сложения; 5-глины тяжелые нарушенного сложения

Если $\xi_q < \xi_{min}$, следует принимать $\Delta = 0$.

Коэффициент морозного пучения K_p грунта следует определять при изысканиях по методике [10] . Если нет данных изысканий, ориентировочные значения K_p принимают по табл.4 [10].

Таблица 4

Вид грунта	Коэффициент K_p		
	Суглинок	Супесь	Песок пылеватый
Минеральный	0,II	0,II	0,II
Слабозаторфованный	0,I2	0,I2	0,09
Среднезаторфованный	0,II	0,09	0,07
Сильнозаторфованный	0,09	0,07	0,06

Примечание. Таблица составлена для грунтов естественного сложения. Для получения аналогичных данных по грунтам нарушенного сложения следует умножить табличное значение на поправочный коэффициент, равный 0,7 для суглинков и глин, и 0,8 для супесей.

3.3.2. Если сумма сил, препятствующих перемещению, больше $q_{см}$, т.е. если труба в рассматриваемом сечении не перемещается за весь период пока фронт промерзания выше оси трубопровода, необходимо рассматривать равновесие сил при положении фронта промерзания между осью трубы и нижней образующей (см.рис.I, поз.5), т.е.

$$h_т < \xi_м \leq h_т + \frac{1}{2} D_н . \qquad (40)$$

В этом случае к нагрузкам, вызывающим перемещение, добавляются нормальные силы пучения $q_п$, которые непосредственно начинают действовать на трубу, определяемые по формуле

$$q_п = \frac{1}{2} K D_н^2 \left(\sin \psi - \frac{1}{4} \sin 2\psi - \frac{1}{2} \psi \right), \qquad (4I)$$

где

К = 0,6 МН/м^3 - для среднепучинистых грунтов;

К = I МН/м^3 - для сильнопучинистых грунтов;

$$\psi = arc\,sin\left(2\frac{\varepsilon\sqrt{\tau}-h_T}{D_H}\right),\ \text{рад.} \qquad (42)$$

Силы смерзания, силы, обусловленные липкостью или прочностью талого грунта при отрыве, и сопротивление талого грунта сдвигу определяются по формулам (43)-(46):

$$q'_{см}=0{,}107K_{см}D_H^2\frac{t_{min}\sin\left(\frac{\pi}{T_3}\tau\right)}{\varepsilon\sqrt{\tau}}+\beta D_H; \qquad (43)$$

$$q'_л=\rho_л D_H\left[\frac{1}{2}\left(\frac{\pi}{2}-\psi\right)+\frac{1}{4}\sin 2\psi\right]; \qquad (44)$$

$$q'_{разр}=\sigma^{дп}_{р.т}D_H\cos\psi; \qquad (45)$$

$$q'_{гр}=\gamma_{гр}(h_T-0{,}5D_H)D_H+0{,}107\gamma_{гр}D_H^2. \qquad (46)$$

Из уравнения

$$q_{см}+q_п-q'_1-q_т-q'_{гр}\pm q=0 \qquad (47)$$

определяют время начала перемещения от начала промерзания τ, а затем по формуле (32) находят величину ξ_{min}. Величина q'_1 равна меньшей из двух, определенных по формулам (44) и (45). Величину перемещения определяют по формуле (38).

Если $\xi_g < \xi_{min}$, $\Delta = 0$.

3.3.3. Если

$$\xi_M > h_T + \frac{D_H}{2}, \qquad (48)$$

т.е. фронт промерзания ниже нижней образующей трубы (см.рис.I, поз.в), на трубу в рассматриваемом сечении действуют силы $q'_п$, $q'_{см}$, $q'_{гр}$, $q_т$ и q

$$q'_п=0{,}107KD_H^2+KD_Hh_2, \qquad (49)$$

где h_2 - мощность слоя промерзшего грунта под нижней образующей трубы.

Перемещения определяются так же, как и в п.3.3.I.

3.4. При промерзании грунта только от поверхности трубы (при транспорте охлажденного продукта) вокруг трубопровода формируется слой намерзшего грунта цилиндрической формы (цилиндрический фронт промерзания). Силы, действующие на трубо-

провод, зависят от диаметра намерзшего цилиндра (рис.3, поз. а).

Силы, вызывающие перемещение рассматриваемого сечения трубопровода (силы пучения $q_п^ц$), распределяются по нижней образующей цилиндра. Перемещению препятствуют вес трубы с продуктом и намерзшим грунтом $q_{т.м}^ц$, сопротивление талого грунта над трубой $q_{гр}^ц$, силы трения мерзлого цилиндра об окружающий талый грунт $f_{тр}$ и сила q, возникающая от влияния примыкающих участков трубопровода (см.п.3.3.I),

$$q_п^ц = \rho_п D_н . \qquad (50)$$

Значения $\rho_п$ для разных грунтов приведены в табл.5.

Таблица 5

Вид грунта	Относительные нормальные силы пучения $\rho_п$, МПа
Песок	0,025
Супесь	0,100
Суглинок	0,250
Глина	0,205

$$q_{т.м}^ц = q_т + \frac{\pi}{4}\gamma_{гр}(D_{т.м}^2 - D_н^2); \qquad (51)$$

$$q_{гр}^ц = \gamma_{гр} D_{т.м}(h_т - 0{,}39 D_{т.м}) + \gamma_{гр} h_т^2 tg\varphi_{гр} + \frac{Ch_т}{\cos\varphi_{гр}}; \qquad (52)$$

$$f_{тр} = \left[\rho_п D_{т.м} + \gamma_{гр} D_{т.м}(h_т - \frac{3}{4} D_{т.м}) tg^2(45° - \frac{\varphi_{гр}}{2})\right] tg\varphi_{гр} . \qquad (53)$$

Минимальную величину $D_{т.м}^{min}$, при которой начинается перемещение, определяют при решении уравнения

$$q_п^ц - q_{т.м}^ц - q_{гр}^ц - f_{тр} \pm q \qquad (54)$$

относительно $D_{т.м}$. Соответствующую ей минимальную толщину намерзшего слоя определяют по формуле

$$\delta_{т.м}^{min} = 0{,}5(D_{т.м}^{min} - D_н), \qquad (55)$$

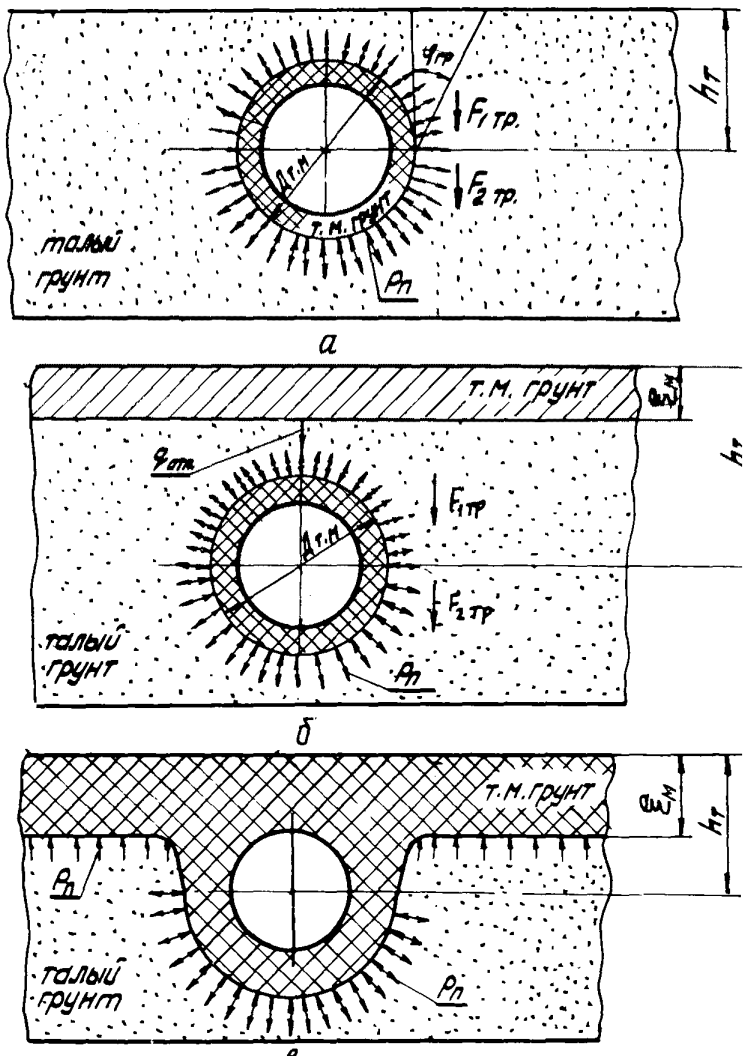


Рис.3. Схема действия сил на трубопровод при промерзании грунта от трубы и с поверхности

Окончание процесса пучения наступит с окончанием промерзания. Толщина намерзшего слоя при этом слое грунта равна

$$\delta_{т.м}^{max} = 0{,}5\left(D_{т.м}^{max} - D_н\right). \qquad (56)$$

$D_{т.м}^{max} = 2\rho_{м/л}$ определяют по табл.I настоящих Рекомендаций к моменту окончания промерзания. Величину перемещения определяют по формуле (38), в которой

$$h_{эф} = \delta_{т.м}^{max} - \delta_{т.м}^{min}. \qquad (57)$$

3.5. При одновременном промерзании грунта поверхности и от стенок трубы появляются два фронта промерзания - плоский и цилиндрический (см.рис.3, поз.б). До того момента, пока оба фронта не слились, образующийся на поверхности слой мерзлого грунта оказывает существенное влияние на перемещение трубопровода. Реакция этого слоя значительно уменьшает, а иногда и полностью прекращает пучение вплоть до того момента, пока не произойдет смыкание фронтов (см.рис.3, поз.б).

3.5.I. До смыкания плоского и цилиндрического фронтов промерзания (рис.3, поз.б) на трубопровод в рассматриваемом сечении действуют силы $Q_п^ч$, $Q_{т.м}^ч$, $Q_{1гр}^ч$, $f_{тр}$, $Q_{отп}$ (реакция отпора промерзшего слоя) и Q.

Величину $Q_{1гр}^ч$ определяют по формуле

$$Q_{1гр}^ч = \gamma_{гр} D_{т.м}\left(h_т - 0{,}39 D_{т.м}\right) + \gamma_{гр}\left(h_т - \xi_н\right)^2 tg\varphi_{гр} + \frac{c\left(h_т - \xi_н\right)}{\cos\varphi_{гр}}. \qquad (58)$$

Перемещение рассматриваемого сечения вверх будет продолжаться до тех пор, пока

$$Q_п^ч > Q_{т.м}^ч + Q_{1гр}^ч + f_{тр} + Q_{отп} \pm Q.$$

По мере сближения плоского и цилиндрического фронтов в результате перемещения вверх трубопровода и дальнейшего промерзания реакция отпора промерзшего с поверхности грунта возрастает. В тот момент, когда силы сопротивления перемещению будут равны силам пучения, движение прекратится. $Q_{отп}$ в момент прекращения перемещения определяют по формуле

$$Q_{отп} = Q_{п}^{ч} - Q_{1гр}^{ч} - Q_{т.м}^{ч} - f_{тр} \pm Q. \qquad (59)$$

Максимальное значение $Q_{отп}^{max}$ рассчитывают по формуле

$$Q_{отп}^{max} = Q_{т.м}^{ч} + f_{тр} + Q_{1гр}^{ч}\left(1 - \frac{\xi_м}{h_т}\right) + R_{гр.м}^{сж} D_{т.м} \frac{\xi_м}{h_т}. \qquad (60)$$

Перемещение трубопровода в рассматриваемом сечении от начала промерзания грунта от трубы и с поверхности до момента остановки рассчитывают по формулам:

$$\Delta = \frac{Q_{отп}}{D_{т.м}} \cdot \frac{1}{C_0}, \qquad (61)$$

где

$$C_0 = \frac{\xi_м}{h_т} C_м + \left(1 - \frac{\xi_м}{h_т}\right) C_т. \qquad (62)$$

Коэффициент постели талого грунта $C_т$ определяют по формуле

$$C_т = m\left(h_т - \frac{D_{т.м}}{2}\right), \qquad (63)$$

где m – коэффициент пропорциональности, кН/м^4, принимаемый в зависимости от вида грунта по табл.6.

Для грунтов с промежуточным значением характеристики J_L и e величины коэффициента m определяют интерполяцией. Коэффициент постели мерзлого грунта $C_м$ определяют по формуле

$$C_м = C_т(1 + g). \qquad (64)$$

Коэффициент g определяют для температуры фазовых превращений по графику на рис.4.

3.5.2. Дальнейшее перемещение трубопровода в рассматриваемом сечении начнется только в том случае, если после оттаивания промерзшего с поверхности грунта с мерзлым грунтом вокруг трубы (см.рис.3, поз.г) будет продолжаться движение талого фронта промерзания.

Таблица 6

	Вид грунта			
	Глины и суглинки текучепластичные ($0,75<J_L\leq 1$)	Глины и суглинки мягкопластичные ($0,5<J_L\leq 0,75$); супеси пластичные ($0\leq J_L\leq 1$); пески пылеватые ($0,6\leq e\leq 0,8$)	Глины и суглинки тугопластичные и полутвердые ($0\leq J_L\leq 0,5$); супеси твердые ($J_L<0$); пески мелкие ($0,6\leq e\leq 0,75$); то же средней крупности ($0,55\leq e\leq 0,7$)	Глины и суглинки твердые ($J_L<0$); пески крупные ($0,55\leq e\leq 0,7$)
Коэффициент m (кН/м^4)	500–2000	2000–4000	4000–6000	6000–10000

Примечание. Меньшие значения коэффициента m в табл.6 соответствуют более высоким значениям консистенции J_L глинистых грунтов и коэффициенту пористости e песчаных грунтов, указанным в скобках, а большие значения коэффициента m – соответственно более низким значениям.

Тогда полное перемещение при совместном промерзании грунта с поверхности и от трубопровода будет равно:

$$\Delta_{полн} = \Delta_1 + \Delta_2 ; \qquad (65)$$

$$\Delta_2 = (\xi_g - \xi_{см}) K_p , \qquad (66)$$

где $\xi_{см}$ – глубина промерзания грунта с поверхности, при которой происходит смыкание (касание) плоского и цилиндрического фронтов промерзания, м.

При $\xi_g < \xi_{см}$ $\Delta_2 = 0$.

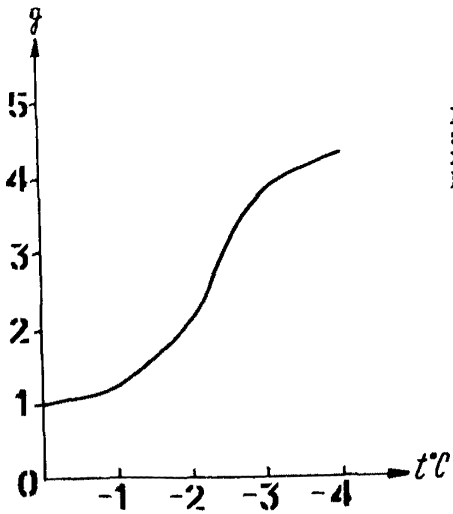


Рис.4. Значения коэффициента g в зависимости от температуры мерзлого грунта

4. РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРУБОПРОВОДОВ С ОТТАИВАЮЩИМИ МЕРЗЛЫМИ ГРУНТАМИ

Расчет включает определение нагрузок на трубопровод от действия вышележащего грунта и осадки оттаявшего под трубой грунта.

4.I. Погонная нагрузка от веса грунта над трубой может быть представлена в виде двух слагаемых: первое - вес столба грунта непосредственно над трубой, второе - нагрузка на трубу от призмы обрушения. Таким образом

$$q_{гр} = q_{1гр} + q_{2гр}. \qquad (67)$$

4.2. Трубопровод расположен в пределах сезонноталого грунта (рис.5), т.е.

$$\frac{D_н}{2} \leq h_т \leq h_{в.м} - \frac{D_н}{2}, \qquad (68)$$

4.2.1. Если подошва фронта промерзающего с поверхности грунта располагается над верхней образующей трубы, т.е.

$$0 \leq \xi_м \leq h_т - \frac{D_н}{2} \qquad (69)$$

и ореол протаивания над трубой расположен до подошвы промерзания, т.е.

$$0 \leq \rho \leq h_т - \frac{D_н}{2} - \xi_м, \qquad (70)$$

то величины $q_{1гр}$ и $q_{2гр}$ в формуле (67) определяют по следующим формулам:

$$q_{1гр} = \gamma_{гр} D_н (h_т - 0{,}39 D_н); \qquad (71)$$

$$q_{2гр} = \gamma_{гр} (h_т^2 - \xi_м^2) tg \varphi_{гр} - \frac{C(h_т - \xi_м)}{\cos \varphi_{гр}}. \qquad (72)$$

4.2.2. Если выполняется условие (68), а ореол протаивания над трубой расположен в пределах промерзающего с поверхности грунта, т.е.

$$h_т - \frac{D_н}{2} - \xi_м < \rho \leq h_т - \frac{D_н}{2}, \qquad (73)$$

то $q_{1гр}$ в формуле (67) определяют по формуле (71), а $q_{2гр}$ - по формуле

$$q_{2гр} = (D_н + 2\rho)(h_т - \frac{D_н}{4} - \frac{\rho}{2}) tg \varphi_{гр} - \frac{C(\frac{D_н}{2} + \rho)}{\cos \varphi_{гр}}. \qquad (74)$$

4.2.3. Если подошва фронта промерзания расположена между верхней образующей и осью трубы, т.е.

$$h_т - \frac{D_н}{2} < \xi_м \leq h_т \qquad (75)$$

и ореол протаивания над трубой равен

$$0 \leq \rho \leq \sqrt{\frac{D_н^2}{4} + (h_т - \xi_м)^2} - \frac{D_н}{2}, \qquad (76)$$

то $q_{1\,гр}$ определяют по формуле (71), а $q_{2\,гр}$ - по формуле (72).

4.2.4. Если выполняется условие (70), а ореол протаивания над трубой расположен в пределах

$$\sqrt{\frac{D_н^2}{4}+(h_т-\xi_м)^2}-\frac{D_н}{2}<\rho<h_т-\frac{D_н}{2}, \qquad (77)$$

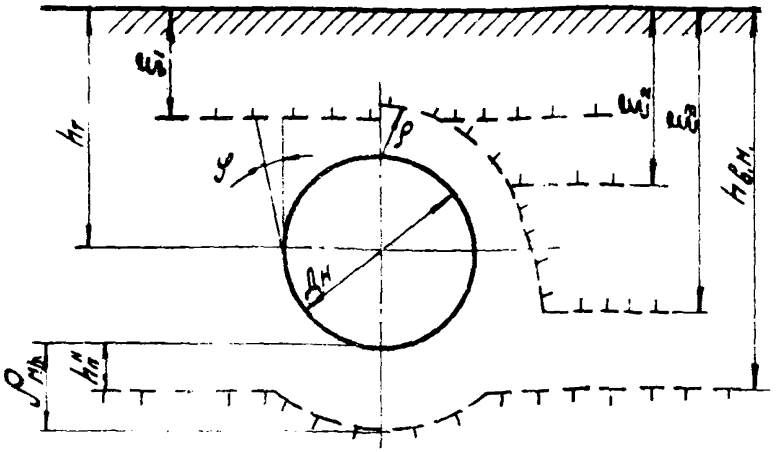
то $q_{1гр}$ определяют по формуле (71), а $q_{2гр}$ - по формуле

$$q_{2гр}=\gamma_{гр}\sqrt{\rho(D_н+\rho)}\left(2h_т-\sqrt{\rho(\rho+D_н)}\right)tg\varphi_{гр}-\frac{c\sqrt{\rho(\rho+D_н)}}{\cos\varphi_{гр}}. \qquad (78)$$

4.2.5. Если подошва фронта промерзания расположена между осью трубы и поверхностью вечномерзлого грунта, т.е.

$$h_т<\xi_м\le h_{в.м}, \qquad (79)$$

а ореол протаивания над трубой $\rho\ge 0$, то $q_{1гр}$ определяют по формуле (71), а $q_{2\,гр}$ - по формуле (78).



Вечномерзлый грунт

. Трубопровод, распо[illegible] в пределах деятельного

4.3. Трубопровод частично расположен в пределах вечномерзлого грунта; ось трубы находится в вечномерзлом грунте (рис.6), т.е.

$$h_{в.м} < h_т \leq h_{в.м} + \frac{D_н}{2}. \qquad (80)$$

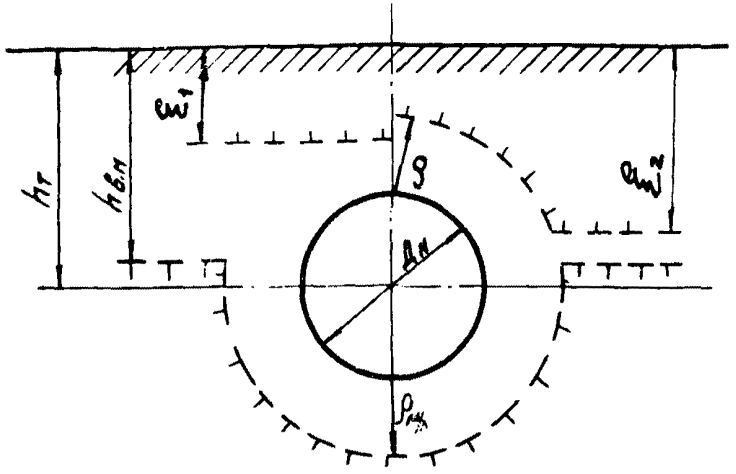


Рис.6. Трубопровод, частично расположенный в вечномерзлом грунте

4.3.1. Если подошва фронта промерзания грунта с поверхности располагается выше верхней образующей трубы, т.е.

$$0 \leq \xi_м \leq h_т - \frac{D_н}{2}, \qquad (81)$$

а ореол протаивания над трубой расположен до подошвы промерзания, т.е.

$$0 \leq \rho \leq h_т - \frac{D_н}{2} - \xi_н, \qquad (82)$$

то $q_{1гр}$ определяют по формуле (7I),а $q_{2гр}$ - по форму - ле (72).

4.3.2. Если выполняется условие (8I), а ореол протаива - ния над трубой расположен в пределах промерзающего с поверх - ности грунта, т.е.

$$\rho > h_т - \frac{D_н}{2} - \xi_м , \qquad (83)$$

то $q_{1гр}$ определяют по формуле (7I), а $q_{2гр}$ - по форму - ле (74).

4.3.3. Если подошва фронта промерзающего с поверхности грунта находится между верхней образующей трубы и поверхностью вечномерзлого грунта, т.е.

$$h_т - \frac{D_н}{2} < \xi_м \leq h_{в.м} , \qquad (84)$$

а ореол протаивания над трубой находится в пределах

$$0 \leq \rho \leq \sqrt{\frac{D_н^2}{4} + (h_т - \xi_м)^2} - \frac{D_н}{2} , \qquad (85)$$

то $q_{1гр}$ определяют по формуле (7I), а $q_{2гр}$ - по форму - ле (72).

4.3.4. Если выполняется условие (8I), а ореол протаива - ния над трубой расположен в пределах

$$\sqrt{\frac{D_н^2}{4} + (h_т - \xi_м)^2} - \frac{D_н}{2} < \rho < h_т - \frac{D_н}{2} , \qquad (86)$$

то $q_{1гр}$ определяют по формуле (7I), а $q_{2гр}$ - по формуле (78).

4.4. Трубопровод целиком расположен в вечномерзлом грун- те (рис.7), т.е.

$$h_т > h_{в.м} + \frac{D_н}{2} . \qquad (87)$$

4.4.I. Если подошва фронта промерзания грунта с поверхно- сти находится между поверхностью грунта и зоной вечномерзлого грунта, т.е.

$$0 \leq \xi_м \leq h_{в.м} , \qquad (88)$$

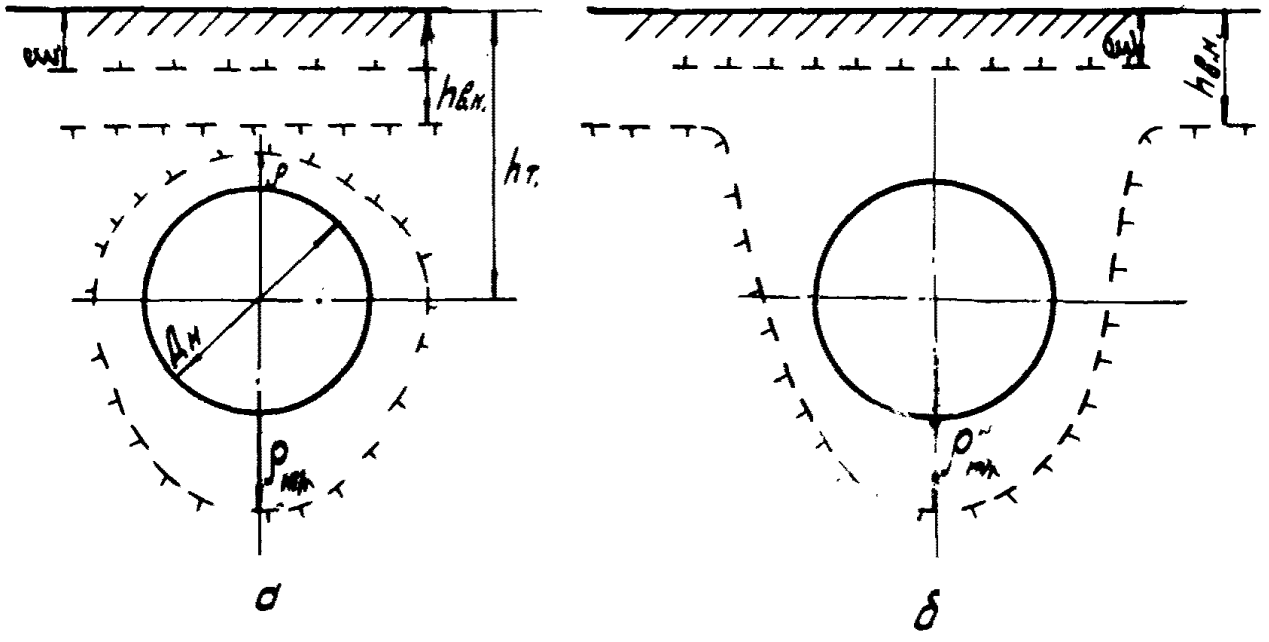


Рис.7. Трубопровод, полностью расположенный в вечномерзлом грунте:
а - ореол оттаивания над трубой не вышел за пределы вечномерзлого грунта; б - ореол оттаивания над трубой вышел за пределы вечномерзлого грунта

а ореол протаивания над трубой расположен в пределах вечномерзлого грунта, т.е.

$$0 \le \rho < h_T - \frac{D_H}{2} - h_{в.м}, \qquad (89)$$

то $q_{1гр}$ подсчитывают по формуле (71), а $q_{2гр}$ - по формуле

$$q_{2гр} = \gamma_{гр}\left(h^2 tg\varphi_{гр} + S\right) - \frac{Ch}{\cos\varphi_{гр}}, \qquad (90)$$

где

$$h = \sqrt{\rho\left(D_H + \rho\right)}; \qquad (91)$$

$$S = S_1 - F_1 - S_2; \qquad (92)$$

$$S_1 = \frac{1}{2}\left(\frac{D_H}{2} + \rho\right)^2 (\alpha - \sin\alpha); \qquad (93)$$

$$\alpha = 2\arcsin\frac{D_H + 2h\,tg\varphi_{гр}}{D_H + 2\rho}\ (рад); \qquad (94)$$

$$F_1 = D_H(H - h); \qquad (95)$$

$$H = \left(\frac{D_H}{2} + \rho\right)\cos\beta; \qquad (96)$$

$$\beta = 2\arcsin\frac{D_H}{D_H + 2\rho}\ (рад); \qquad (97)$$

$$S_2 = \frac{1}{2}\left(\frac{D_H}{2} + \rho\right)^2 (\beta - \sin\beta). \qquad (98)$$

4.4.2. Если выполняется условие (88), а ореол протаивания над трубой располагается за пределами вечномерзлого грунта ниже подошвы фронта промерзающего с поверхности сезонномерзлого грунта, т.е.

$$h_T - \frac{D_H}{2} - h_{в.м} < \rho \le h_T - \frac{D_H}{2} - \xi_м, \qquad (99)$$

то $q_{1гр}$ определяют по формуле (71), а $q_{2гр}$ - по формуле (72).

4.4.3. Если выполняется условие (88), а ореол протаивания над трубой вышел за пределы вечномерзлого грунта и располагается в пределах промерзающего с поверхности сезонномерзлого грунта, т.е.

$$h_T - \frac{D_H}{2} - \xi_M < \rho \leq h_T - \frac{D_H}{2}, \qquad (100)$$

то $q_{1гр}$ определяют по формуле (71), а $q_{2гр}$ - по формуле (74).

4.5. Осадку трубопровода в рассматриваемом сечении, если давление на грунт не превышает 0,02 МПа, можно определить по формуле

$$\delta_{oc} = (\rho_{м/л} - h_п^н) K_i, \qquad (101)$$

где

$$h_п^н = h_{в.м} - (h_T + \frac{D_H}{2}). \qquad (102)$$

Если величина $h_п^н$, вычисленная по формуле (102), отрицательна, следует принимать $h_п^н = 0$.

В том случае, если давление на грунт превышает 0,02 МПа, осадку следует определять по формуле

$$\delta_{oc} = K_i (\rho_{м/л} - h_п^н) + a \rho_T (\rho_{м/л} - h_п^н). \qquad (103)$$

Коэффициент сжимаемости a талых грунтов связан с модулем деформации условием [11]:

$$a = \frac{0,8}{E}. \qquad (104)$$

5. РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ НА ЭВМ

5.1. Структура программы. Программа PIPE5 включает головную программу TAMIPE и подпрограммы ВВОД и BFX (рис.8). Программа TAMIPE содержит 5 внутренних блоков (блоки 1-5), реализующих расчеты процессов взаимодействия трубопровода с окружающей средой. Общая характеристика программ приведена в табл.7.

5.2. Все блок-схемы программ составлены в соответствии с ГОСТ 19.003-80 [8]. Укрупненная блок-схема программы TAMIPE представлена на рис.9 (см.табл.I).

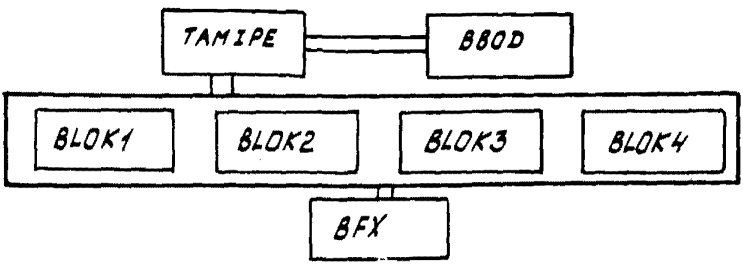


Рис.8. Схема взаимодействия программ

Таблица 7

Наименование программы	Назначение программы
TAMIPE	Головная программа осуществляет взаимосвязь между подпрограммами и реализует расчет процессов теплового и механического взаимодействия трубопроводов с окружающей средой в виде следующих внутренних блоков: блок I - где производится расчет по алгоритму № I; блок 2 - где производится расчет по алгоритму № 2; блок 3 - где производится расчет по алгоритму № 3; блок 4 - где выполняется расчет динамики движения фронтов вокруг трубопроводов для различных систем прокладок (подземной, наземной, открытой, наземной в насыпи);

Окончание табл. 7

Наименование программы	Назначение программы
	блок 5 - где выполняется расчет осадки и пучения трубопровода, теплопотоков по периметру трубы и печать результатов счета
ВВОД	Подпрограмма ввода и печати исходных параметров
BFX	Подпрограмма решения трансцендентных уравнений для расчета динамики фронтов промерзания и оттаивания, формирующихся как с поверхности трубопровода, так и с дневной поверхности грунта

5.2.I. С помощью подпрограммы ВВОД осуществляют ввод и печать в виде таблиц исходных параметров, а в блоках ДI-3 - перебор с учетом года (цикл по JT) и данного месяца (N) эксплуатации газопровода. В блоках I и 5 реализуется вычислительный процесс взаимодействия трубопроводов с окружающей средой.

5.2.2. Блок-схемы представлены на рис.IO-I5.

5.2.3. Блок-схема (рис.IO) отражает вычислительный процесс по алгоритму I - процесс формирования фазовых сезонных фронтов с дневной поверхности грунта без учета влияния трубопровода. В блоках AI-FI анализируются фазовые процессы в начальный момент (исходное состояние), формируется число IPP, анализируется окончание (продолжение) процессов пучения.

В зависимости от соотношения знаков температуры поверхности грунта и температуры грунта, а также с учетом числа фазовых фронтов в n-I месяце (IPP) выделяются варианты:

отсутствия фазовых фронтов - блоки A2, B2;

начала или продолжения процессов разрушения фазового фронта - блоки C2-D3;

начала или продолжения процессов формирования сезонных фазовых фронтов - блоки E3 - C4.

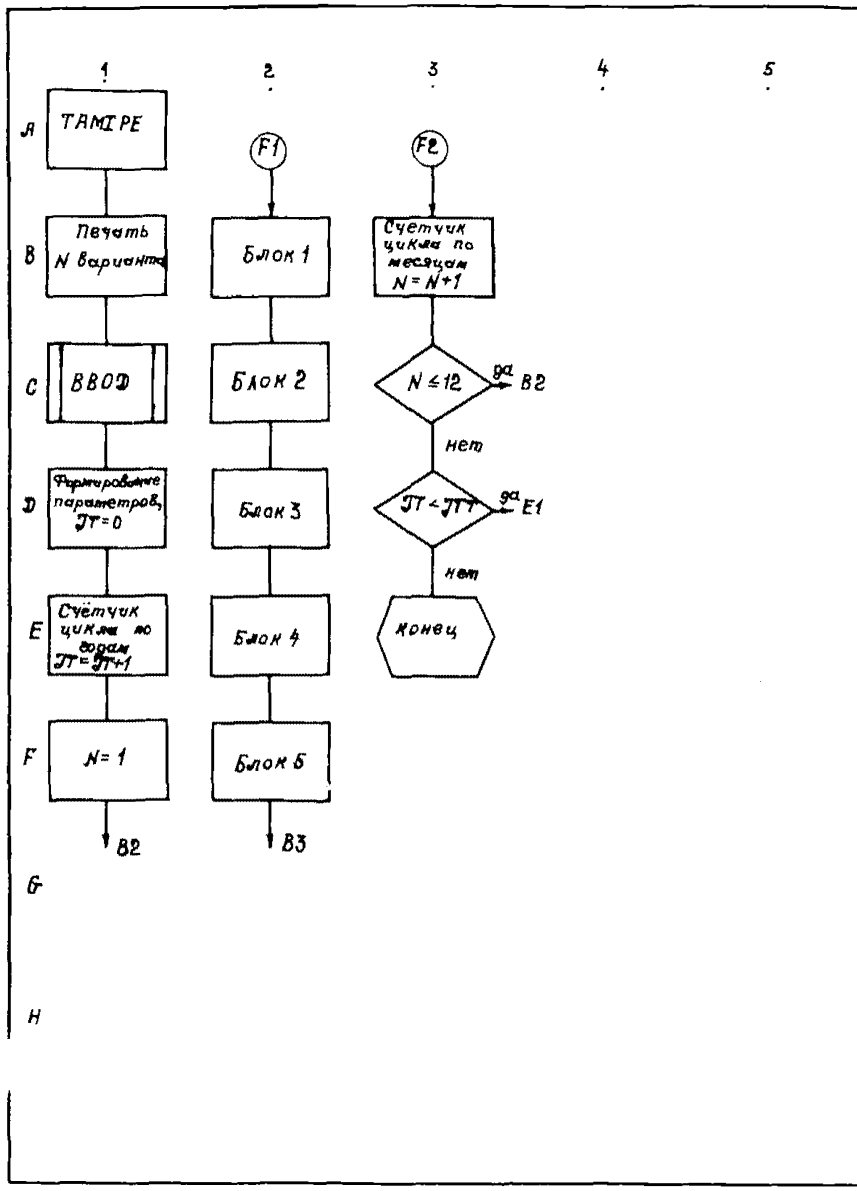


Рис.9. TAMIPE. Головная программа

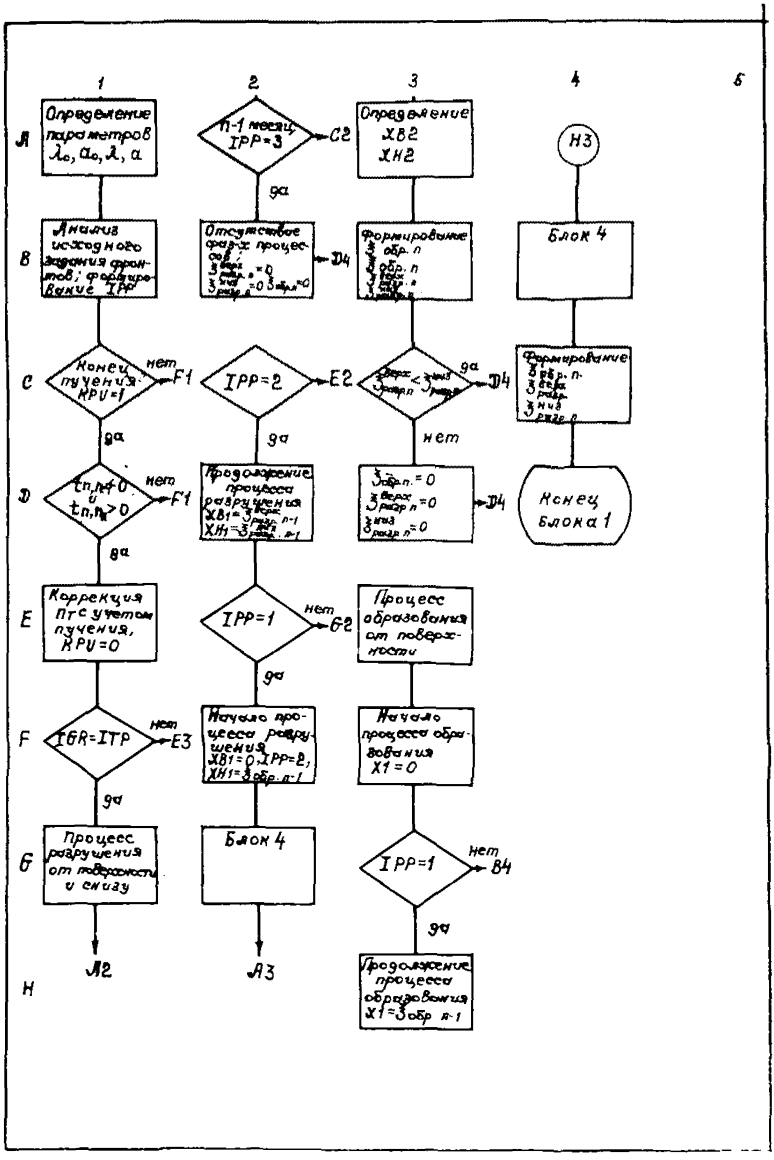


Рис.10. Блок I. Расчет фазовых процессов от дневной поверхности без трубопровода

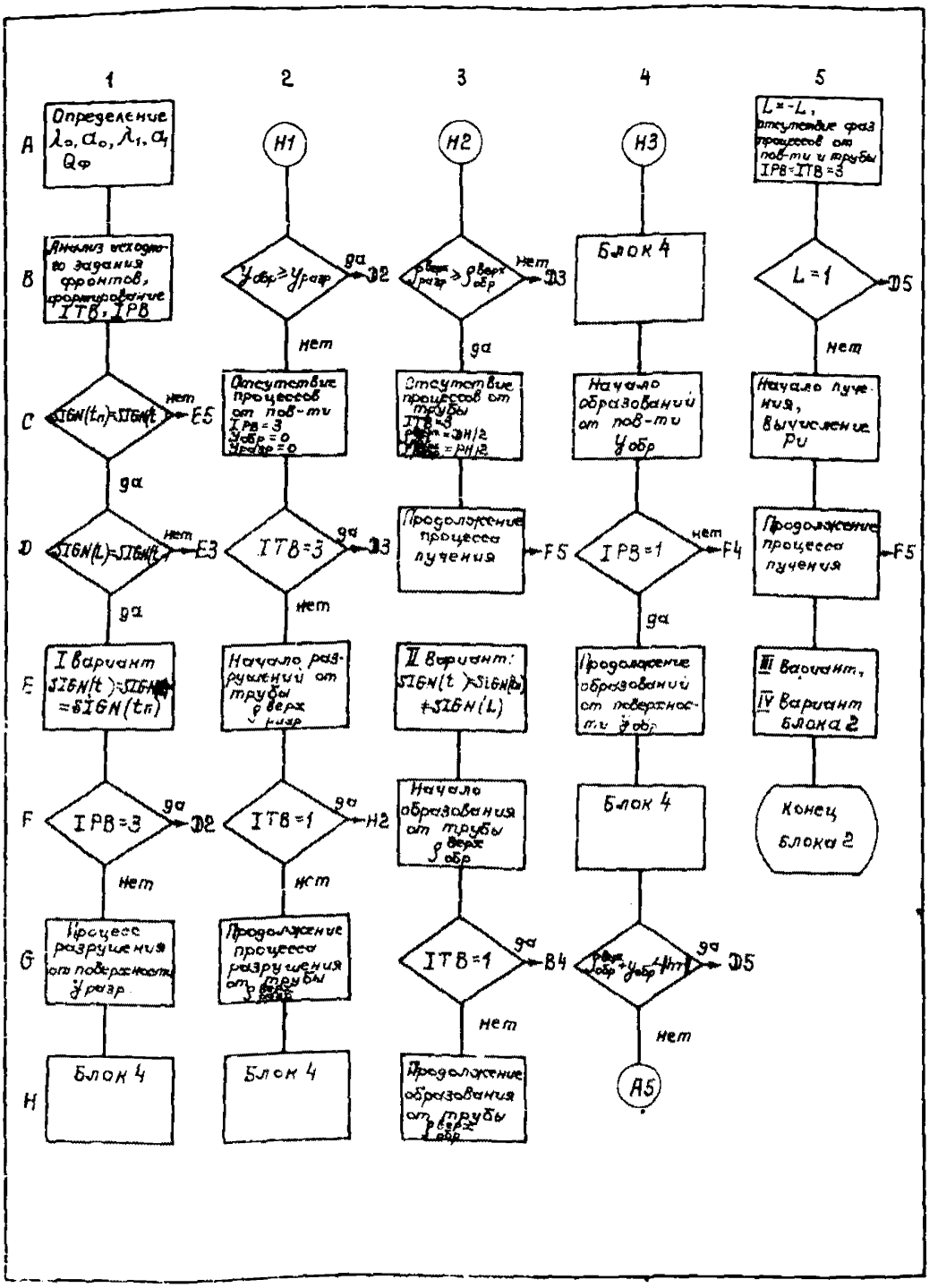


Рис.II. Блок 2 (I, II варианты). Расчет фазовых процессов над трубопроводом

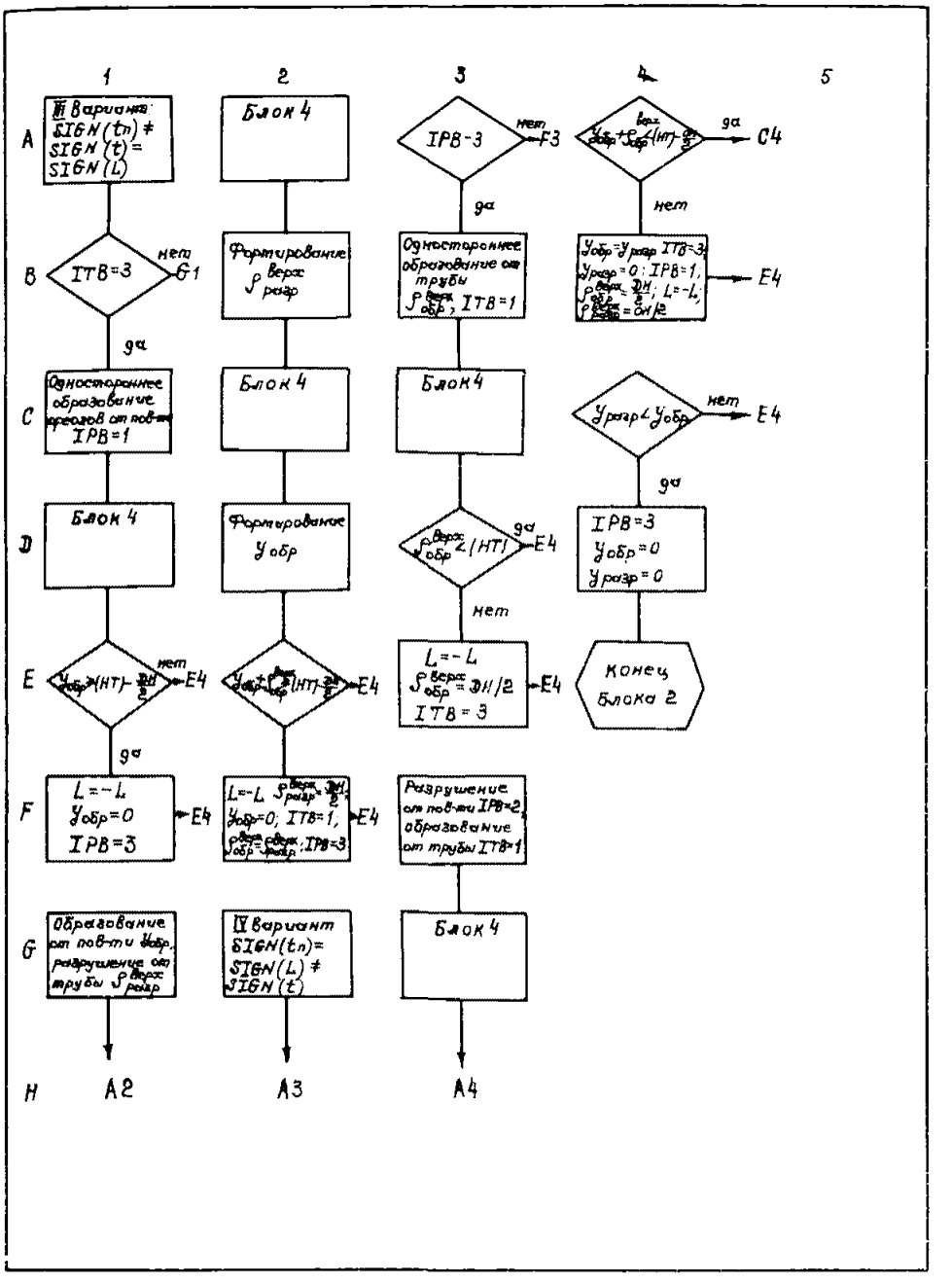


Рис.I2. Блок 2 (III и IУ варианты). Расчет фазовых процессов над трубопроводом

5.2.4. Блок-схема (см.рис.II,I2) отражает вычислительный процесс по алгоритму 2 - процесс формирования сезонных фазовых фронтов вверх с поверхности трубопровода и вниз с дневной поверхности грунта над трубопроводом. В зависимости от соотношения знаков температуры дневной поверхности грунта, температуры трубопровода и температуры грунта над трубопроводом и с учетом числа фазовых фронтов в n-I месяце (IPB, ITB) выделяются 4 основных варианта:

отсутствие, начало или продолжение процессов разрушения фазовых фронтов с дневной поверхности грунта и вверх с поверхности трубопровода (блоки EI-Д3);

начало или продолжение процесса формирования фронтов с дневной поверхности грунта и вверх с поверхности трубопровода (блоки Е3-Д5);

одностороннее формирование сезонных фазовых фронтов с дневной поверхности грунта над трубопроводом, либо формирование сезонных фазовых фронтов с дневной поверхности грунта с процессом разрушения фазовых фронтов с поверхности трубопровода (блоки CI-F2);

одностороннее формирование фазовых фронтов вверх с поверхности трубопровода, либо процесс формирования фазовых фронтов вверх с поверхности трубопровода с процессом разрушения фронтов с дневной поверхности грунта (блоки G2 -Д4).

5.2.5. Блок-схема (рис.I3) отражает вычислительный процесс по алгоритму 3 - процесс формирования сезонных и многолетних фазовых фронтов в основании трубопровода.

В зависимости от соотношения знаков температуры трубопровода и температуры грунта, а также с учетом числа фазовых фронтов в N-I месяце (IT) и типа процесса формирования фазового фронта в основании трубопровода (JAKT) выделяются следующие варианты:

процесс разрушения с коррекцией сохранения многолетних ореолов или видоизменения типа фазовых процессов (блоки Д1-В3);

процесс формирования сезонных или многолетних фазовых фронтов при возможных их разрушениях, или смене типа фазовых процессов (блоки С3-Н5).

5.2.6. Блок-схема (рис.I4) отражает вычислительный процесс, являющийся общим для блоков I-3; расчет фазовых фронтов

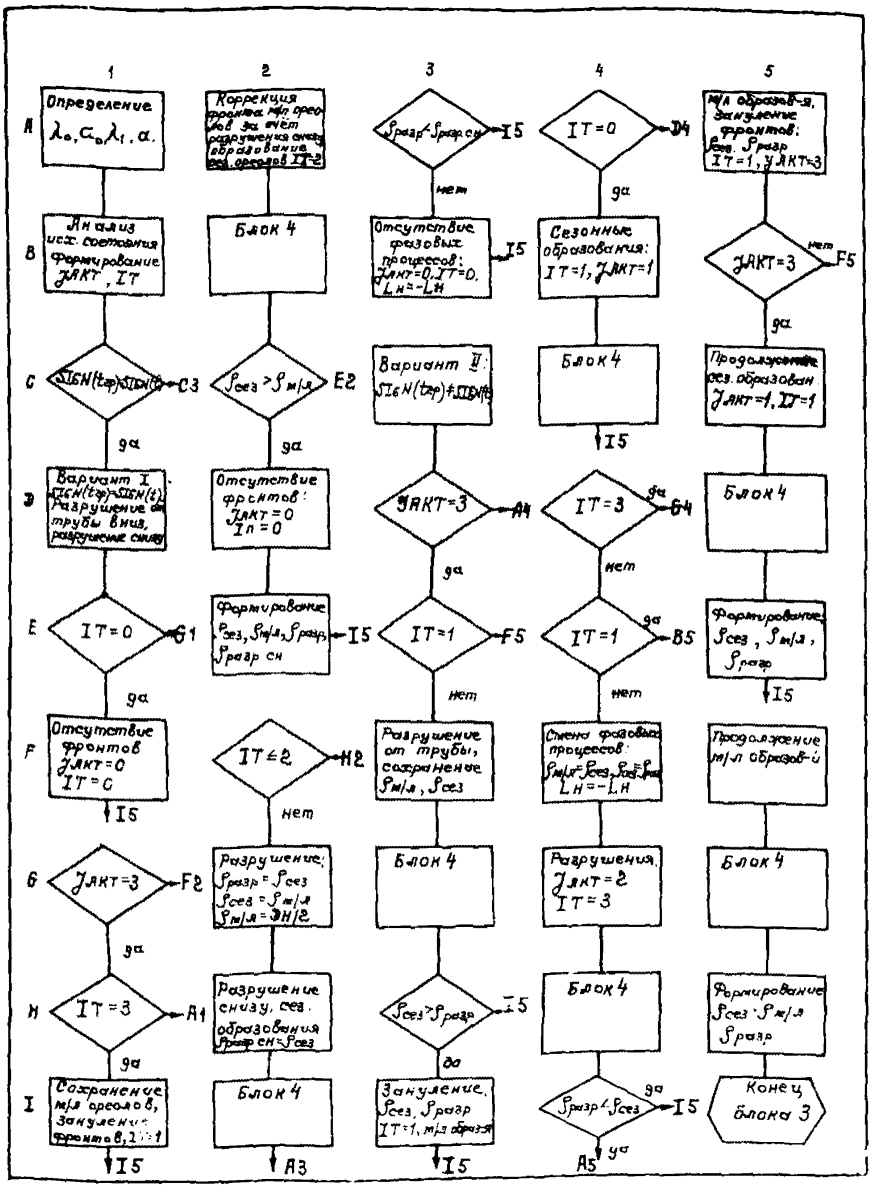


Рис.I3. Блок 3. Расчет фазовых процессов под трубопроводом

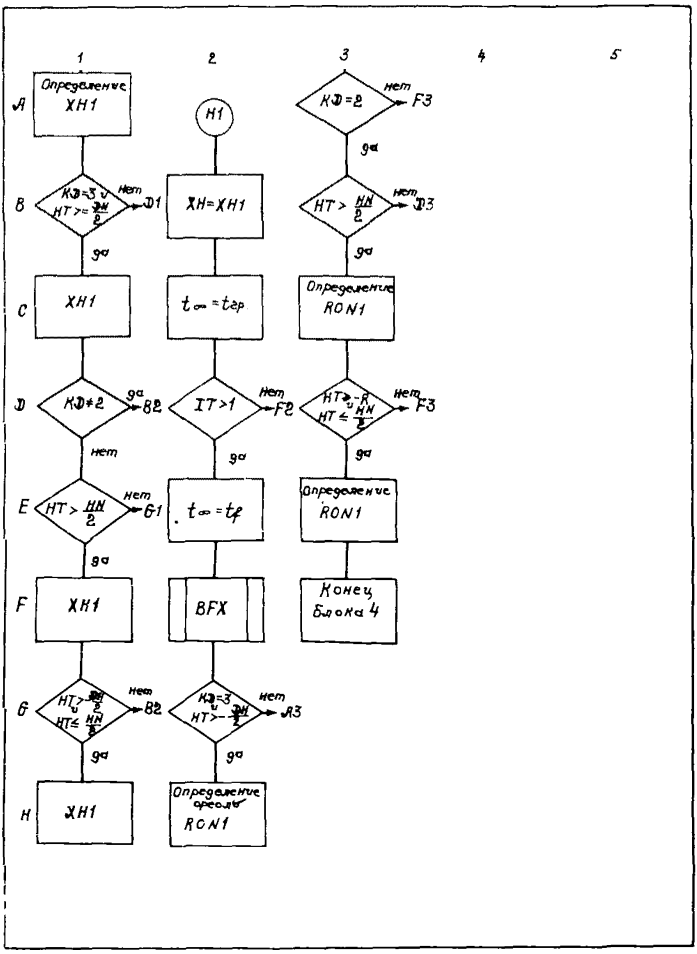


Рис.I4. Блок 4. Расчет ореолов для всех видов прокладки трубопровода

для всех систем прокладок трубопроводов с учетом значения ореолов в n-I месяце (ХНI). В блоках AI-E2 формируется приведенное значение ХНI: значения ореолов для любых прокладок приводятся к подземному виду прокладки. С помощью подпрограммы BFX осуществляют решение соответствующих уравнений и определяют расположение фронтов вокруг подземного трубопровода. В блоках AI-E3 полученные расположения фронтов для подземного трубопровода приводятся к реальному типу прокладки.

5.2.7. Блок-схема (рис.I5) отражает вычислительный процесс, осуществляющий расчет просадок, коррекцию многолетних ореолов протаивания с учетом просадок в блоках AI-H2. Также выполняется расчет теплопотоков в системе "трубопровод-грунт" с учетом типов прокладок (блоки B2-Д5). Осуществляется печать результатов счета для n -го месяца в табличной форме, не требующей специальной расшифровки блока E5.

5.2.8. Блок-схема подпрограммы BFX (рис.I6) реализует вычислительный процесс решения трансцендентных уравнений для расчета динамики фазовых фронтов в системе "трубопровод-грунт" (блоки BI-G2).

5.3. Условия применения. Требования к техническим средствам.

Для работы программы требуется следующая комплектность оборудования:

центральный процессор ЕС 2422-0I для ЭВМ ЕС-I022;

накопитель на магнитных дисках ЕС-5052 - 2 шт.;

АЦПУ ЕС-7032 - I шт.;

пишущая машинка ЕС-7077 - I шт.;

устройство ввода перфокарт;

устройство подготовки данных ПД 80-2/3М - I шт.;

оперативная память объемом не менее 45 кб.

5.4. Общая характеристика входной информации.

Для расчета по программе PIPE 5 необходимы следующие исходные данные:

свойства грунтов;

конструкция трубопровода и технологический режим его эксплуатации;

климатические условия региона.

Указанные данные представлены в таблице приложения I.

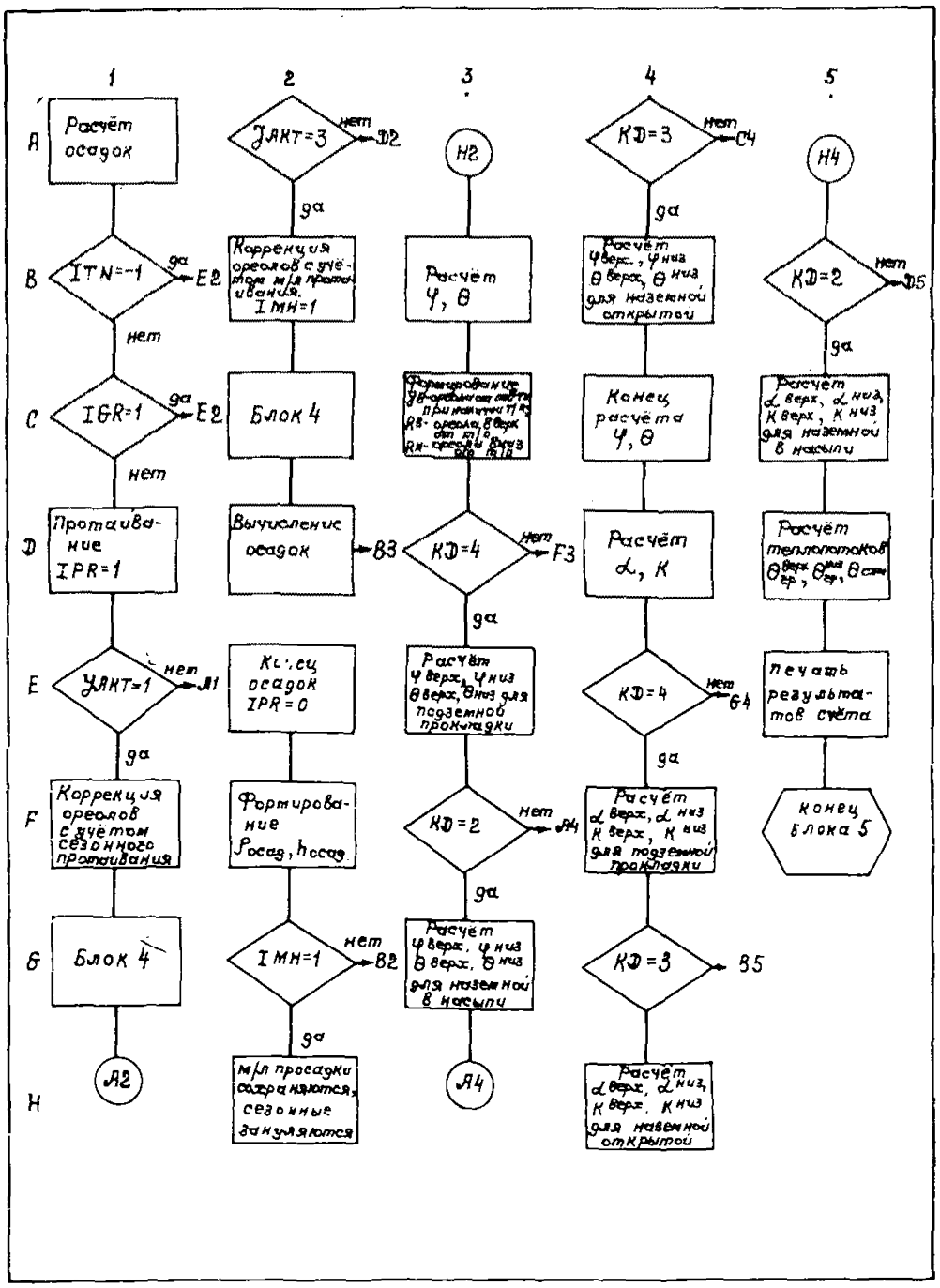


Рис.I5. Блок 5. Расчет осадок, теплопотоков, печать результатов счета

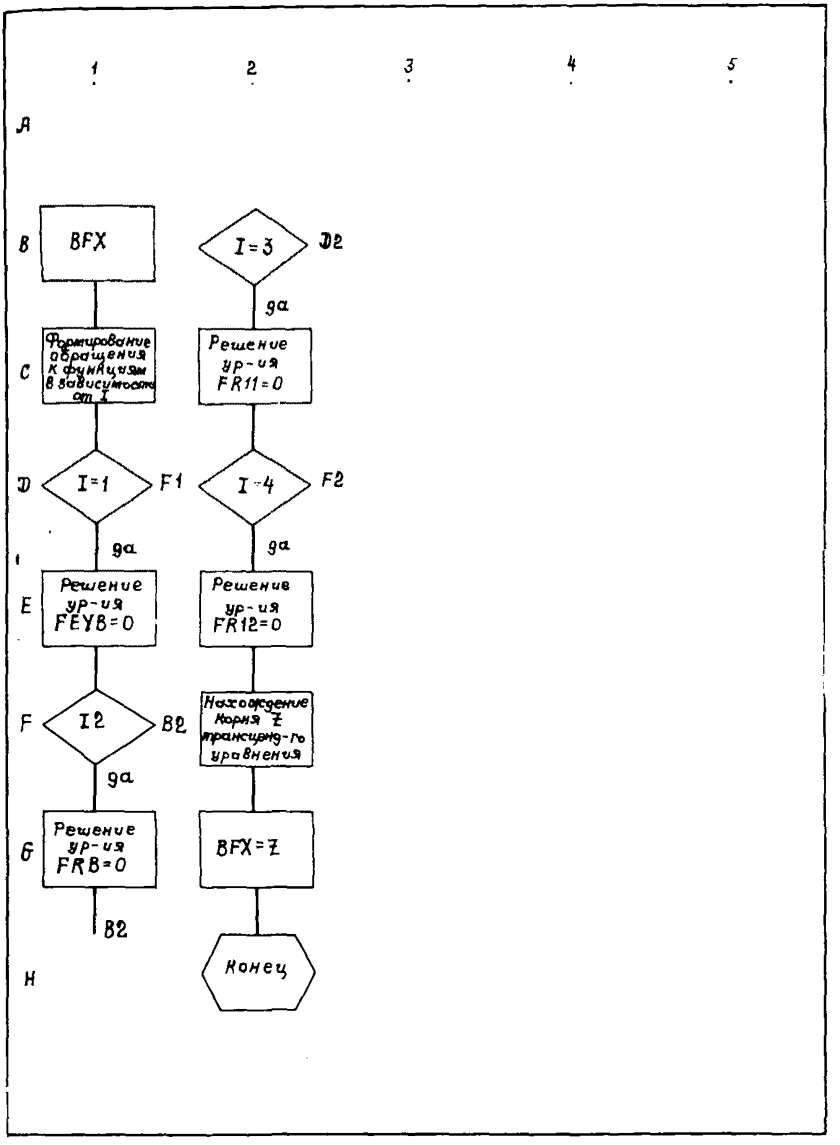


Рис.I6. BFX. Подпрограмма решения трансцендентных уравнений для расчета ореолов поверхность - трубопровод - грунт

5.5. Инструкция по подготовке исходной информации на перфокартах для прогнозирования теплового и механического взаимодействия трубопровода с окружающей средой отражена в табл.8.

Таблица 8

Исходные данные	Формат
I. Шифр объекта	I8A4
2. JT, KD, L, LH	4I2
3. DO, HT, HN, DIZ, TF, TGR, AT, LIZ, LTB, LTH, LMB, LMH	I2
4. ATB, ATH, AMB, AMH, CPR , CPU	6 6, 4
5. QFB, QFH	2 6.I
6. IBCP, IZ, ITT	3I 2
7. EQB1, EPB1, YO1, YB1, RO1, RP1, ROM1, ROS1, ROP1	9F6.3
8. TH (ITT, I2)	I2F6.3
9. TB (I2)	I2F6.3
I0. ALFAF (I2)	То же
II. ALF2R (I2)	" "
I2. KAPA (I2)	" "
I3. RD (I2)	" "
I4. LE (I2)	" "
I5. ALF2B (I2)	" "

Примечания: I. Параметры, указанные в п.7, задаются, если IBCP=I; если IBCP=2, то эти параметры отсутствуют.

2. Максимальное число лет изменений температурного режима эксплуатации трубопровода - 7 лет.

3. Массив TH (ITT,I2) перфорируется на ITT перфокартах по I2 чисел на каждой.

5,6. Общая характеристика выходной информации.

В результате работы программы PIPE 5 на АЦПУ для каждого расчетного года печатаются:

среднемесячные значения температуры поверхности $t_п$;

среднемесячные температуры трубопровода t ;

среднемесячные положения фронтов от дневной поверхности вне зоны влияния трубопровода $\xi_{ОБР}$, $\xi_{РАЗР}$;

среднемесячные положения фронтов в основании трубопровода $\rho_{м/л}$, $\rho_{сез}$, $\rho_{разр}$, а также с учетом пучения и просадки $\rho_{пр}$;

среднемесячные положения фронтов над трубопроводом: от дневной поверхности $y_{обр}$, $y_{разр}$; вверх от трубопровода – $\rho^{верх}_{сез}$, $\rho^{верх}_{разр}$;

среднемесячные теплопотери одного метра трубопровода в окружающую среду при отсутствии фазовых превращений влаги Q_a;

среднемесячные теплопотери одного метра трубопровода в грунт за счет фазовых превращений влаги $Q_{гр}$,

Знак – перед Q_a или $Q_{гр}$ означает, что тепло теряется трубопроводом в окружающую среду, а знак + означает, что тепло поступает в трубопровод, и он нагревается за счет окружающей среды.

5.7. Выполнение программы.

Для того, чтобы произвести расчет по программе "Прогнозирование теплового и механического взаимодействия трубопровода с окружающей средой", необходимо подготовить следующий пакет задания:

```
// JOB;
// EXEC PIPE5;
   перфокарты с исходными данными;
      /*
```

6. КОНТРОЛЬНЫЙ ПРИМЕР

6.I. Требуется рассчитать тепловое взаимодействие первой нитки действующего газопровода Надым-Пунга с вечномерзлыми грунтами для конкретного участка трассы -I5 км. Газопровод диаметром I220 мм без теплоизоляции уложен подземно в вечномерзлый грунт с глубиной заложения до оси трусы – 0,9 м. Вечномерзлые грунты в основании трубопровода представлены пересыпающими супесями и суглинками с прослоями песков. Характеристики свойств грунтов, климатические параметры и параметры теплообмена подстилающей поверхности с атмосферой заданы в виде конкретных значений, которые определяются согласно Руководствам ВНИИСТа [.,7].

6.2. Заполнение входных форм.

Для указанного тестового примера расчета в таблице (приложение I) по специально разработанной форме представлены исходные данные, которые определяются по руководствам ВНИИСТа, изданным в 1981, 1984 гг. [6,7].

Для тестового примера расчета задаются следующие параметры мерзлых грунтов:

температура начала замерзания грунта;

среднегодовая температура грунта;

коэффициенты тепло- и температуропроводности грунтов в талом и мерзлом состоянии соответственно для грунтов основания и грунтов обратной засыпки (в частном случае при обратной засыпке траншеи местным грунтом допускается принимать его свойства теми же, что и грунта ненарушенного сложения);

коэффициенты относительной осадки при оттаивании мерзлого грунта (просадочности) и пучения соответственно; скрытая теплота фазовых превращений свободной влаги в грунте.

Задаются следующие параметры газопровода:

температурный режим трубопровода помесячно, и если он меняется в многолетнем разрезе, то и по годам;

коэффициенты внешней теплоотдачи надземного трубопровода, если такая конструктивная система прокладки используется на основании предварительно заданного кода типа прокладки (в частном случае тестового примера эти параметры зануляются);

внутренний диаметр трубопровода, глубина заложения трубы в грунт, высота насыпи (в данном примере равная нулю), толщина и коэффициент теплопроводности, теплоизоляция (в данном примере эти параметры отсутствуют);

альбедо трубы для наземной и надземной системы прокладки (в данном примере не задается).

Помесячно задаются следующие параметры климатических условий: температура воздуха; коэффициент конвективной теплоотдачи подстилающей поверхности в атмосферу, термическое сопротивление подстилающей поверхности в атмосферу, термическое сопротивление подстилающей поверхности с учетом напочвенных покровов (растительного и снежного в зимнее время); радиацион -

ный баланс подстилающей поверхности; затраты тепла на испарение выпавших атмосферных осадков с подстилающей поверхности с учетом транспирации и инфильтрации.

6.3. Результаты прогноза теплового и механического взаимодействия газопровода Надым-Пунга с вечномерзлыми грунтами представлены в приложении 2, в котором приведена распечатка контрольного примера. Из анализа результатов расчетов следует, что первые шесть лет эксплуатации при среднегодовой температуре газа $3,3^{\circ}C$ вокруг трубопровода в холодный период года на фоне многолетних ореолов оттаивания формируются сезонные ореолы промерзания мощностью 16 см. После изменения температурного режима, начиная с 7-го года эксплуатации газопровода, сезонные ореолы промерзания больше не образуются и наблюдается интенсивное протаивание мерзлых грунтов основания, которое вызывает просадки трубопровода, ожидаемая величина которых к 33-му году эксплуатации трубопроводной системы может составить около 54 см.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Исходные данные для расчета по программе „Прогнозирование теплового и механического взаимодействия трубопровода с окружающей средой"

1п/к (18А4)

Название объекта

Контрольный пример

2п/к (4I2)				3п/к (12F6,3)											
УТ	КД	L	LH	Do	$h_т$	h_N	$\delta_{из}$	t_f	$t_{гр}$	$A_т$	$\lambda_{из}$	$\lambda_т^{верх}$	$\lambda_т^{низ}$	$\lambda_м^{верх}$	$\lambda_м^{низ}$
Число лет эксплуатации	1-подзем. 2-наз/нас. 3-наз/нас. 4-подзем.	грунт над т/п	грунт под т/п	Внутр. диаметр, м	Глубина заложен. трубопр. до оси, м	Высота насыпи, м	Толщина теплоизоляции, м	Температ. начала замерзан. воды в грунте, °С	Ср. год. температ. грунта, °С	Альбедо трубопровода	Коэфф. теплопроводности изоляции, ккал/м.ч.°С	Коэфф. теплопроводности талого грунта		Коэфф. теплопроводности мерзлого грунта	
		1-талый -1-мерзлый										над т/п ккал/м.ч.°С	под т/п ккал/м.ч.°С	над т/п ккал/м.ч.°С	под т/п, ккал/м.ч.°С
33	4	1	-1	1,18	-0,9	0	0	0	-0,8	0,5	0,03	1,1	1,1	1,3	1,3

4п/к (6F6,4)						5п/к (2F6,1)		6п/к (3I2)		
$a_т^{верх}$	$a_т^{низ}$	$a_м^{верх}$	$a_м^{низ}$	Kp	Kl	$Q_ф^{низ}$	$Q_ф^{верх}$	I вcп.	$I_г$	$I_{тт}$
Коэфф. температуры проводности талого грунта		Коэфф. температуры проводности мерзлого грунта		Коэфф. пучения грунта	Коэфф. просадочн. мерзлого грунта в основании трубопров.	Теплота фазовых переходов над т/п, ккал/м³	Теплота фазовых переходов под т/п, ккал/м³	1-заданы вcп. парам. 2-отсутствуют вcп. парам.	1-круговая изоляц. 2-плоская изоляц.	Число лет изменен. темпер. режима
над т/п м²/час	под т/п м²/час	над т/п м²/час	под т/п м²/час							
0,0016	0,0016	0,002	0,002	0,10	0,05	36000	36000	2	1	7

Вспомогательные параметры

7п/к (9F6,3)								
ξ обр.	ξ' разр.	y' обр.	y' разр.	$\rho'^{верх}$ обр.	$\rho'^{верх}$ разр.	ρ' м/п	$\rho'^{низ}$ обр.	$\rho'^{низ}$ разр.
Сезонные образования от дневной поверхности	Сезонные разрушения от дневной поверхности	Сезонные образования от дневной поверхности	Сезонные разрушения от дневной поверхности	Сезонные образования	Сезонные разрушения	МН/лет образования	Сезонные образования	Сезонные разрушения
Зоны влияния трубопровода, м		При наличии трубопровода, м		Вверх от трубопров., м		Вниз от трубопровода, м		

Помесячное задание параметров

12 F 6.3

			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
8 п/к	Температурный режим в начале трубопровода по годам, °С	$t_м$ (ГТГ.гг)	-0,5	-0,3	0,1	0,2	1,4	5,2	9,8	10,4	9,6	3,2	0,6	-0,1
			-0,5	-0,3	0,1	0,2	1,4	5,2	9,8	10,4	9,6	3,2	0,6	-0,1
			-0,5	-0,3	0,1	0,2	1,4	5,2	9,8	10,4	9,6	3,2	0,6	-0,1
			-0,5	-0,3	0,1	0,2	1,4	5,2	9,8	10,4	9,6	3,2	0,6	-0,1
			-0,5	-0,3	0,1	0,2	1,4	5,2	9,8	10,4	9,6	3,2	0,6	-0,1
			-0,5	-0,3	0,1	0,2	1,4	5,2	9,8	10,4	9,6	3,2	0,6	-0,1
9 п/к	Температура воздуха, °С	$t_в$	14,8	16,9	19,3	22,1	25,5	24,2	21,8	17,7	16,2	15,6	12,9	13,8
10 п/к	Коэфф. теплоотдачи подстилающей пов-ти, ккал/м.ч.°С	α_F	-24	-23,9	-18,3	-9,2	-1,6	7,9	14,1	11,5	5,3	-5,4	-18,6	-23,7
11 п/к	Коэфф. внешней теплоотдачи поз. 8 насыпи трубопровода, ккал/м.ч.°С	α_{2R}	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
12 п/к	Коэффициент, учитывающий снежный покров, м.ч.°С/ккал	$\mathcal{H}$	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
13 п/к	Коэффициент, учитывающий радиацию, ккал/см².час	R	3,12	3,51	3,52	3,11	1,11	0,08	0,08	0,08	0,08	0,71	1,87	2,72
14 п/к	Значение затрат тепла на испарение с подстилающей поверхности	α_E	-1,5	-1	-0,5	1	5	8	7,5	5	2	-0,5	-1	-1,5
15 п/к	Коэфф. теплоотдачи поверхности трубопровода, ккал/м².ч.°С	α_{2B}	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0
			10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

ОБ"ЕКТ:ТЕСТ1: КОНТРОЛЬНЫЙ РАСЧЕТ ПО СЕЧЕНИЮ

И С Х О Д Н Ы Е Д А Н Н Ы Е

JT	KD	L	LH	DH	HT	HN	DIZ	TP	[illegible]
ЧИСЛО ЛЕТ ЭКСПЛ-ЦИИ	2-НАЗ.В НАСЫПИ, 3-ОТКР., 4-ПОДЗ.	ГРУНТ НАД Т/П: 1-ТАЛЫЙ, -1-МЕРЗ	ГРУНТ ПОД Т/П: 1-ТАЛЫЙ, -1-МЕРЗ	ВНУТР. ДИАМ.Т/П	ГЛУБИНА ЗАЛОЖ-Я	ВЫСОТА НАСЫПИ	ТОЛЩИНА ИЗОЛЯЦИИ	Т-РА НАЧ ЗАМЕРЗ-Я	СР. [illegible] Т-РА [illegible]
-	-	-	-	М	М	М	М	О С	О С
-10	4	1	-1	1.180	-0.900	0.0	0.0	0.0	-0.800

AT	LTZ	LTB	LTH	LHB	LHH	ATB	ATH	AHB	AHH	CPR	CPU	QFB	QFH
АЛЬБЕДО ТРУБ	КОЭФ-Т Т/ПР. ИЗОЛ.	КОЭФ-Т ТЕПЛОПР. ТАЛОГО ГРУНТА НАД Т/П	КОЭФ-Т ТЕПЛОПР. ТАЛОГО ГРУНТА ПОД Т/П	КОЭФ-Т ТЕПЛОПР. МЕРЗЛОГО ГРУНТА НАД Т/П	КОЭФ-Т ТЕПЛОПР. МЕРЗЛОГО ГРУНТА ПОД Т/П	КОЭФ-Т ТЕМП/ПР. ТАЛОГО ГРУНТА НАД Т/П	КОЭФ-Т ТЕМП/ПР. МЕРЗЛОГО ГРУНТА ПОД Т/П	КОЭФ-Т ПРОСАД. НАД Т/П	КОЭФ-Т ПУЧЕНИЯ ПОД Т/П	ТЕПЛОТА ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ НАД Т/П	ТЕПЛОТА ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ПОД Т/П
	ККАЛ/(МХЧАСХГРАД С)					М2/ЧАС						ККАЛ/М	
0.5000	0.0300	1.1000	1.1000	1.3000	1.3000	0.0016	0.0016	0.0020	0.0020	0.1000	0.0522	36000.00	36000.00

:IBCP= 2(1-ЗАДАНы ВСП.ПАРАМЕТРЫ,2-ОТСУТСТВУЮТ)!IZ= 1(1-КРУГОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ2-ПЛОСКАЯ)!IY= 7(ЧИСЛО ЛЕТ ИЗМ,ТЕМП.РЕЖИМА)

ПОМЕСЯЧНОЕ ЗАДАНИЕ ПАРАМЕТРОВ

				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T	Т-РА Т/П ПО ГОДАМ:	Г Р Д		-8,5	-8,3	8,1	8,2	1,4	5,2	9,8	10,4	9,6	3,2	0,6	-0,1
				-8,5	-8,3	8,1	8,2	1,4	5,2	9,8	10,4	9,6	3,2	0,6	-0,1
				-8,5	-8,3	8,1	8,2	1,4	5,2	9,8	10,4	9,6	3,2	0,6	-0,1
				-8,5	-8,3	8,1	8,2	1,4	5,2	9,8	10,4	9,6	3,2	0,6	-0,1
				-8,5	-8,3	8,1	8,2	1,4	5,2	9,8	10,4	9,6	3,2	0,6	-0,1
				-8,5	-8,3	8,1	8,2	1,4	5,2	9,8	10,4	9,6	3,2	0,6	-0,1
				14,8	16,9	19,3	22,1	25,3	24,2	21,8	17,7	16,2	15,6	12,9	13,8
TB	Т-РА ВОЗДУХА	Г Р Д		-24,8	-23,9	-18,3	-9,2	-1,6	7,9	14,1	11,5	5,3	-5,4	-18,6	-23,7
ALFAP	КОЭФ. Т/О ПОДСТ.ПОВ-ТИ		ККАЛ/М2*Ч*ГРД	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8
ALF2R	КОЭФ.ВНЕШ.Т/О НАЗЕМ.Т/П			10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8
КАРА	Т/СОПР.Т/О ГР.-АТМОСФЕРА		М2*Ч*ГРД/ККАЛ	3,12	3,51	3,52	3,11	1,11	0,68	0,68	0,68	0,68	0,71	1,87	2,72
R	ИЗЛ. БАЛАНС ПОДСТ. ПОВ-ТИ		ККАЛ/СМ2*МЕС	-1,5	-1,0	-0,5	1,0	5,0	8,0	7,5	5,0	2,0	-0,5	-1,0	-1,5
LE	ЗАТР.ТЕПЛА НА ИСПАР.С П/П		ККАЛ/М2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0
ALF2B	КОЭФ.Т ВНЕШ. Т/О НАЗЕМ.Т/П		ККАЛ/М2*Ч*ГРД	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8

Р Е З У Л Ь Т А Т Ы Р А С Ч Е Т А

N	YP	Y	ПОЛОЖЕНИЕ ФР. ВНЕ ЗОНЫ Т/П		ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ В ОСН. Т/П: ЧУГЕТ			ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ ОТ ТРУБЫ			ОБЛАКИ: ОТ ПОВ-ТИ		ПУЧЕН.	ТЕПЛОПОТОКИ		
			EOR	EPB	ROM	ROS	ROP	RMS	RO	RP	YO	YS	HPM	HPJ	QA	QGR	QSUM
1	-25,1	-6,5	0,0	0,0	0,0	,0	0,0	0,0	0,09	0,0	0,18	0,0	2,0	0,0	0,	18,	18,
2	-24,6	-6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	-34,	0,	-34,
3	-8,6	0,1	0,0	2,0	0,0	0,05	0,0	0,05	0,02	0,0	0,0	0,0	0,002	0,0	0,	-14,	-14,
4	-8,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,09	0,0	0,09	0,08	0,0	0,0	0,0	0,006	0,0	0,	-10,	-10,
5	1,8	1,4	0,03	0,0	0,0	0,21	0,0	0,21	0,21	0,0	0,05	0,0	0,011	0,0	0,	-32,	-32,
6	13,0	5,2	0,64	0,0	0,0	0,44	0,0	0,44	0,0	0,0	0,0	0,0	0,020	0,0	0,	-38,	-38,
7	18,9	9,8	1,02	0,0	0,0	0,69	0,0	0,68	0,0	0,0	0,0	0,0	0,035	0,0	17,	-49,	-33,
8	14,6	10,4	1,25	0,0	0,0	0,88	0,0	0,86	0,0	0,0	0,0	0,0	0,044	0,0	5,	-40,	-35,
9	6,3	9,6	1,35	0,0	0,0	1,03	0,0	0,99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,050	0,0	-18,	-32,	-51,
10	-5,7	7,2	1,33	0,15	0,0	1,08	0,0	1,03	0,0	0,0	0,31	0,0	0,054	0,0	-5,	-13,	-18,
11	-19,3	0,6	1,31	0,34	0,0	1,09	0,0	1,03	0,0	0,0	0,24	0,0	0,054	0,0	-1,	-2,	-3,
12	-24,7	-6,1	1,29	0,49	0,0	1,07	0,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,054	0,002	-18,	5,	-13,

ГОД- 2

N	TP	T	ПОЛОЖЕНИЕ ФР. ВНЕ ЗОНЫ Т/П		ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ В ОСН. Т/П: М/ЛЕТ: СЕЗ.		РАЗР.	С ПР.	ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ ОТ ТРУБЫ		ОТ ПОВ-ТИ		ОСАДКИ	ПУЧЕН.	ТЕПЛОПОТОКИ		
			EOB	EPB	ROM	ROS	ROP	RMS	RO	RP	YO	YP	HPR	HPJ	QA	QGR	QSJH
1	-25.1	-0.5	1.27	0.63	0.0	1.05	0.13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.054	0.003	-23.	9.	-14.
2	-24.6	-0.3	1.25	0.75	0.0	1.03	0.16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.054	0.005	-26.	4.	-21.
3	-18.6	0.1	1.23	0.83	1.03	0.16	0.17	0.98	0.02	0.0	0.0	0.0	0.054	0.006	0.	-10.	-10.
4	-8.5	0.2	1.21	0.88	1.03	0.0	0.0	0.98	0.08	0.0	0.0	0.0	0.054	0.006	0.	-6.	-6.
5	1.8	1.4	0.03	0.0	1.05	0.0	0.0	1.00	0.21	0.0	0.03	0.0	0.055	0.0	0.	-21.	-21.
6	13.0	5.2	0.64	0.0	1.12	0.0	0.0	1.07	0.0	0.0	0.0	0.0	0.059	0.0	9.	-21.	-12.
7	18.9	9.8	1.02	0.0	1.24	0.0	0.0	1.19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.065	0.0	16.	-35.	-18.
8	14.6	10.4	1.25	0.0	1.35	0.0	0.0	1.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.071	0.0	4.	-32.	-28.
9	6.3	9.6	1.35	0.0	1.45	0.0	0.0	1.38	0.0	0.0	0.0	0.0	0.075	0.0	-18.	-28.	-45.
10	-5.7	3.2	1.33	0.15	1.48	0.0	0.0	1.41	0.0	0.0	0.31	0.0	0.077	0.0	-6.	-11.	-16.
11	-19.3	0.6	1.31	0.34	1.48	0.0	0.0	1.41	0.0	0.0	0.24	0.0	0.077	0.0	-1.	-2.	-3.
12	-24.7	-0.1	1.29	0.49	1.46	0.05	0.0	1.41	0.0	0.0	0.0	0.0	0.077	0.002	-18.	5.	-13.

ГСА- 3

N	TP	T	ПОЛОЖЕНИЕ ФР. ВНЕ ЗОНЫ Т/П EOR	ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ В ОСН. Т/П ЧЕЛЕТ: СЕЗ. EPB	ROM	ROS	ROP	RHS	ПОЛОЖЕНИЕ ОТ RO	ТРУБЫ RP	ФРОНТОВ ОТ ПОВ-ТИ YO	YP	ОСАДКИ: НРЖ	УЧЕН.: НРЖ	ТЕПЛОПОТОКИ QA	QGR	QSJM
1	-25.1	-0.5	1.27	0.63	1.44	0.13	0.0	1.41	0.0	0.0	0.0	0.0	0.877	0.883	-23.1	9.1	-14.1
2	-24.6	-0.3	1.25	0.75	1.42	0.16	0.0	1.41	0.0	0.0	0.0	0.0	0.872	0.885	-26.1	4м	-21.1
3	-18.6	0.1	1.23	0.83	1.42	0.16	0.05	1.35	0.02	0.0	0.0	0.0	0.877	0.886	0.1	-18м	-18.1
4	-8.5	0.2	1.21	0.88	1.42	0.16	0.07	1.36	0.08	0.0	0.0	0.0	0.877	0.886	0.1	-6м	-6.1
5	1.8	0.4	0.03	0.0	1.42	0.16	0.17	1.37	0.21	0.0	0.03	0.0	0.877	0.0	0.1	-28м	-28.1
6	13.8	5.2	0.64	0.0	1.48	0.0	0.0	1.41	0.0	0.0	0.0	0.0	0.888	0.0	9.1	-17м	-8.1
7	18.9	9.8	1.02	0.0	1.56	0.0	0.0	1.49	0.0	0.0	0.0	0.0	0.884	0.0	16.1	-31м	-14.1
8	14.6	10.4	1.25	0.0	1.65	0.0	0.0	1.58	0.0	0.2	0.0	0.0	0.888	0.0	4.1	-29м	-25.1
9	6.3	9.6	1.35	0.0	1.73	0.0	0.0	1.65	0.0	0.0	0.0	0.0	0.898	0.0	-18.1	-26м	-45.1
10	-5.7	3.2	1.33	0.15	1.75	0.0	0.0	1.67	0.0	0.0	0.31	0.0	0.893	0.0	-6.1	-18м	-15.1
11	-19.3	0.6	1.31	0.34	1.76	0.0	0.0	1.67	0.0	0.0	0.28	0.0	0.896	0.0	-1.1	-2м	-3.1
12	-24.7	-0.1	1.29	0.49	1.74	0.05	0.0	1.67	0.0	0.0	0.0	0.0	0.894	0.882	-18.1	5м	-13.1

ГОД- 4

N	TP	T	ПОЛОЖЕНИЕ ФР. ВНЕ ЗОНЫ Т/П		ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ В ОСН. Т/П: ЧЛЕТ	СЕЗ.	РАЗР.	С ПР.	ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ ОТ ТРУБЫ		ОТ ПОВ-Т/		ОСАДКИ	ПУЧЕН.	ТЕ ЛОПОТКИ		
			EOR	EPB	ROM	ROS	ROP	RHB	RO	RP	YO	YP	HPM	HPJ	QA	QCR	QSJM
1	-25,1	-0.5	1.27	0.63	1.72	0.13	0.0	1.67	0,0	0,0	0.0	0,0	0,094	0.023	-23,	9,	-14,
2	-24,6	-0,3	1.25	0.75	1,70	0.16	0,0	1.67	0,0	0,0	0.0	0,0	0,094	0.005	-26,1	4,	-21,
3	-16,6	0.1	1.23	0.83	1,70	0.16	0.05	1,61	0,02	0,0	0.0	0,0	0,094	0.006	0,	-10,	-10,
4	-8,5	0.2	1.21	0.88	1,70	0.16	0.07	1.61	0,08	0,0	0.0	0,0	0,094	0.006	0,	-6,	-6,
5	1,8	1.4	0,93	0.0	1,70	0.16	0.17	1,62	0,21	0,0	0.03	0,0	0,094	0.0	0,	-20,	-20,
6	13,8	5.2	0.64	0.0	1,74	0.0	0,0	1,66	0,0	0,0	0.0	0,0	0,096	0.0	9,	-16,	-7,
7	18,9	9.8	1.02	0.0	1,81	0.0	0.0	1,73	0,0	0,0	0.0	0,0	0,098	0.0	16,1	-28,	-12,
8	14,6	10.4	1.25	0.0	1,88	0.0	0.0	1,80	0,0	0,0	0.0	0,0	0,103	0.0	4,	-28,	-23,
9	6,3	9.6	1.35	0.0	1,95	0.0	0.0	1,86	0,0	0,0	0.0	0,0	0,106	0.0	-17,	-24,	-4,
10	-5,7	3.2	1.33	0.15	1,97	0.0	0.0	1,87	0,0	0,0	0.31	0,0	0,107	0.0	-6,	-9,	-15,
11	-19,3	0.6	1.31	0.34	1,97	0.0	0.0	1,88	0,0	0,0	0.28	0,0	0,108	0.0	-1,	-2,	-3,
12	-24,7	-0.1	1.29	0.49	1,95	0,05	0.0	1,88	0,0	0,0	0.0	0,0	0,108	0.002	-18,	5,	-13,

ГОД- 5

N	TP	T	ПОЛОЖЕНИЕ ФР. ВНЕ ЗОНЫ Т/П		ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ В ОСН. Т/П: ИЗЛЕТ	СЕЗ.	РАЗР.	С ПР.	ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ ОТ ТРУБЫ			ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ ОТ ПОВ-ТИ		ОСАДКИ:	ПУЧЕН.	ТЕПЛОПОТОКИ		
			ECR	EPB	RO	ROS	ROP	RMS	RO	RP	YO	YP	HPM	WPJ	QA	QGR	QSUM
1	-25,1	-0.5	1,27	0,63	1,93	0,13	0,0	1,88	0,0	0,0	0,0	0,0	0,108	0,003	-23,	9,	-14,
2	-24,6	-0.3	1,25	0,75	1,91	0,16	0,0	1,88	0,0	0,0	0,0	0,0	0,108	0,005	-26,	4,	-21,
3	-18,6	0.1	1,23	0,83	1,91	0,16	0,05	1,82	0,02	0,0	0,0	0,0	0,108	0,006	0,	-10,	-10,
4	-8,5	0.2	1,21	0,66	1,91	0,16	0,07	1,82	0,08	0,0	0,0	0,0	0,108	0,006	0,	-6,	-6,
5	,8	1.4	0,03	0,0	1,91	0,16	0,17	1,83	0,21	0,0	0,03	0,0	0,108	0,0	0,	-20,	-20,
6	13,0	5.2	0,74	0,0	1,95	2,0	0,0	1,86	0,0	0,0	0,0	0,0	0,109	0,0	9,	-15,	-6,
7	18,9	7.8	1,02	0,0	2,01	0,0	0,0	1,92	0,0	0,0	0,0	0,0	0,113	0,0	16,	-27,	-11,
8	14,6	10.4	1,25	0,0	2,08	0,0	0,0	1,98	0,0	0,0	0,0	0,0	0,116	0,0	4,	-26,	-22,
9	6,3	9.6	1,35	0,0	2,14	0,0	0,0	2,04	0,0	0,0	0,0	0,0	0,119	0,0	-17,	-23,	-41,
10	-5,7	7.2	1,33	0,15	2,16	0,0	0,0	2,05	0,0	0,0	0,31	0,0	0,120	0,0	-6,	-9,	-15,
11	-19,3	2.6	1,31	0,34	2,16	0,0	0,0	2,05	0,0	0,0	0,28	0,0	0,120	0,0	-1,	-2,	-3,
12	-24,7	-0.1	1,29	0,49	2,14	0,05	0,0	2,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,120	0,002	-18,	5,	-13,

ГОД= 6

N	TP	T	ПОЛОЖЕНИЕ ФР. ВНЕ ЗОНЫ Т/П	ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ В ОСН.Т/П: М/СЕТ	СЕЗ.	РАЗР.	С ПР.	ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ ОТ ТРУБЫ		ФРОНТОВ ОТ ПОВ-ТИ		ОСАДКИ	ИСПАРЕНИЕ	ТЕПЛОПОТОКИ		
			EOR	EPR	ROS	ROP	RMS	RO	RP	YO	YP	HPK	HPJ	QA	QGR	QSUM
1	-25,1	-0,5	1,27	0,63	2,12	0,13	0,0	2,25	0,0	0,0	0,0	0,2	0,120	0,233	-23,	9,	14,
2	-24,6	-0,3	1,25	0,75	2,10	0,16	0,0	2,23	0,0	0,0	0,0	0,2	0,120	0,005	-26,	4,	21,
3	-16,6	0,1	1,23	0,83	2,10	0,16	0,05	1,99	0,02	0,0	0,0	0,2	0,120	0,006	0,	-13,	-13,
4	-8,5	0,2	1,21	0,88	2,10	0,16	0,07	2,09	0,05	0,0	0,0	0,2	0,120	0,006	0,	-6,	-6,
5	1,8	1,4	0,03	0,0	2,10	0,16	0,17	2,09	0,21	0,0	0,03	0,2	0,120	0,0	0,	-19,	-19,
6	13,0	5,2	0,64	0,0	2,13	0,0	0,0	2,03	0,0	0,0	0,0	0,2	0,121	0,0	9,	-14,	-5,
7	16,9	9,8	1,02	0,0	2,19	0,0	0,0	2,09	0,0	0,0	0,0	0,2	0,124	0,0	16,	-26,	-10,
8	14,6	11,4	1,25	0,0	2,25	0,0	0,0	2,14	0,0	0,0	0,0	0,2	0,127	0,0	4,	-25,	-21,
9	6,3	9,6	1,35	0,0	2,30	0,0	0,0	2,19	0,0	0,0	0,0	0,2	0,130	0,0	-17,	-23,	-40,
10	-3,7	7,2	1,33	0,15	2,32	0,0	0,0	2,27	0,0	0,0	0,31	0,2	0,131	0,0	-6,	-8,	-14,
11	-19,3	4,6	1,31	0,34	2,32	0,0	0,0	2,20	0,0	0,0	0,24	0,2	0,131	0,0	-1,	-2,	-2,
12	-24,7	-0,1	1,29	0,49	2,30	0,05	0,0	2,20	0,0	0,0	0,0	0,2	0,131	0,222	-18,	5,	-13,

ГОД- 7

N	YP	T	ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ ВНЕ ЗОНЫ Т/П		ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ В ОСН.Т/П:				ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ ОТ ТРУБЫ:		ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ ОТ ПОВ-ТИ		ЗОЛЬКИ	ПУЧЕН.	ТЕПЛОПОТОКИ		
			EOB	EPB	ROM	ROS	ROP	RHS	RO	RP	YO	YP	HFN	HPJ	QA	QCR	QSUM
1	-25,1	14.8	1,27	0,63	2,30	0,05	0,54	2,27	0,0	0,0	0,0	0,0	0,131	0,000	-53,1	-38,1	-91,2
2	-24,6	16.9	1,25	0,75	2,39	0,0	0,0	2,28	0,0	0,0	0,31	0,0	0,139	0,005	-25,1	-44,1	-57,2
3	-18,6	19,5	1,23	0,83	2,48	0,0	0,0	2,36	0,0	0,0	0,31	0,0	0,148	0,006	-27,1	-49,1	-76,2
4	-8,5	22,1	1,21	0,88	2,58	0,0	0,0	2,46	0,0	0,0	0,31	0,0	0,148	0,006	-32,1	-55,1	-87,2
5	1,8	25,5	0,03	0,0	2,68	0,0	0,0	2,56	0,0	0,0	0,31	0,02	0,158	0,0	-38,1	-57,1	-96,2
6	13,8	24,2	0,64	0,0	2,78	0,0	0,0	2,65	0,0	0,0	0,31	0,57	0,158	0,0	-56,1	-58,1	-114,2
7	18,9	21,6	1,02	0,7	2,86	0,0	0,0	2,73	0,0	0,0	0,0	0,0	0,158	0,0	-29,1	-50,1	-79,2
8	14,6	17,7	1,25	0,0	2,93	0,0	0,0	2,79	0,0	0,0	0,0	0,0	0,168	0,0	-24,1	-39,1	-63,2
9	6,3	16,2	1,35	0,0	2,99	0,0	0,0	2,85	0,0	0,0	0,0	0,0	0,168	0,0	-43,1	-34,1	-77,2
10	-5,7	15,6	1,33	0,15	3,25	0,0	0,0	2,91	0,0	0,0	0,31	0,0	0,168	0,0	-31,1	-36,1	-56,2
11	-19,3	12,9	1,31	0,34	3,10	0,0	0,0	2,95	0,0	0,0	0,31	0,0	0,171	0,0	-20,1	-29,1	-49,2
12	-24,7	13,8	1,29	0,49	3,15	0,0	0,0	3,02	0,0	0,0	0,31	0,0	0,173	0,0	-19,1	-31,1	-51,2

ГОД- 8

N	TP	T	ПОЛОЖЕНИЕ ФР. ВНЕ ЗОНЫ Т/П		ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ В ОСН. Т/П: М/ЛЕТ. СЕЗ. РАЗР. С ПР.				ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ ОТ ТРУБЫ ОТ ПОВ-ТИ				ОСАДКИ ПУЧЕН.		ТЕПЛОПОТОКИ		
			EOB	EPB	ROM	ROS	ROP	RMS	RO	RP	YO	YP	HPR	HPJ	QA	QGR	QSJH
1	-25,1	14.8	1.27	0.63	3.20	0.0	0.0	3.05	0.0	0.0	0.31	0.0	0.176	0.0	-20.	-33.	-54.
2	-24,6	16.9	1.25	0.75	3.26	0.0	0.0	3.10	0.0	0.0	0.31	0.0	0.170	0.0	-23.	-38.	-51.
3	-18,6	19.3	1.23	0.83	3.32	0.0	0.0	3.16	0.0	0.0	0.31	0.0	0.182	0.0	-27.	-43.	-59.
4	-8,5	22.1	1.21	0.88	3.39	0.0	0.0	3.23	0.0	0.0	0.31	0.0	0.185	0.0	-32.	-48.	-50.
5	1,8	23.5	0.03	0.0	3.46	0.0	0.0	3.30	0.0	0.0	0.31	0.02	0.189	0.0	-40.	-51.	-91.
6	13,0	24.2	0.64	0.0	3.54	0.0	0.0	3.37	0.0	0.0	0.31	0.57	0.193	0.0	-57.	-52.	-109.
7	18,9	21.8	1.02	0.0	3.60	0.0	0.0	3.43	0.0	0.0	0.0	0.0	0.196	0.0	-29.	-46.	-74.
8	14,6	17.7	1.25	0.0	3.65	0.0	0.0	3.48	0.0	0.0	0.0	0.0	0.198	0.0	-24.	-35.	-59.
9	6,3	16.2	1.35	0.0	3.70	0.0	0.0	3.52	0.0	0.0	0.0	0.0	0.201	0.0	-42.	-32.	-74.
10	-5,7	13.6	1.33	0.15	3.74	0.0	0.0	3.56	0.0	0.0	0.31	0.0	0.203	0.0	-31.	-33.	-64.
11	-19,3	1[illegible].9	1.31	0.34	3.78	0.0	0.0	3.60	0.0	0.0	0.31	0.0	0.206	0.0	-20.	-27.	-47.
12	-24,7	13.8	1.29	0.49	3.82	0.0	0.0	3.63	0.0	0.0	0.31	0.0	0.207	0.0	-20.	-29.	-48.

ГОД- 9

N	TP	T	ПОЛОЖЕНИЕ ФР. ВНЕ ЗОНЫ Т/П		ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ В ОСН. Т/П: Н/ЛЕТ; СЕЗ.		РАЗР.	С ПР.		ПОЛОЖЕНИЕ ОТ ТРУБЫ			ФРОНТОВ ОТ ПОВ-ТИ		ЗОАНКИ	ПУЧЕН.	ТЕПЛОПОТОКИ		
			EOR	EPB	ROH	ROS	ROP	RHS	RO	RP	YO	YP	HPA	HPJ	QA	QCR	QSJH
1	-25,1	14,8	1.27	0,63	3,86	0,0	0,0	3,67	0,0	0,0	0,3	0,0	0,200	0,0	-21,1	-31,	-51,
2	-24,6	16,9	1.25	0,75	3,91	0,0	0,0	3,72	0,0	0,0	0,3	0,0	0,211	0,0	-23,1	-35,	-58,
3	-18,6	19,3	1.23	0,83	3,96	0,0	0,0	3,77	0,0	0,0	0,3	0,0	0,214	0,0	-27,1	-39,	-56,
4	-8,5	22,1	1.21	0,88	4,01	0,0	0,0	3,82	0,0	0,0	0,3	0,0	0,218	0,0	-32,1	-45,	-77,
5	1,8	25,5	0,03	0,0	4,07	0,0	0,0	3,88	0,0	0,0	0,3	0,02	0,210	0,0	-41,1	-47,	-58,
6	13,8	24,2	0,64	0,0	4,13	0,0	0,0	3,93	0,0	0,0	0,3	0,57	0,222	0,0	-57,1	-49,	-106,
7	18,9	21,8	1.02	0,0	4,18	0,0	0,0	3,98	0,0	0,0	0,0	0,0	0,228	0,0	-28,1	-43,	-71,
8	14,6	17,7	1.25	0,0	4,23	0,0	0,0	4,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,227	0,0	-24,1	-33,	-57,
9	6,3	16,2	1.35	0,0	4,27	0,0	0,0	4,06	0,0	0,0	0,0	0,0	0,229	0,0	-42,1	-50,	-72,
10	-5,7	15,6	1.33	0,15	4,30	0,0	0,0	4,09	0,0	0,0	0,3	0,0	0,231	0,0	-32,1	-31,	53,
11	-19,3	12,9	1.31	0,34	4,33	0,0	0,0	4,12	0,0	0,0	0,3	0,0	0,232	0,0	-26,1	-25,	-45,
12	-24,7	13,8	1.29	0,49	4,37	0,0	0,0	4,15	0,0	0,0	0,3	0,0	0,234	0,0	-20,1	-27,	-47,

ГОД-10

N	TP	T	ПОЛОЖЕНИЕ ФР. ВНЕ ЗОНЫ Т/П		ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ В ОСН. Т/П: М/ЛЕТ	СЕЗ.	РАЗР.	С ПР.	ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ В ОСН. Т/П: ОТ ТРУБЫ		ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ ОТ ПОВ-ТИ		ОСАДКИ	ПУЧЕН.	ТЕПЛОПОТОКИ		
			EOR	EPB	ROM	ROS	ROP	RNS	RO	RP	YO	YP	HPM	HPJ	QA	QCR	QSJH
1	-25,1	14.8	1.27	0.63	4,40	0.0	0.0	4,19	0.0	0.0	0.31	0.0	0,236	0.0	-21,1	-29.	-50.
2	-24,6	16.9	1.25	0.75	4,44	0.0	0.0	4,22	0.0	0.0	0.31	0.0	0,238	0.0	-23,1	-33e	-56.
3	-18,6	19.3	1.23	0.83	4,48	0.0	0.0	4,26	0.0	0.0	0.31	0.0	0,240	0.0	-27,1	-37e	-64.
4	-8,5	22.1	1.21	0.88	4,53	0.0	0.0	4,31	0.0	0.0	0.31	0.0	0,244	0.0	-32,1	-43e	-75.
5	1,8	23.5	0.03	0.0	4,58	0.0	0.0	4,36	0.0	0.0	0.31	0.02	0,245	0.0	-41,1	-45e	-87.
6	13,8	24.2	0.64	0.0	4,63	0.0	0.0	4,41	0.0	0.0	0.31	0,57	0,247	0.0	-57,1	-46e	-103.
7	18,9	21.8	1.02	0.0	4,68	0.0	0.0	4,45	0.0	0.0	0.0	0.0	0,250	0.0	-28,1	-41e	-69.
8	14,6	17.7	1.25	0.0	4,72	0.0	0.0	4,49	0.0	0.0	0.0	0.0	0,253	0.0	-24,1	-32e	-56.
9	6,3	16.2	1.35	0.0	4,75	0.0	0.0	4,52	0.0	0.0	0.0	0.0	0,253	0.0	-42,1	-29e	-71.
10	-5,7	15.6	1.33	0.15	4,78	0.0	0.0	4,55	0.0	0.0	0.31	0.0	0,255	0.0	-32,1	-29e	-62.
11	-19,3	12.9	1.31	0.34	4,81	0.0	0.0	4,57	0.0	0.0	0.31	0.0	0,256	0.0	-28,1	-24e	-45.
12	-24,7	13.8	1.29	0.49	4,84	0.0	0.0	4,60	0.0	0.0	0.31	0.0	0,258	0.0	-28,1	-26e	-46.

ГОД-15

N	TP	T	ПОЛОЖЕНИЕ ФР. ВНЕ ЗОНЫ Т/П		ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ В ОСН. Ч/ЛЕТ	СЕЗ.	РАЗР.	Т/П С ПР.	ПОЛОЖЕНИЕ ОТ	ТРУБЫ	ФРОНТОВ ОТ	ЛОВ-ТИ	ЭСААКИ		ПУЧЕН.	ТЕПЛОПОТОКИ		
			EOR	EPB	ROH	ROS	ROP	RHS	RO	RP	YO	YP	HPR		RPJ	QA	QCR	QSJH
1	-25,1	14.8	1.27	0.63	6.34	0.0	0.0	6.02	0.0	0.0	0.3	0.0	0.333		0.0	-21,1	-25,1	-46,1
2	-24,6	16.9	1.25	0.75	6.36	0.0	0.0	6.05	0.0	0.0	0.3	0.0	0.338		0.0	-23,1	-29,1	-52,1
3	-18,6	19.3	1.23	0.83	6.39	0.0	0.0	6.07	0.0	0.0	0.3	0.0	0.338		0.0	-27,1	-33,1	-59,1
4	-8,5	22.1	1.21	0.86	6.42	0.0	0.0	6.10	0.0	0.0	0.3	0.0	0.339		0.0	-32,1	-37,1	-69,1
5	1,8	23.5	0.83	0.0	6.45	0.0	0.0	6.13	0.0	0.0	0.3	0.32	0.338		0.0	-45,1	-39,1	-92,1
6	13,8	24.2	0.64	0.0	6.49	0.0	0.0	6.17	0.0	0.0	0.3	0.57	0.348		0.0	-58,1	-41,1	-98,1
7	18,9	21.8	1.02	0.0	6.52	0.0	0.0	6.19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.348		0.0	-28,1	-36,1	-64,1
8	14,6	17.7	1.25	0.0	6.54	0.0	0.0	6.22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.345		0.0	-23,1	-29,1	-52,1
9	6,3	16.2	1.35	0.0	6.56	0.0	0.0	6.24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.346		0.0	-41,1	-26,1	-67,1
10	-5,7	15.6	1.33	0.15	6.59	0.0	0.0	6.26	0.0	0.0	0.3	0.0	0.348		0.0	-35,1	-26,1	-59,1
11	-19,3	12.9	1.31	0.34	6.60	0.0	0.0	6.28	0.0	0.0	0.3	0.0	0.346		0.0	-21,1	-21,1	-42,1
12	-24,7	13.8	1.29	0.49	6.62	0.0	0.0	6.29	0.0	0.0	0.3	0.0	0.347		0.0	-20,1	-23,1	-43,1

ГОД-16

N	TP	T	ПОЛОЖЕНИЕ ФР. ВНЕ ЗОНЫ Т/П		ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ В ОСН.Т/П: М/ЛЕТ	СЕЗ.	РАЗР.	С ПР.	ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ ОТ ТРУБЫ		ОТ ПОВ-ТИ		ОСАДКИ	ПУЧЕН.	ТЕПЛОПОТОКИ		
			EOB	EPB	ROM	ROB	ROP	RMB	RO	RP	YO	YP	HPM	HPJ	QA	QGR	QSJM
1	-25,1	14.8	1.27	0.63	6.64	0.0	0.0	6.31	0.0	0.0	0.31	0.0	0.348	0.0	-21.	-25.	-45.
2	-24,6	16.9	1.25	0.75	6.67	0.0	0.0	6.34	0.0	0.0	0.31	0.0	0.349	0.0	-23.	-28.	-51.
3	-18,6	19.3	1.23	0.83	6.69	0.0	0.0	6.36	0.0	0.0	0.31	0.0	0.350	0.0	-27.	-32.	-59.
4	-8,5	22.1	1.21	0.88	6.72	0.0	0.0	6.39	0.0	0.0	0.31	0.0	0.352	0.0	-32.	-37.	-59.
5	1.8	23.5	0.03	0.0	6.75	0.0	0.0	6.42	0.0	0.0	0.31	0.02	0.353	0.0	-43.	-39.	-82.
6	13,0	24.2	0.64	0.0	6.78	0.0	0.0	6.45	0.0	0.0	0.31	0.57	0.355	0.0	-58.	-40.	-98.
7	18,9	21.8	1.02	0.0	6.81	0.0	0.0	6.47	0.0	0.0	0.0	0.0	0.356	0.0	-28.	-35.	-64.
8	14,6	17.7	1.25	0.0	6.84	0.0	0.0	6.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.358	0.0	-23.	-28.	-51.
9	6,3	16.2	1.35	0.0	6.86	0.0	0.0	6.52	0.0	0.0	0.0	0.0	0.359	0.0	-41.	-26.	-57.
10	-5,7	15.6	1.33	0.15	6.88	0.0	0.0	6.54	0.0	0.0	0.31	0.0	0.360	0.0	-33.	-26.	-59.
11	-19,3	12.9	1.31	0.34	6.89	0.0	0.0	6.55	0.0	0.0	0.31	0.0	0.360	0.0	-21.	-21.	-42.
12	-24,7	13.8	1.29	0.49	6.91	0.0	0.0	6.57	0.0	0.0	0.31	0.0	0.361	0.0	-20.	-23.	-43.

ГОД-20

N	TP	T	ПОЛОЖЕНИЕ ФР. ВНЕ ЗОНЫ Т/П		ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ В ОСН. Т/П: ЧЛЕТ	СЕЗ.	РАЗР.	С ПР.	ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ ОТ ТРУБЫ		ОТ ПОВ-ТИ		ОСАДКИ	ПУЩЕН.	ТЕПЛОПОТОКИ		
			EOR	EPB	ROM	ROS	ROP	RNS	RO	RP	YO	YP	HPR	HPU	QA	QCR	QSUM
1	-25,1	14.8	1.27	0.63	7.72	0.0	0.0	7.33	0.0	0.0	0.3	0.0	0.400	0.0	-21,	-23,	-44.
2	-24,6	16.9	1.25	0.75	7.74	0.0	0.0	7.35	0.0	0.0	0.3	0.0	0.403	0.0	-23,	-27,	-50.
3	-18,6	19.3	1.23	0.83	7.76	0.0	0.0	7.37	0.0	0.0	0.3	0.0	0.404	0.0	-27,	-30,	-57.
4	-8,5	22.1	1.21	0.88	7.78	0.0	0.0	7.40	0.0	0.0	0.3	0.0	0.405	0.0	-32,	-35,	-67.
5	1,8	23.5	0.03	0.0	7.81	0.0	0.0	7.42	0.0	0.0	0.3	0.02	0.406	0.0	-43,	-37,	-80.
6	13,0	24.2	0.64	0.0	7.83	0.0	0.0	7.45	0.0	0.0	0.3	0.57	0.407	0.0	-58,	-38,	-96.
7	18,9	21.8	1.02	0.0	7.86	0.0	0.0	7.47	0.0	0.0	0.0	0.0	0.409	0.0	-28,	-34,	-62.
8	14,6	17.7	1.25	0.0	7.88	0.0	0.0	7.49	0.0	0.0	0.0	0.0	0.410	0.0	-23,	-27,	-50.
9	6,3	16.2	1.35	0.0	7.90	0.0	0.0	7.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.410	0.0	-41,	-24,	-65.
10	-5,7	15.6	1.33	0.15	7.91	0.0	0.0	7.52	0.0	0.0	0.3	0.0	0.411	0.0	-33,	-24,	-58.
11	-19,3	12.9	1.31	0.34	7.93	0.0	0.0	7.53	0.0	0.0	0.3	0.0	0.412	0.0	-21,	-20,	-41.
12	-24,7	13.8	1.29	0.49	7.94	0.0	0.0	7.55	0.0	0.0	0.3	0.0	0.413	0.0	-20,	-21,	-42.

ГОД-21

N	Тр	Т	Положение фр. вне зоны т/п		Положение фронтов в осн. т/п: м/лет	сез.	разр.	с пр.	Положение фронтов от трубы		от пов-ти		Осадки	Пущен.	Теплопотоки		
			EOR	EPB	RON	ROS	ROP	RMS	RO	RP	YO	YP	HPR	HPJ	QA	QGR	QSJH
1	-25,1	14.8	1.27	0.63	7.96	0.0	0.0	7.56	0.0	0.0	0.31	0.0	0.416	0.0	-21.	-23.	-44.
2	-24.6	16.9	1.25	0.75	7.98	0.0	0.0	7.58	0.0	0.0	0.31	0.0	0.415	0.0	-23.	-26.	-50.
3	-18.6	19.3	1.23	0.83	8.00	0.0	0.0	7.60	0.0	0.0	0.31	0.0	0.416	0.0	-27.	-30.	-57.
4	-8,5	22.1	1.21	0.88	8.02	0.0	0.0	7.62	0.0	0.0	0.31	0.0	0.417	0.0	-32.	-34.	-66.
5	1,8	23.5	0.03	0.0	8.05	0.0	0.0	7.65	0.0	0.0	0.31	0.02	0.418	0.0	-44.	-36.	-80.
6	13,0	24.2	0.64	0.0	8.07	0.0	0.0	7.67	0.0	0.0	0.31	0.57	0.410	0.0	-58.	-37.	-95.
7	18,9	21.8	1.02	0.0	8.09	0.0	0.0	7.69	0.0	0.0	0.0	0.0	0.420	0.0	-28.	-33.	-60.
8	14,6	17.7	1.25	0.0	8.11	0.0	0.0	7.71	0.0	0.0	0.0	0.0	0.421	0.0	-23.	-27.	-50.
9	6,3	16.2	1.35	0.0	8.13	0.0	0.0	7.72	0.0	0.0	0.0	0.0	0.420	0.0	-41.	-24.	-65.
10	-5,7	15.6	1.33	0.15	8.15	0.0	0.0	7.74	0.0	0.0	0.31	0.0	0.423	0.0	-33.	-24.	-58.
11	-19,3	12.9	1.31	0.34	8.16	0.0	0.0	7.75	0.0	0.0	0.31	0.0	0.424	0.0	-21.	-20.	-41.
12	-24,7	13.8	1.29	0.49	8.17	0.0	0.0	7.77	0.0	0.0	0.31	0.0	0.426	0.0	-20.	-21.	-41.

ГО. [illegible]

N	TP	[illegible]	ПОЛОЖЕНИЕ ФР. ВНЕ ЗОНЫ Т/П		ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ В ОСН. Т/П: М/ЛЕТ	СЕЗ.	РАЗР.	С ПР.	ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ ОТ ТРУБЫ		ОТ ПОВ-Т		ОСАЖКИ	ЦУНЕН.	ТЕПЛОПОТОКИ		
			EOR	EPS	ROM	ROS	ROP	RMZ	RO	RP	YO	YP	HPK	HPJ	QA	QGR	QSJM
1	-2[illegible].1	14.6	1.27	2.63	8.84	0.0	0.0	8.40	0.0	0.0	0.31	0.0	0.458	0.0	-21.	-22.	-43.
2	-24.6	16.[illegible]	1.25	0.75	8.86	0.0	0.0	8.41	0.0	0.0	0.31	0.0	0.458	0.0	-23.	-25.	-49.
3	-18.6	19.3	1.23	0.83	8.87	0.0	0.0	8.43	0.0	0.0	0.31	0.0	0.459	0.0	-27.	-29.	-56.
4	-8.5	22.[illegible]	1.21	0.88	8.89	0.0	0.0	8.45	0.0	0.0	0.31	0.0	0.460	0.0	-32.	-33.	-65.
5	1.8	23.5	0.03	0.[illegible]	8.92	0.0	0.0	8.47	0.0	0.0	0.31	0.0	0.462	0.0	-44.	-35.	-79.
6	13.0	24.[illegible]	0.64	0.[illegible]	8.94	0.0	0.0	8.49	0.0	0.0	0.31	0.5[illegible]	0.463	0.0	-58.	-36.	-94.
7	18.9	21.8	1.02	0.[illegible]	8.96	0.0	0.0	8.51	0.0	0.0	0.0	0.0	0.464	0.0	-28.	-32.	-60.
8	14.6	17.7	1.25	0.[illegible]	8.97	0.0	0.0	8.53	0.0	0.0	0.0	0.0	0.464	0.0	-23.	-25.	-49.
9	6.3	16.2	1.35	0.[illegible]	8.99	0.0	0.0	8.54	0.0	0.0	0.0	0.[illegible]	0.465	0.0	-41.	-23.	-64.
10	-5.7	[illegible]	1.33	0.15	9.[illegible]	0.0	[illegible]	8.56	0.0	0.0	0.31	0.0	0.466	0.0	-34.	-23.	-57.
11	-19.3	12.9	1.31	0.34	9.02	[illegible]	0.0	8.57	0.0	0.0	0.31	0.0	0.467	0.0	-21.	-19.	-40.
12	-24.7	13.8	1.29	0.49	9.03	[illegible]	0.0	8.58	0.0	0.0	0.31	0.0	0.467	0.0	-20.	-21.	-41.

ГОД-26

N	TP	T	ПОЛОЖЕНИЕ ФР. ВНЕ ЗОНЫ Т/П	ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ В ОСН. Т/П: НАЛЕТ	СЕЗ.	РАЗР.	С ПР.	ПОЛОЖЕНИЕ ОТ	ТРУБЫ	ФРОНТОВ ОТ	ПОВ-ТИ	ОСАДКИ	ПУЧЕН.	ТЕПЛОПОТОКИ		
			EOR	EPB	ROK	ROS	ROP	RKS	RO	RP	YO	YP	HPM	HPJ	QA	QCR	QSJK
1	-25,1	14.8	1,27	0,63	9,04	0,0	0,0	0,59	0,0	0,0	0,31	0,0	0,468	0,0	-21,1	-28,1	-43,1
2	-24,6	16.9	1,25	0,75	9,06	0,0	0,0	0,61	0,0	0,0	0,31	0,0	0,469	0,0	-23,1	-25,9	-49,1
3	-16,6	19.3	1,23	0,83	9,08	0,0	0,0	0,62	0,0	0,0	0,31	0,0	0,470	0,0	-27,1	-29,1	-56,1
4	-8,5	22.1	1,21	0,88	9,10	0,0	0,0	0,64	0,0	0,0	0,31	0,0	0,471	0,0	-32,1	-33,1	-65,1
5	1,8	23.5	0,83	0,0	9,12	0,0	0,0	0,66	0,0	0,0	0,31	0,32	0,472	0,0	-44,1	-33,9	-79,1
6	13,8	24.2	0,64	0,0	9,14	0,0	0,0	0,68	0,0	0,0	0,31	0,57	0,473	0,0	-58,1	-36,1	-94,1
7	18,9	21.8	1,02	0,0	9,16	0,0	0,0	0,70	0,0	0,0	0,0	0,0	0,474	0,0	-28,1	-32,9	-60,1
8	14,6	17.7	1,25	0,0	9,17	0,0	0,0	0,72	0,0	0,0	0,0	0,0	0,474	0,0	-25,1	-26,1	-49,1
9	6,3	16.2	1,35	0,0	9,19	0,0	0,0	0,73	0,0	0,0	0,0	0,0	0,475	0,0	-41,1	-23,9	-64,1
10	-5,7	15,6	1,33	0,15	9,20	0,0	0,0	0,75	0,0	0,0	0,31	0,0	0,476	0,0	-34,1	-23,9	-57,1
11	-19,3	12.9	1,31	0,34	9,22	0,0	0,0	0,76	0,0	0,0	0,31	0,0	0,477	0,0	-21,1	-19,9	-40,1
12	-24,7	13.8	1,29	0,49	9,23	0,0	0,0	0,77	0,0	0,0	0,31	0,0	0,477	0,0	-28,1	-28,9	-41,1

ГОД-30

N	ТР	Т	ПОЛОЖЕНИЕ ФР. ВНЕ ЗОНЫ Т/П		ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ В ОСН. Т/П: М/ЛЕТ	СЕЗ.	РАЗР.	С ПР.	ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ ОТ ТРУБЫ		ОТ ПОВ-ТИ		ОСАДКИ	ПУЙЕН.	ТЕПЛОПОТОКИ		
			EOR	EPB	ROM	ROS	ROP	RMS	RO	RP	YO	YP	MPM	MPJ	QA	QCR	QSJM
1	-25.1	14.8	1.27	0.63	9.81	0.0	0.0	9.32	0.0	0.0	0.31	0.0	0.506	0.0	-21.	-21.	-43.
2	-24.6	16.9	1.25	0.75	9.82	0.0	0.0	9.33	0.0	0.0	0.31	0.0	0.507	0.0	-23.	-24.	-48.
3	-18.6	19.3	1.23	0.83	9.84	0.0	0.0	9.35	0.0	0.0	0.31	0.0	0.508	0.0	-27.	-28.	-55.
4	-8.5	22.1	1.21	0.88	9.85	0.0	0.0	9.36	0.0	0.0	0.31	0.0	0.508	0.0	-32.	-32.	-64.
5	1.8	23.5	0.03	0.0	9.87	0.0	0.0	9.38	0.0	0.0	0.31	0.32	0.509	0.0	-44.	-34.	-78.
6	13.0	24.2	0.64	0.0	9.89	0.0	0.0	9.40	0.0	0.0	0.31	0.57	0.510	0.0	-58.	-35.	-93.
7	18.9	21.8	1.02	0.0	9.91	0.0	0.0	9.42	0.0	0.0	0.0	0.0	0.511	0.0	-28.	-31.	-59.
8	14.6	17.7	1.25	0.0	9.93	0.0	0.0	9.43	0.0	0.0	0.0	0.0	0.512	0.0	-23.	-25.	-48.
9	6.3	16.2	1.35	0.0	9.94	0.0	0.0	9.44	0.0	0.0	0.0	0.0	0.513	0.0	-41.	-23.	-63.
10	-5.7	15.6	1.33	0.15	9.95	0.0	0.0	9.46	0.0	0.0	0.31	0.0	0.513	0.0	-34.	-22.	-56.
11	-19.3	12.9	1.31	0.34	9.96	0.0	0.0	9.47	0.0	0.0	0.31	0.0	0.514	0.0	-21.	-19.	-40.
12	-24.7	13.8	1.29	0.49	9.97	0.0	0.0	9.48	0.0	0.0	0.31	0.0	0.514	0.0	-20.	-20.	-40.

ГОД-33

N	TP	T	ПОЛОЖЕНИЕ ФР. ВНЕ ЗОНЫ Т/П		ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ В ОСН. Т/П: М/ЛЕТ: СЕЗ.		РАЗР.	С ПР.	ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ ОТ ТРУБЫ		ОТ ПОВ-ТИ		ОСАДКИ	ПУЧЕН.	ТЕПЛОПОТОКИ		
			EOH	EPB	ROM	ROS	ROP	RMS	RO	RP	YO	YP	WPH	WPJ	QA	QGR	QSJH
1	-25.1	14.6	1.27	0.63	10.33	0.0	0.0	9.82	0.0	0.0	0.31	0.0	0.532	0.0	-21.	-21.	-42.
2	-24.6	15.9	1.25	0.75	10.35	0.0	0.0	9.83	0.0	0.0	0.31	0.0	0.533	0.0	-23.	-24.	-47.
3	-18.6	19.3	1.23	0.83	10.36	0.0	0.0	9.85	0.0	0.0	0.31	0.0	0.534	0.0	-27.	-27.	-54.
4	-8.5	22.1	1.21	0.88	10.38	0.0	0.0	9.86	0.0	0.0	0.31	0.0	0.535	0.0	-32.	-31.	-63.
5	1.8	23.5	0.03	0.0	10.40	0.0	0.0	9.88	0.0	0.0	0.31	0.02	0.536	0.0	-44.	-33.	-78.
6	13.0	24.2	0.64	0.0	10.42	0.0	0.0	9.90	0.0	0.0	0.31	0.57	0.536	0.0	-58.	-34.	-95.
7	18.9	21.8	1.02	0.0	10.43	0.0	0.0	9.91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.537	0.0	-28.	-31.	-59.
8	14.6	17.7	1.25	0.0	10.45	0.0	0.0	9.92	0.0	0.0	0.0	0.0	0.538	0.0	-23.	-25.	48.
9	6.3	16.2	1.35	0.0	10.46	0.0	0.0	9.94	0.0	0.0	0.0	0.0	0.539	0.0	-41.	-22.	-63.
10	-5.7	15.6	1.33	0.15	10.47	0.0	0.0	9.95	0.0	0.0	0.31	0.0	0.539	0.0	-34.	-22.	-56.
11	-19.3	12.9	1.31	0.34	10.48	0.0	0.0	9.96	0.0	0.0	0.31	0.0	0.540	0.0	-21.	-18.	-39.
12	-24.7	13.8	1.29	0.49	10.49	0.0	0.0	9.97	0.0	0.0	0.31	0.0	0.540	0.0	-20.	-20.	-40.

```
01.03.85        ВНИПИГАЗДОБЫЧА-ВНИИСТ,1985ГОД.      ЛИСТ

C       РАСЧЕТ ФРОНТОВ ПРОТАИВАНИЯ (ВРОМЕРЗАНИЯ)
C       ОТ ДНЕВНОЙ ПОВ-ТИ ПРИ НАЛИЧИИ И В ОТСУТСТВИЕ Т/П
C       ВВЕРХ И ВНИЗ ОТ Т/П -ВFRONT
        COMMON/GLA01/BF,AG,ALG,AI,ALI,TPN,TF,TN,TGR,
       *KAPAN,DH,DJ,LIZ,HJ,OMEG
       *,TI,HT
        COMMON /GLA02/JTT,KO,L,LH,HN,BIZ,AT,ITT1,IZ,
       *LTB,LTH,LHB,LHH,ATG,ATH,AMB,AMH,BFB,BFH,
       *IBCP,EOB1,EPB1,EPH1,YO1,YP1,RO1,RP1,ROH1,ROS1,ROP1,ROPH1
       *,CPR,CPU
        COMMON/GLA03/T(12),TB(12),ALFAF(12),ALF2R(12),
       *KAPA(12),RO(12),LB(12)
       *,ALF2B(12),TN1(7,12)
        COMMON /GLA04/ JT
        COMMON/GLA05/IPP,ITB,IPB,IT,JAKT
        DIMENSION HTN(12),RSN(12)
        DIMENSION BAH1(12),BAB1(12),BBRH1(12),BBRB1(12)
        DIMENSION TP(12),BPB(12),BPH(12),BOB(12),
       *RO(12),RP(12),YO(12),YP(12)
       *,ROS(12),ROP(12),ROH(12),ROPH(12)
        REAL LIZ,LTB,LTH,LHB,LHH,LE,KAPA,KAPAN
        WRITE(3,16)
   16 FORMAT(/10X,'Р А С Ч Е Т  Д И А М Е Т Р А',
       *' Т Е П Л О В О Г О  И  М Е Х А Н И Ч Е С К О Г О',
       *//10X,'В З А И М О Д Е Й С Т В И Я  Т Р У Б О П Р О',
       *' В О Д О В  С  Г Р У Н Т А М И',10X,'ВНИПИГАЗДОБЫЧА',
       *'-ВНИИСТ')
        NBAR=0
   92 NBAR=NBAR+1
        WRITE(3,93)NBAR
   93 FORMAT(/10X,'N ВАРИАНТА=',I2)
        CALL BOJD
        DO=DH
        EPS=1.E-9
        JT=0
        IF(LIZ.LT.0.9881)LIZ=0.83
        IPU=0
        IKH=0
        ICS=0
        KPU=0
        KPR=0
        HPR=0.
        HPU=0.
        HPR1=0.
        HPU1=0.
        DO 45 N=1,12
        ALF2BN=ALF2B(N)
        IF(ALF2BN.LT.0.9881)ALF2B(N)=10.
        RSN(N)=DH/2.
        HTN(N)=HT
```

```
   45 CONTINUE
      IF(IBCP.NE.2)GO TO 94
C     ОТСУТСТВУЮТ ВСПОМОГ.ПАРАМЕТРЫ
      EOB1=0.
      EPB1=0.
      EPH1=0.
      YO1=0.
      YP1=0.
      RO1=0.
      RP1=0.
      ROM1=0.
      ROS1=0.
      ROP1=0.
      ROPH1=0.
```



```
   94 JT=JT+1
      DO 130 N=1,12
      T(N)=TH1(ITT1,N)
      IF(JT.LE.ITT1)T(N)=TH1(JT,N)
  130 CONTINUE
C     БЛОК РАСЧЕТА ОТ ПОВЕРХНОСТИ БЕЗ ТРУБЫ -BLOCK1
C     IP-СОСТОЯНИЕ ФАЗ:1-ОБРАЗОВАНИЕ;2-РАЗРУШЕНИЕ;
C     Z-ОТСУТСТВИЕ
      DO 85 N=1,12
      IF(IZ.EQ.1)DH=DO+2.*DIZ
      IF(IZ.EQ.2)DH=DO
      PU=0.
      RSMN=RSM(N)
      HO=ABS(HT+DH+0.5)
      TPN=TB(N)+(RD(N)-LE(N))/ALFAF(N)*13.7
      TP(N)=TPN
      KAPAN=KAPA(N)
      TBN=TB(N)
      TN=T(N)
      ITR=1
      IF(TN.LT.0.)ITN=-1
      ALF2BN=ALF2B(N)
      QF=QFB
      IL=N-1
      IF(N.EQ.1)IL=12
      ITP=1
      IF(TPN.LT.5.)ITPR=-1
      IGR=1
      IF(TGR.LT.5.)IGR=-1
      ALO=ALT
   31 CONTINUE
      ALN=LMB
      AN=AMB
      IF(TGR.LE.TF)GO TO 21
      ALN=LTB
      AN=ATB
   21 CONTINUE
C     АНАЛИЗ ИСХОДНОГО СОСТОЯНИЯ
      IF(N.NE.1.OR.JT.NE.1)GO TO 5
      EPB(IL)=EPB1
```

```
      EOB(IL)=EOB1
      IPP=3
      IF(EPB1.GT.EPS)GO TO 6
      IF(EOB1.GT.EPS)IPP=1
      EPH(IL)=0.
      GO TO 3
    6 IPP=2
      EPH(IL)=EOB1
    5 CONTINUE
C     КОНЕЦ ЛУЧЕНИЯ
      IF(KPU.EQ.0)GO TO 39
C     КОРРЕКЦИЯ НТ С УЧЕТОМ ЛУЧЕНИЯ
      IF(TP(IL)..T.Z..AND.TP(N).GT.0.)GO TO 9
      GO TO 39
    9   NTINUE
        N)=NTN(N)+HPU
      PU=*
      HPU1=7.
      HPU=3.
   39 CONTINUE
      IF(ITP.NE.IGR)GO TO 32
C     РАЗРУБЕНИЕ ОТ ПОВЕРХНОСТИ БЕЗ Т/П   EPB,EPH
C     SIGN(TP )=SIGN(TGR)
      T1=TF
01,03.85      ВНИПИГАЗДОБЫЧА-ВНИИСТ,1985ГОД.     ЛИСТ   3

      IF(ABS(TF-TPN).LT.0.01)GO TO 35
      IF(IPP.NE.3)GO TO 34
   35 EPB(N)=7.
      EPH(N)=7.
      EOB(N)=0.
      EPBN=EPB(N)
      EOBN  =EOB(N)
      EPHN =EPH(N)
      GO TO 3
   34 CONTINUE
      IF(IPP.NE.2)GO TO 36
      XB1=EPB(IL)
      XH1=EPH(IL)
   36 CONTINUE
      IF(IPP.NE.1)GO TO 37
      XB1=0.
      XH1=EOB(IL)
      IPP=2
   37 CONTINUE
C     I=1-FEYS,I=2-FRB,I=3-FR11,I=4-FR12;
      XB2=BFX(XB1,1)
      DELT=54.*A_N*ABS(TF-TGR)/(SQRT(3.14159*AN)*QFB)
      XH2=XH1
      IF(XH2.GT.EPS)XH2=XH1-DELT
      EPB(N)=XB2
      EPH(N)=XH2
      EOBN=XH2
      EOB(N)=XH2
      EPBN=EPB(N)
      EPHN=EPH(N)
```

```
      IF(EPB(N).LT.EPH(N))GO TO 38
      EOB(N)=0.
      EPB(N)=2.
      EPH(N)=0.
      IPP=3
   38 CONTINUE
      GO TO 3
   32 CONTINUE
C     ОБРАЗОВАНИЯ ОТ ПОВЕРХНОСТИ  EOB
C     SIGN(TPN)#SIGN(TGR)
      T1=TGR
      X1=0.
      IF(IPP.EQ.1)X1=EOB(IL)
      IPP=1
      EPB(N)=0.
      EPH(N)=0.
      EPBN=EPB(N)
      EPHN=EPH(N)
      IF(ABS(TP-TPN).GT.0.01)GO TO 41
      EOB(N)=EOB(IL)
      EOBN=EOB(N)
      GO TO 3
   41 EOB(N)=BFX(X1,1)
      EOBN=EOB(N)
    3 CONTINUE
C     КОНЕЦ БЛОКА РАСЧЕТОВ ОТ НОВ-ТИ БЕЗ Т/П
C     BLOCK2-РАСЧЕТ ОРЕОЛОВ НАД ТРУБОПРОВОДОМ
C     IP;IT-ФАЗОВЫЕ ПРОЦЕССЫ:1-ОБРАЗОВАНИЕ;2-РАЗРУШ.;3-ОТСУТ.
C     YO;YP-ОРЕОЛЫ ОБРАЗ;РАЗРУШ.ОТ ПОВ-ТИ;RO;RP-ОТ Т/П ВВЕРХ
      RO8=DH/2.
      ALOB=ALO
      IF(N.NE.1.OR.JT.NE.1)GO TO 44
      RO(IL)=RO1+DH/2.
      RP(IL)=RP1+DH/2.
01.03.85       ВНИПИГАЗДОБЫЧА-ВНИИСТ;1985ГОД.     ЛИСТ   4

      YO(IL)=YO1
      YP(IL)=YP1
      IPB=3
      ITB=3
      IF(RO1.GT.DH*0.5)ITB=1
      IF(YO1.GT.0.)IPB=1
      IF(RP1.GT.DH*0.5)ITB=2
      IF(YP1.GT.0.)IPB=2
   44 CONTINUE
      IF(KD.EQ.3)GO TO 54
      IF(ITP.NE.ITN)GO TO 95
      IF(L.NE.ITN)GO TO 57
C     SIGN(TN)=SIGN(L)=SIGN(TP)#1 ВАРИАНТ НАД Т/П
      YO(N)=YO(IL)
      YP(N)=YP(IL)
      YP(N)=YP(IL)
      YON=YO(N)
      YPN=YP(N)
      IF(IPB.EQ.3)GO TO 47
C     РАЗРУШЕНИЯ ОТ ПОВ-ТИ УР
```

```
      EY1=YP(IL)
      IPB=2
      YP(N)=BFX(EY1,5)
      YPN=YP(N)
      IF(YO(N).GE.YP(N))GO TO 47
      IPB=3
      YO(N)=0.
      YP(N)=0.
   47 CONTINUE
C     РАЗРУШЕНИЯ ОТ ТРУБЫ RP
      RO(N)=RO(IL)
      RP(N)=RP(IL)
      RONN=RO(N)
      RPN=RP(N)
      IF(ITB.EQ.3)GO TO 43
      RR1=RP(IL)
      IF(ITB.EQ.1)RR1=DH*0.5
      ITB=2
      RP(N)=BFX(RR1,6)
      RPN=RP(N)
      IF(RP(N).LT.RO(N))GO TO 48
      ITB=3
      RP(N)=DH*0.5
      RO(N)=DH*0.5
      RPN=RP(N)
      RONN=RO(N)
   43 CONTINUE
      GO TO 54
   57 CONTINUE
C     SIGN(TN)=SIGN(TPN)*SIGN(IL)-2 ВАРИАНТ НАД Т/П
C     ОЗРАЗОВАНИЯ ОТ ТРУБЫ RO И ПОВЕРХНОСТИ YO
      YP(N)=0.
      RP(N)=DH/2.
      RR1=DH/2.
      IF(ITB.EQ.1)RR1=RO(IL)
      ITB=1
      RO(N)=BFX(RR1,6)
      YP(N)=0.
      RR1=0.
      IF(IPB.EQ.1)RR1=YO(IL)
      IPB=1
      YO(N)=BFX(RR1,5)
      RPN=RP(N)
      YPN=YP(N)
```



```
      RONN=RO(N)
      YON =YO(N)
      IF(RO(N)+YO(N).LT.ABS(HT))GO TO 42
      L=-L
      IPB=3
      ITB=3
      IF(L.EQ.1)GO TO 38
C     НАЧАЛО ПУЧЕНИЯ
      KPU=1
```

```
      PU=(ABS(HT)-RO(IL)+YO(IL))/(YO(N)+YC(IL))
      IF(IBCP.NE.1)GO TO 38
      IF(N.NE.1.OR.JT.NE.1) GO TO 38
      IF(RO(IL)+YO(IL).GT.ABS(HT))PU=2.
   38 CONTINUE
      RO(N)=DH/2.
      YO(N)=0.
      RONN=RO(N)
      YON=YO(N)
   42 CONTINUE
      GO TO 54
   95 CONTINUE
C     ITP=ITN
      IF(L.NE.ITN)GO TO 52
C     3 ВАРИАНТ:SIGN(TP)*=SIGN(TN)+SIGNTL)
      YP(N)=3.
      RO(N)=DH/2.
      YPN=YP(N)
      RONN=RO(N)
      IF(ITB.NE.3)GO TO 7
C     ОДНОСТОРОННЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ ОТ ПОВ-ТИ YO
      RP(N)=DH/2.
      RPN=DH/2.
      IPB=1
      X1=0.
      IF(KAPAN.LT.0.001)X1=0.001
      XX=BFX(X1,3)
      YO(N)=XX
      IF(YO(N).LT.ABS(HT)-DH/2.)GO TO 89
      L=-L
      YO(N)=0.
      IPB=3
C     НАЧАЛО ПУЧЕНИЯ
      IF(L.EQ.1)GO TO 89
      IF(KPU.EQ.1)GO TO 89
      KPU=1
      PU=(ABS(HT)-RO(IL)+YO(IL))/(YO(N)+YC(IL))
      IF(IBCP.NE.1)GO TO 89
      IF(N.NE.1.OR.JT.NE.1)GO TO 89
      IF(RO(IL)+YO(IL).GT.ABS(HT))PU=2.
   89 CONTINUE
      YON=YO(N)
      GO TO 54
    7 CONTINUE
C     ОБРАЗОВАНИЕ ОТ ПОВ-ТИ YO I РАЗРУШЕНИЕ ОТ ТРУБЫ RP
      RR2=DH/2.
      IF(ITB.EQ.2)RR2=RP(IL)
      ITB=2
      RP(N)=BFX(RR2,6)
      RPN=RP(N)
      RR1=0.
      IF(IPB.EQ.1)RR1=YO(IL)
      IPB=1
      YO(N)=BFX(RR1,5)
      YON=YO(N)
```

```
   52 CONTINUE
C     4 ВАРИАНТ:SIGN(TH)*SIGN(L)**SIGN(TN)
      IF(IPB.NE.3)GO TO 53
C     ОБЛОСТОРОННЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ RO
      RP(N)=DH/2.
      ITB=1
      YO(N)=0.
      RPN=RP(N)
      YON=YO(N)
      YP(N)=0.
      YPN=YP(N)
      T1=TPN
      X1=DH/2.
      IF(KAPAN.LT.0.001)X1=0.001*DH/2.
      XX=BFX(X1,4)
      RO(N)=XX
      RONN=RO(N)
      IF(RONN.LT.ABS(HT))GO TO 88
      L=-L
C     НАЧАЛО ПУЧЕНИЯ
      IF(TN.GT.0.0001)GO TO 22
      IF(KPU.EQ.1)GO TO 22
      KPU=1
      PU=(ABS(HT)-RO(IL)-YO(IL))/(YO(N)-YO(IL))
      IF(IBCP.NE.1)GO TO 22
      IF(N.NE.1.OR.JT.NE.1)GO TO 22
      IF(RO(IL)+YO(IL).GT.ABS(HT))PU=0.
   22 CONTINUE
      RO(N)=DH/2.
      RONN=RO(N)
      ITB=3
   88 CONTINUE
      GO TO 54
   53 CONTINUE
C     НАЧАЛО ИЛИ ПРОДОЛЖЕНИЕ РАЗРУШЕНИЯ ОТ ПОВ-ТИ YP
C     И ОБРАЗОВАНИЕ ОТ ТРУБЫ RO
      IPB=2
      RP(N)=DH/2.
      EY1=YP(IL)
      YP(N)=BFX(EY1,5)
      YO(N)=YO(IL)
      YPN=YP(N)
      YON=YO(N)
      IF(YO(N)+RO(N)-DH+0.5.LT.HO)GO TO 55
C     НАЧАЛО ПУЧЕНИЯ
      L=-L
      IF(L.EQ.1)GO TO 23
      IF(KPU.EQ.1)GO TO 23
      KPU=1
      PU=(ABS(HT)-RO(IL)-YO(IL))/(YO(N)-YO(IL))
      IF(IBCP.NE.1)GO TO 23
      IF(N.NE.1.OR.JT.NE.1)GO TO 23
      IF(RO(IL)+YO(IL).GT.ABS(HT))PU=0.
```

```
   23 CONTINUE
      YO(N)=YP(N)
      YP(N)=0.
      RO(N)=DH*0.5
      RP(N)=DH*0.5
      ITB=3
      IPB=3
      GO TO 54
   55 IF(YP(N).LT.YO(N))GO TO 54
      IPB=3
      YO(N)=0.
```

01.03.85 ВНИПИГАЗДОБЫЧА-ВНИИСТ.1985ГОД. ЛИСТ 7

```
      YP(N)=0.
   54 CONTINUE
      IF(KD.NE.3)GO TO 24
C     НАЗЕМНАЯ ОТКРЫТАЯ
      RO(N)=DH*0.5
      RP(N)=DH*0.5
      YO(N)=0.
      YP(N)=0.
      RONN=RO(N)
      RPN=RP(N)
      YON=YO(N)
      YPN=YP(N)
      IPB=3
      ITB=3
      IF(ITN.EQ.ITP.AND.ITN.EQ.3)GO TO 25
      GO TO 24
   25 CONTINUE
C     НАЧАЛО ПУЧЕНИЯ
      KPU=1
      PU=0.
   24 CONTINUE
C     ВЫЧИСЛЕНИЕ ПУЧЕНИЯ
      IF(KPU.EQ.0)GO TO 46
      HPU=HPU1+CPU*(EOB(N)-EOB(IL))*ABS(1.-PU)
      IF(IP.EQ.2)HPU=HPU1+CPU*(EPB(N)-EPB(IL))*ABS(1.-PU
      IF(HPU.LT.0.)HPU=0.
      HPU1=HPU
      PU=0.
      HTN(N)=HTN+HPU
      IPU=IPU+1
      GO TO 56
   46 CONTINUE
      IF(IPU.GT.0)HTN(N)=HTN(IL)
   56 CONTINUE
C     КОНЕЦ БЛОКА  ДЛЯ Т/П -BLOCK 2
      IF(ITB.EQ.1)RCB=RO(N)
      IF(ITB.EQ.2)RCB=RP(N)
C     БЛОК РАСЧЕТА ПОД ТРУБОПРОВОДОМ  BLOCK3
      IF(IZ.EQ.2)DH=DO+2.*DIZ
      ALN=ALTH
      AN=ATH
      QF=QFH
      IF(TQR.GT.0.)GO TO 86
```

```
      ALN=ALMH
      AN=AMH
   66 CONTINUE
      ITP=1
      IF(ITPR.LT.0.)ITP=-1
      ITGR=1
      IF(ITGR.LT.0.)ITGR=-1
C     ВЫЧИСЛЕНИЕ ОРЕОЛОВ ПОД Т/О
      RR=DH*0.5
      IF(N.GT.1.OR.JT.GT.0)GO TO 66
      ROS(IL)=ROS1+RR
      ROP(IL)=ROP1+RR
      ROM(IL)=ROM1+RR
      ROPH(IL)=0.
      JAKT=0
      IT=0
      IF(ABS(ROS(IL)-RR).LE.0.001)GO TO 67
      JAKT=1
      IT=IT+1
   67 IF(ABS(ROP(IL)-RR).LE.0.001)GO TO 68
      JAKT=2
```

01.[illegible].85 ВНИПИГАЗДОБЫЧА-ВНИИСТ.1985ГОД. ЛИСТ 8

```
      ROPH(IL)=ROS(IL)
      IT=IT+1
   68 IF(ABS(ROM(IL)-RR).LE.0.001)GO TO 69
      JAKT=3
      IT=IT+1
      GO TO 69
      CONTINUE
      IT=2
      IF(ABS(ROM(IL)-RR).GT.0.001)IT=IT+1
      IF(ABS(ROP(IL)-RR).GT.0.001)IT=IT+1
      IF(ABS(ROS(IL)-RR).GT.0.001)IT=IT+1
      CONTINUE
C     IT-ЧИСЛО ФРОНТОВ
C     JAKT-КОД ПРОЦЕССА,0-ОТСУТСТВИЕ,1-СЕЗОННЫЕ,2-РАЗРУШЕНИЯ,
C     НАКОПЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ-3
      IF(ITP.LE.ITN)GO TO 75
C     РАЗРУШЕНИЕ ОТ ТРУБ ВНИЗ ROP И
C     РАЗРУШЕНИЕ СНИЗУ ROPH ОТ ROSMAX
      IF(IT.NE.0)GO TO 74
      ROM(N)=RR
      ROS(N)=RR
      ROP(N)=RR
      ROPH(N)=0
      ROMN=ROM(N)
      ROSN=ROS(N)
      ROPN=ROP(N)
      ROPHN=ROPH(N)
      RGR=0.
      RAR=0.
      QSUM=0.
      GO TO 26
   74 CONTINUE
```

```
      IF(JAKT.NE.3)GO TO 115
      IF(IT.NE.3)GO TO 119
      ROM(N)=ROM(IL)
      ROS(N)=RR
      ROP(N)=RR
      ROPM(N)=0.
      IT=1
      GO TO 120
  119 CONTINUE
      ROM(N)=ROM(IL)-54.*ALN*ABS(TF-TGR)/(SQRT(3.14159*AN)*QFM)
      IT=2
      ROP(N)=ROP(IL)
      ROPM(N)=0.
      RON=ROS(IL)
      ASSIGN 116 TO M
      GO TO 60
  116 ROS(N)=RON1
  120 POSN=ROS(N)
      ROMN=ROM(N)
      ROPN=ROP(N)
      ROPMN=ROPM(N)
      IF(ROS(N).LT.ROM(N))GO TO 121
      JAKT=0
      IT=0
      ROS(N)=RR
      ROM(N)=RR
      ROP(N)=RR
  121 CONTINUE
      GO TO 15
  115 CONTINUE
      IF(IT.LE.2)GO TO 73
      ROP(IL)=ROS(IL)
```

01.03.85 ВНИИПИГАЗДОБЫЧА-ВНИИСТ.1985ГОД. ЛИСТ 9

```
      ROS(IL)=ROM(IL)
      ROM(N)=ROM*0.5
      ROPM(IL)=ROS(IL)
      JAKT=2
      ICH=0
      IT=2
   73 IF(JAKT.EQ.2)GO TO 70
      ICH=0
      ROM(N)=ROM(IL)
      ROMM=ROS(IL)
      RON=RR
      GO TO 71
   70 ICH=ICH+1
      RON=ROP(IL)
      RONM=ROPM(IL)
   71 JAKT=2
      ROPM(N)=RONM+5.*ALN*ABS(TF-TGR)/(SQRT(3.14159*AN)*QFM)
      ROS(N)=ROP(N)
      ROM(N)=ROM(IL)
      ASSIGN 72 TO M
      GO TO 97
   72 ROP(N)=RON
```

```
      ROSN=ROS(N)
      ROPN=ROP(N)
      ROMN=ROM(N)
      ROPHN=ROPH(N)
      IF(ROP(N).LT.ROPH(N))GO TO 15
      ROS(N)=RR
      ROP(N)=RR
      ROM(N)=RR
      IT=0
      JAKT=0
      ICH=0
      ROP(N)=RR
      ROPH(N)=RR
      IF(LH.NE.ITN)LH=-LH
      GO TO 15
   75 CONTINUE
C     ВАРИАНТ SIGN(TGR)=SIGN(TN)
      ROS(N)=ROS(IL)
      ROM(N)=ROM(IL)
      ROP(N)=ROP(IL)
      ROPH(N)=0.
      ROSN=ROS(N)
      ROMN=ROM(N)
      ROPN=ROP(N)
      ROPHN=ROPH(N)
      IF(JAKT.NE.3)GO TO 117
      IF(IT.EQ.1)GO TO 81
      RON=RR
      IF(IT.EQ.2)RON=ROP(IL)
      ASSIGN 118 TO M
      GO TO 87
  118 ROP(N)=RON1
      ROS(N)=ROS(IL)
      ROM(N)=ROM(IL)
      ROPN=ROP(N)
      ROSN=ROS(N)
      ROMN=ROM(N)
      ROPH(N)=0.
      ROPHN=ROPH(N)
      IF(ROSN.GT.ROPN)GO TO 15
      IT=1
      ROP(N)=RR
```



```
      ROS(N)=RR
      GO TO 15
  117 CONTINUE
      IF(IT.NE.0)GO TO 76
      JAKT=1
      IT=1
      RON=DH*0.5
      ASSIGN 77 TO M
      GO TO 87
   77 ROS(N)=RON1
      ROM(N)=DH*0.5
      ROP(N)=DH*0.5
```

```
      ROPH(N)=0.
      ROSN=ROS(N)
      ROMN=ROM(N)
      ROPN=ROP(N)
      ROPHN=ROPH(N)
      GO TO 15
   76 CONTINUE
      IF(IT.EQ.3)GO TO 84
      IF(IT.EQ.1)GO TO 78
      ROM(IL)=ROS(N)
      RPN =RP(N)
      ROM(N)=ROS(N)
      ROS(N)=ROP(N)
      ROPH(N)=DH/2.
      LH=-LH
   84 CONTINUE
      JAKT=2
      IT=3
      RON=ROP(IL)
      ASSIGN 79 TO M
      GO TO 86
   79 ROP(N)=RON1
      ROMN=ROM(N)
        ROSN=ROS(N)
      ROPN=ROP(N)
      ROPHN=ROPH(N)
      IF(ROP(N).LT.ROS(N))GO TO  15
      IT=1
      JAKT=3
      ROP(N)=DH*0.5
      ROS(N)=DH*2.5
      ROPH(N)=DH*0.5
      GO TO 15
   78 IF(JAKT.EQ.3)GO TO  81
C     ПРОДОЛЖЕНИЕ СЕЗОННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ JAKT=1
      RON=ROS(IL)
      JAKT=1
      IT=1
      ASSIGN 82 TO M
      GO TO 82
   82 ROS(N)=RON1
      ROM(N)=ROM(IL)
      ROP(N)=ROP(IL)
      ROPH(N)=ROPH(IL)
      ROSN=ROS(N)
      ROMN=ROM(N)
      ROPN=ROP(N)
      ROPHN=ROPH(N)
      GO TO 15
   81 CONTINUE
C     ПРОДОЛЖЕНИЕ      МНОГОЛЕТНИХ ОБРАЗОВАНИЙ
      JAKT=3
```

81.03.85 ВНИГИГ Д.Б.ЧЕБЕНИНСТ.1985ГОД. ГЛС

```
      RON=ROM(IL)
      ASSIGN 83 TO
```

```
      GO TO 82
   83 ROM(N)=RON1
      ROS(N)=RR
      ROP(N)=PR
      ROPH(N)=0.
      ROSN=ROS(N)
      ROMN=ROM(N)
      ROPN=ROP(N)
      ROPHN=ROPH(N)
      GO TO 15
C     КОНЕЦ БЛОКА 3
C     БЛОК РАСЧЕТА ОРЕОЛОВ  ДЛЯ ВСЕХ ВИДОВ ПРОКЛАДКИ ПОД Т/П
   80 CONTINUE
      R=DH*0.5
      R1=HT/R+1.
      R2=1.-3.6*(HT-R)/(HN-DH)
      R3=1.-0.4*R1
      R4=RON-R
      XH1=RON
      IF(KO.EQ.3.AND.HT.GT.-R)XH1=R4/R3+R
      IF(KO.NE.2)GO TO 11
      IF(HT.GT.HN+0.5)XH1=(RON-0.3*R)/0.7
      IF(HT.GE.-R.AND.HT.LE.HN+0.5)XH1=R4/R2+R
   11 XH=XH1+EPS
      RON1=RON
      R=ALO*ABS(TP-TN)
      IF(ABS(R).GE.0.001)RON1=BF1(XH,2)
      Z=RON1
      IF(KO.EQ.3.AND.HT.GT.-R)RON1=(Z-R)*R3+R
      IF(KO.NE.2)GO TO 12
      IF(HT.GT.HN+0.5)RON1=(Z-R)*0.7+R
      IF(HT.GE.-R.AND.HT.LE.HN+0.5)RON1=(Z-R)*R2+R
   12 CONTINUE
      GO TO M,(72,77,79,82,83,136,118,58,64)
C     РАСЧЕТ 4 И 8
   15 Z=YC(N)
      IF(SIGN(1.,T8(N)).EQ.SIGN(1.,T(N)))Z=YP(N)
C     РАСЧЕТ ОБЛАСОК
      IF(ITN.EQ.-1)GO TO 61
      IF(ICP.EQ.1)GO TO 61
      IPR=1
C     ПРОТАИВАНИЕ
      IF(JAKT.NE.1)GO TO 48
C     СЕЗОННОЕ ПРОТАИВАНИЕ
      ICS=1
      DELT=ROS(N)-ROS(IL)
      RON=ROS(IL)*(1.-CPR)+0.5*DH*CPR
      HT1=HT
      HT=HTN(IL)
      ASSIGN 58 TO M
      GO TO 80
   58 RSM(N)=RON1
      HT=HT1
   48 IF(JAKT.NE.3)GO TO 59
C     МНОГОЛЕТНИЕ ОТРАЗОВАНИЯ
      IMH=1
      DELT=ROM(N)-ROM(IL)
```

```
      RON=ROM(IL)*(1.-CPR)+0.5*DH*CPR
      HT1=HT
      HT=HTN(IL)
      ASSIGN 64 TO M
      GO TO 60
```



```
   64 RSM(N)=RON1
      HT=HT1
   59 CONTINUE
      HPR=HPR1+DELT*CPR
      HPR1=HPR
      HTN(N)=HTN(N)-HPR
      GO TO 49
   61 CONTINUE
C     АНАЛИЗ НА КОНЕЦ ОСАДОК
      IF(IPR.EQ.0)GO TO 87
      IPR=0
   87 HTN(N)=HTN(IL)
      RSM(N)=RSM(IL)
      IF(IMM.EQ.1)GO TO 49
C     МНОГОЛЕТНИЕ ПРОСАДКИ СОХРАНЯЮТСЯ
C     СЕЗОЧНЫЕ ЗАНУЛЯЮТСЯ
      HTN(N)=HT
      RSM(N)=DH/2.
   49 CONTINUE
      RSMN=RSM(N)
   26 CONTINUE
C     РАСЧЕТ ТЕПЛОПОТОКОВ
      ALOB=ALO
      HO=ABS(HT+DH*0.5)
      HSB=HO+ALO*KAPA(N)
      HSH=HO+ALOB*KAPA(N)
C     YB-ОРЕОЛ ОТ ПОВ-ТИ ПРИ НАЛИЧИИ Т/П
C     RB-ОРЕОЛ ОТ ТРУБЫ ВВЕРХ
C     RH-ОРЕОЛ ОТ ТРУБЫ ВНИЗ
      YB=0.
      IF(IPB.EQ.2)YB=YP(N)
      IF(IPB.EQ.1)YB=YO(N)
      RB=DH*0.5
      IF(ITB.EQ.1)RB=RO(N)
      IF(ITB.EQ.2)RB=RP(N)
      RH=RON1
      R1H=DH/HSH
      R1B=DH/HSB
      AHT=ABS(HT)
      EB=0.
      IF(IPP.EQ.1)EB=EOBN
      IF(IPP.EQ.2)EB=EPBN
      RH=RON1
      IF(KD.NE.4)GO TO 96
C     ПОДЗЕМНАЯ ПРОКЛАДКА
      IF(ITB.NE.3)GO TO 97
      IF(IT.NE.0)GO TO 98
      TETH=0.
      IF(EB.GT.YB)GO TO 99
```

```
      TETB=0.
      PIB=3.14159
      PIH=PIB
      GO TO 100
   99 CONTINUE
      TETB=2.*ARCOS(ABS((HT*EB)/(HT*YB)))
      IF(EB.GT.AHT)TETB=6.283185-TETB
      PIB=0.
      PIH=6.283185-TETB
      GO TO 100
   98 CONTINUE
C     IT=0
      PIH=0.
      PIB=PIH
      TETB=3.14159
```

01.03.85 ВНИИПРАЗДОБЫЧА-ВНИИСТ.1985ГОД. ЛИСТ 13

```
      TETH=TETB
      IF(RH.LE.ABS(HT+EB))GO TO 100
      PIB=2.*ARCOS(ABS(HT+EB)/RH)
      TETB=3.141592-PIB
      TETH=3.141592
      IF(AHT.GE.EB)GO TO 100
      PIB=6.283185-PIB
      TETB=0.
      TETH=6.283185-PIB
      GO TO 100
   97 CONTINUE
C     ITB=3
      PIB=2.
      PIH=0.
      TETB=3.14159
      TETH=TETB
      IF(RB.LE.ABS(HT+YB))GO TO 100
      PIB=2.*ARCOS(ABS(HT+EB)/RB)
      TETH=6.283185-PIB
      PIH=0.
      TETB=0.
      IF(AHT.LT.EB)GO TO 100
      PIB=6.283185-PIB
      TETH=PIB
      PIH=0.
      TETB=0.
      GO TO 100
   96 CONTINUE
      IF(KO.NE.2)GO TO 101
C     НАЗЕМНАЯ В ЗАБОЕ
      IF(ITB.NE.3)GO TO 102
      IF(IT.NE.1)GO TO 103
      TETH=0.
      TETB=0.
      PIB=3.14159
      PIH=PIB
      IF(IPB.EQ.2)GO TO 104
      IF(HT.GT.-RB)GO TO 125
      IF(EB.LE.YB-HA)GO TO 100
```

```
      TETB=2.*ARCOS(ABS((HT+EB)/(HT-HN-YB)))
      FIB=0.
      FIH=6.28318-TETB
      IF(AHT.GE.EB)GO TO 100
      TETB=6.28318-TETB
      FIB=0.
      FIH=6.28318-TETB
      GO TO 100
  105 IF(HT.GE.HN*0.5)GO TO 106
      BETA=6.28318-2.*ARCOS(HT/(HN-HT))
      IF(HT.LT.0.)BETA=2.*ARCOS(HT/(HN-HT))
      TETB=BETA
      FIB=0.
      FIH=6.28318-BETA
      GO TO 100
  106 CONTINUE
      TETB=3.14159
      FIB=0.
      FIH=3.14159
      GO TO 100
  103 CONTINUE
C     ITB=0
      FIH=0.
      FIB=FIH
      TETB=3.14159
04.03.85        ВНИПИГАЗДОБЫЧА-ВНИИСТ,1985ГОД.      ЛИСТ    ЧЕ

      TETH=TETB
      IF(RH.LE.ABS(HT+EB))GO TO 106
      FIB=2.*ARCOS(ABS(HT+EB)/RH)
      TETB=3.14159-FIB
      TETH=3.14159
      IF(AHT.GE.EB)GO TO 102
      FIB=6.283185-FIB
      TETB=0.
      TETH=6.283185-FIB
      GO TO 100
  102 CONTINUE
C     ITB=3-ЗАБЕРНАЯ В НАСЫПИ
      TETB=3.14159
      TETH=TETB
      FIB=0.
      FIH=0.
      IF(RB.LT.HN-HT-YB)GO TO 101
      FIB=6.283185
      FIH=0.
      TETH=0.
      TETB=0.
      IF(HT.GE.HN*0.5)GO TO 100
      IF(HT.LT.0.)GO TO 107
      TETH=2.*ARCOS(HT/(HN-HT))
      FIB=6.28318-TETH
      FIH=0.
      TETB=0.
      GO TO 100
  107 CONTINUE
```

```
      TETH=2.*ARCOS(ABS(HT+EB)/RH)
      FIB=6.28318-TETH
      FIH=0.
      TETB=0.
      IF(AHT.LT.EB)GO TO 100
      TETH=6.28318-TETH
      FIB=TETH
      FIH=0.
      TETB=FIH
      GO TO 100
  101 IF(KD.NE.3)GO TO 100
C     НАЗЕМНАЯ ОТКРЫТАЯ
      TETB=0.
      FIH=0.
      FIB=2.*ARCOS(AHT/RR)
      TETH=6.28318-FIB
      IF(HT.LE.0.)GO TO 100
      TETH=FIB
      FIB=6.28318-FIB
      IF(JAKT.NE.0)GO TO 100
      FIB=TETH
      IF(HT.GT.0.)FIB=6.28318-FIB
      TETH=0.
      TETB=0.
      FIH=6.28318-FIB
  100 IF(KD.NE.5)GO TO 105
C     ПОДВОДНАЯ ПРОКЛАДКА
      TETB=0.
      FIB=3.14159
      IF(RB.EQ.RH.AND.RB.EQ.RR)GO TO 120
      TETB=3.14159
      FIB=0.
  110 TETH=TETB
      FIH=FIB
  120 CONTINUE
04.03.85        ВНИПИГАЗДОБЫЧА-ВНИИСТ.1985ГОД.     ЛИСТ  15

C     КОНЕЦ БЛОКА ВЫЧИСЛЕНИЯ FI.TETA
C     РАСЧЕТ ALFA.K.TS
      R1H=DH/HSH
      R1B=DH/HSB
      IF(KD.NE.3)GO TO 111
      R1H=DH/(ALOB*KAPA(N))
      R1B=DH/(ALOB*KAPA(N))
  111 CONTINUE
      ALF1H=2.*ALOG(DH+ALOG(2./R1H*(1.+SQRT(1.+R1H**1.))
      ALF1B=2.*ALOG(DH+ALOG(2./R1B*(1.+SQRT(1.+R1B**1.))
      R1=DH*0.5*ALOG(DH/DO)/LIZ
      AK1B=1./(R1+1./ALF1B)
      AK1H=1./(R1+1./ALF1H)
      ALFAB=ALF1B
      ALFAH=ALF1H
      IF(KD.NE.2)GO TO 2
      BET=6.283185
      IF(HT.LE.-2.5*DH)BET=0.
      R2=HT/(HN-HT)
```

```
      IF(HT.LT.-6.5.AND.HT.GE.-R.5*DH)BET=2.*ARCOS(R2)
      IF(HT.LE.HN+6.5.AND.HT.GE.R.)BET=6.283185-2.*ARCOS(R2)
      R3B=(1.-BF1/6.28318)*CH*AK1B
      R4=ALOG(D*/DO / 2.*LIZ)
      R5=ALOG(2.*(HN-HT)/DH)
      R6=1./(ALFAB*(1.+HN-HT))
      ALFAB=(R3B+BET / 6.283185*DH*(1./ALOB*R5+R6)))/(1.-R3B*R4)
      IF((ABS(YB).LT.0.001.AND.ABS(RB-RR).LT.0.001).OR.
     *(YB.GE.0..AND.RB.GE.(HN-HT-YB)))GO TO 126
      RHTY=HN-HT-YB
      IF(ABS(RB-RR).LT.0.001)GO TO 127
      IF(RB.LT.RHTY.AND.YB.GE.0.)ALFAB=2.*ALOB/(DH*ALOG(RB/RR))
      GO TO 126
  127 IF(YB.GT.0..AND.HT.GE.-RR)ALFAB=2.*ALOB/(DH*ALOG(RHTY/RR))
      IF(YB.GT.0..AND.HT.LT.-RR)ALFAB=
     *2.*ALOB/(DH*ALOG((RHTY-RR)/RR*(1.+SQRT(1.+DH/(RHTY-RR)))+1.))
  126 ALFAH=ALFAB
      IF(KD.NE.3)GO TO 4
C     НАЗЕМНАЯ СТКРЫТАЯ
      GAMA=2.*ARCOS(2.*ABS(HT)/DH)
      IF(HT.GT.0.)GAMA=6.28318-GAMA
      ALFAB=FI/6.283185*ALF2BN+(1.-FI/6.28318)*ALF1B
      ALFAH=ALFAB
    4 CONTINUE
      AKB=1./(R1+1./ALFAB)
      AKH=1./(R1+1./ALFAH)
C     РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНЫХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТЗ
C     НАЗЕМНАЯ ПРОКЛАДКА
      TS=TBN+6.72*RO(1.*(1.-AT)*ALF2BN
      TSA=TS
      IF(KD.EQ.1)GO TO 122
C     ПОДЗЕМНАЯ ПРОКЛАДКА
      AHY=ABS(HT+YB)
      TS=TF
      IF((RB.GT.RR.AND.RB.LT.AHY).OR.(RB.EQ.RR.AND.YB.NE.0.))
     *GO TO 123
      IF(HO/DH.LE.3.)TS=TBN
      IF(HO/DH.GT.3.)TS=TGR
  123 TSP=TS
      IF(KD.NE.2)GO TO 124
C     НАЗЕМНАЯ ПРОКЛАДКА В НАСЫПИ
      TS=TBN+(6.28318-BET)*ALF1B*(TSP-TBN)/
     *(BET*ALFAB+(6.28318-BET)*ALF1B)
      IF(YB.GE.0..AND.(RB.LT.(HN-HT-YB).AND.RB.GE.RR))TS=TF
  124 IF(KD.NE.3)GO TO 125
01.03.85      ВНИИПИГАЗДОБЫЧА-МИНИСТ.1985ГОД.     ЛИСТ  16

C     НАЗЕМНАЯ СТКРЫТАЯ
      TS=TBN+GAMA*ALF2BN*(TSA-TBN)/(ALF1B*(1.+GAMA*
     *(ALF2BN/ALF1B-1.)))
  125 IF(KD.NE.5)GO TO 122
C     ПОДЗЕМНАЯ ПРОКЛАДКА
      TS=TGR
  122 CONTINUE
      R1=DH*0.5/.12*ALOG(DH/DO)
      AKB=1./(R1+1./ALFAB)
```

```
      AKH=1./(R1+1./ALFAH)
      QAB=0.5*AKB*FIB*DH*(TS-TN)
      QAH=0.5*AKH*FIH*DH*(TGR-TN)
      QA=QAB+QAH
      QGRB=0.
      IF(RB.GT.DH*0.5)QGRB=-ALOB*TETB*TN/
     *(ALOG(RB*2./DH)+ALOB*R1*2.)
      QGRH=0.
      IF(RH.GT.DH*0.5)QGRH=-ALO*TETH*TN/
     *(ALOG(2.*RH/DH)+ALO*R1*2.)
      QGR=QGRB+QGRH
      QSUM=QA+QGR
   10 CONTINUE
C     ПЕЧАТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ СЧЕТА
      IF(N.EQ.1.AND.JT.EQ.1)WRITE(3,200)
  200 FORMAT(//35X,'Р  Е  З  У  Л  Ь  Т  А  Т  Ы      ',
     *'Р  А  С  Ч  Е  Т  А'/35X,53('-'))
      IF(N.EQ.1)WRITE(3,201)JT
  201 FORMAT(/1X,'ГОД-',I2/1X,64('-')/1X,119('-')/
     *3X,':',2(5X,':'),'ПОЛОЖЕНИЕ ФР.:',
     *'ПОЛОЖЕНИЕ ФРОНТОВ В ССН.Т/П:   ПОЛОЖЕНИЕ   ФРОНТОВ',
     *5X,':',
     *'ОСАДКИ:ПУЧЕН.:     ТЕПЛОПОТОКИ',
     */1X,' N:   ТР  :  Т  :ВНЕ ЗОНЫ Т/П : Н/ЛЕТ: СЕЗ. :',
     *' РАЗР.: С ПР.:  ОТ   ТРУБЫ: ОТ  ПОВ-ТИ :',2(6X,':')
     */3X,':',2(5X,':'),104('-')/
     *3X,':',2(5X,':'),'  ЕСВ  :  ЕРВ  : RQM  :  RQS : RQP  :',
     *'  RMS  :  RC  :  RP  :  YC  :  YP  :',
     *'  HPR  :  HPU  :  QA  : QGR  : QSUM :'/1X,119('-'))
      RQMNN=RQMN-RR
      RQSNN=RQSN-RR
      RQPNN=RQPN-RR
      RSMNN=RSMN-RR
      RQNNN=RQNN-RR
      RPNN=RPN-RR
      WRITE(3,202)N,TPN,TN,EQBN,EPBN,RQMNN,RQSNN,RQPNN,
     *RSMNN,RQNNN,RENN,YQN,YPN,HPR,HPU,QA,QGR,QSUM
  202 FORMAT(1X,I2,':',2(F5.1,':'),1P(E8.2,':'),2(E8.3,':'),
     *3(E9.2,':')/1X,119('-'))
   85 CONTINUE
      IF(JT.LT.JTT)GO TO 94
      GO TO 92
      END                                                    ЛИСТ   17
/*
//GO.SYSIN DD *,DLM=$$
$1,23.65       / JOB AAAAA


// EXEC PRINOS
*ВНИИ  ЗДОБЫЧА-ВНИИСТ,1965ГОД.
      FUNCTION BEA(XN,I)
      РАСЧЕТ А ОПРЕДЕЛ В (МЕТОДОМ ДЕЛЕНИ
C     ПАРАМЕТРЫ ПРОГРАММЫ
C     ПОДПРОГРАММА-АУТОЩИЙ РЕШЕНИЕ Т  НСШ   УР-ИЯ
C     I=1-FEYB-ОПРЕДЕЛ ОТ ГОВ-ТИ ВЕЗ : П
C
C     I=2-FRB-ОПРЕДЕЛ ЗНИЗ ОТ Т/П
C     I=3-FR1-ОПРЕДЕЛ ТОЛ.ОБРАЗ-Е ЗНИЗ ОТ ПОВ-ТИ ПРИ
C     НАЛИЧИИ Т/П; I=4-FR12-ОДНОСТОР.  РАЗ С ВВЕРХ ОТ Т/П
C     I=5-FRB1-ОБРАЗ. У ПОВ-ТИ ПРИ  ЛИЧИИ Т/П
C

II1
```

```
C     I=6-FRB2-СРЕСЛЫ ВВЕРХ ОТ Т/П
      COMMON/CLAD1/QF,AO,ALO,A1,AL1,TPN,TF,TN,TGR,
     *KAPAN,DH,DO,LIZ,HO,OMEG
     *,T1,HT
      COMMON /CLAD2/JTT,KO,L,LH,HN,DIZ,AT,ITT1,IZ,
     *LTB,LTH,LMB,LMH,ATB,ATH,AMB,AMH,QFB,QFH,
     *IBCP,EOB1,EPB1,EPH1,YO1,YP1,RO1,RP1,ROM1,ROS1,ROP1,ROPH1,
     *CPR,CPU
      COMMON/CLAD3/IPP,ITB,IPB,IT,JAKT
      REAL LTB,LTH,LMB,LMH
      COMMON /CLAD4/ JT
      REAL LIZ,KAPAN
      FRYB(X)=((QF+2.5*ALO/AO*ABS(TPN)+
     *ABS(ALO/AO*TF-AL1/A1*T1))*
     *(X+XN1+2.*ALO*KAPAN)*ABS(X-XN1)-
     *W1)/
     *(2.*ALO*ABS(TF-TPN))-730.
      W11(X)=ALO/AO*ABS(TPN)*(ALO*KAPAN)**2*ALOG(1.+
     *(X-XN1)/(XN1+ALO*KAPAN))
      FRB(X)=(QF+ABS(ALO/AO*TF-AL1/A1*T1))*
     *X*ABS(X-XN1)*(ALOG(2.*X/DH)+ALO/LIZ*
     *ALOG(DH/DO))/(ALO*ABS(TF-TN))+
     *ABS(X-XN1)*0.5/AO*(XN1-(X**2-DH**2*0.25*
     *(1.-2.*ALO/LIZ*ALOG(DH/DO)))/
     *(2.*X*(ALOG(2.*X/DH)+ALO/LIZ*ALOG(DH/DO))))-730.
      FR11(X)=AL1*ABS(TF-TN)/((ABS(HT)-X)*
     *(ALOG((ABS(HT)-X)/DH*2.)+AL1/LIZ*ALOG(DH/DO)))-
     *ALO*ABS(TF-TPN)/(X+ALO*OMEG)
      FR12(X)=ALO*ABS(TF-TN)/(X*(ALOG(1.+(X-RR)/RR)+
     *ALO/LIZ*ALOG(DH/DO)))-AL1*ABS(TF-TPN)/
     *(HO+RR-X+AL1*KAPAN)
      FRB1(X)=((QFB+ALO/AO*0.5*ABS(TPN)+ABS(ALO*TF/AO-
     *AL1/A1*T1))*(X+XN1+2.*ALO*KAPAN)*ABS(X-XN1)-
     *W1)/(2.*ALO*ABS(TF-TPN))-730.
      FRB2(X)=(QFB+ABS(ALO/AO*TF-AL1/A1*T1))*
     *X*ABS(X-XN1)*(ALOG(2.*X/DH)+ALO/LIZ*
     *ALOG(DH/DO))/(ALO*ABS(TF-TN))+
     *ABS(X-XN1)*0.5/AO*(XN1-(X*X-DH*DH*0.25*
     *(1.-2.*ALO/LIZ*ALOG(DH/DO)))/
     *(2.*X*(ALOG(2.*X/DH)+ALO/LIZ*ALOG(DH/DO))))-730.
C     ОТДЕЛЕНИЕ КОРНЕЙ
      OMEG=KAPAN
      RR=DH/2.
      X2=XN1+0.00,0
      IF(I.NE.[illegible]) GO TO 33
      FEYB
      AL1=[illegible]
      A1=AMB
      ALO=[illegible]
      AO=[illegible]
      IF([illegible]) GO TO [illegible]
      ALO=[illegible]
      AO=[illegible]
```

[illegible]

```
      A1=ATB
   32 CONTINUE
      T1=TF
      IF(IPP.EQ.1)T1=TGR
   33 IF(I.NE.2)GO TO 18
C     FRB
      ALO=LTH
      AO=ATH
      AL1=LMH
      A1=AMH
      IF(LM.EQ.-1)GO TO 19
      ALO=LMH
      AO=AMH
      AL1=LTH
      A1=ATH
   19 CONTINUE
      T1=TGR
      IF(IT.GT.1)T1=TF
   18 IF(I.NE.3)GO TO 28
C     FR11
      IF(ABS(TN-TF).GT.0.001)GO TO 21
      I=5
      GO TO 22
   21 CONTINUE
      ALO=LTB
      IF(TPN.LE.TF)ALO=LMB
      AL1=LTB
      IF(TN.LE.TF)AL1=LMB
   28 IF(I.NE.4)GO TO 22
C     FR12
      IF(ABS(TN-TF).GT.0.001)GO TO 23
      I=5
      GO TO 22
   23 CONTINUE
      ALO=LTB
      IF(TN.LE.TF)ALO=LMB
      AL1=LTB
      IF(TPN.LE.TF)AL1=LMB
   22 IF(I.NE.5)GO TO 29
C     FRB1
      ALO=LTB
      AO=ATB
      AL1=L  6
      A1=AMB
      IF(L.EQ.-1)GO TO 24
      ALO=LMB
      AO=AMB
      AL1=LTB
      A1=ATB
   24 T1=TN
      IF(ITB.EQ.2)T1=TF
   29 IF(I.NE.6)GO TO 26
C     FRB2
      ALO=LTB
      AO=ATB
      AL1=LMB
      A1=AMB
```

```
      IF(L.EQ.-1)GO TO 27
      ALO=ALB
      AO=ALB
      AL1=LTB
      A1=ATB
   27 CONTINUE
```

01.03.85 / JOB AAAAA ЛИСТ 20

```
   17 CONTINUE
      F3=FR12(Z)
   13 CONTINUE
      IF(I.NE.5)GO TO 30
      W1=0.
      IF(KAPAN.GT.0.001)W1=W11(Z)
      F3=FRB1(Z)
   30 IF(I.NE.6)GO TO 31
      F3=FRB2(Z)
   31 CONTINUE
      IF(F1*F3)4,4,5
    4 X2=Z
      F2=F3
      GO TO 2
    5 X1=Z
      F1=F3
      GO TO 2
    3 CONTINUE
C     КОНЕЦ РЕШЕНИЯ  УРАВНЕНИЯ (Z)
      BFX=Z
      RETURN
      END
```

01.03.85 JOB AAAAA ЛИСТ 19

```
      T1=TPN
      IF(IPB.NE.3)T1=TF
   26 CONTINUE
    1 X1=X2
      X2=X1+0.1
      IF(I.NE.1)GO TO 6
      W1=0.
      IF(KAPAN.GT.0.001)W1=W11(X1)
      F1=FEYB(X1)
      W1=0.
      IF(KAPAN.GT.0.001)W1=W11(X2)
      F2=FEYB(X2)
    6 IF(I.NE.2)GO TO 7
      F1=FRB(X1)
      F2=FRB(X2)
    7 IF(I.NE.3)GO TO 8
      IF(X1.LE.ABS(HT))GO TO 15
      X1=ABS(HT)
      Z=X1
      GO TO 3
   15 IF(X2.LE.ABS(HT))GO TO 16
      X2=ABS(HT)
      Z=X2
```

```
      GO TO 3
   16 CONTINUE
      F1=FR11(X1)
      F2=FR11(X2)
    8 IF(I.NE.4)GO TO 9
      F1=FR12(X1)
      F2=FR12(X2)
    9 CONTINUE
      IF(I.NE.5)GO TO 28
      W1=0.
      IF(KAPAN.GT.0.001)W1=W11(Y1)
      F1=FRB1(X1)
      W1=0.
      IF(KAPAN.GT.0.001)W1=W11(X2)
      F2=FRB1(X2)
   28 IF(I.NE.6)GO TO 29
      F1=FRB2(X1)
      F2=FRB2(X2)
   29 CONTINUE
      IF(SIGN(1.,F1).EQ.SIGN(1.,F2))GO TO 1
C     НАХОЖДЕНИЕ КОРНЯ ТРАНСЦЕНДЕНТНОГО УР-НИЯ
C     МЕТОДОМ ДЕЛЕНИЯ ОТРЕЗКА ПОПОЛАМ
    2 Z=(X1+X2)*0.5
      X3=ABS(X2-X1)
      IF(X3.LT.0.001)GO TO 3
      IF(I.NE.1)GO TO 18
      W1=0.
      IF(KAPAN.GT.0.001)W1=W11(Z)
      F3=FEYB(Z)
   18 IF(I.NE.2)GO TO 11
      F3=FRB(Z)
   11 IF(I.NE.3)GO TO 12
      IF(Z.LE.ABS(HT))GO TO 14
      Z=ABS(HT)
      GO TO 3
   14 CONTINUE
      F3=FR11(Z)
   12 IF(I.NE.4)GO TO 13
      IF(Z.LE.ABS(HT))GO TO 17
      Z=ABS(HT)
      GO TO 3
```



```
// EXEC FRINCO
*ВНИИПИГАЗДОБЫЧА-ВНИИСТ,1985ГОД.
      SUBROUTINE BBOD
C     ВВОД ИСХОДНЫХ ДАННЫХ К ПРОГРАММЕ BFRCNT
      COMMON/CLAD1/QF,AO,ALO,A1,AL1,TPN,TF,TN,TCR,
     *KAPAN,DH,DO,LIZ,HO,OMEG
     *,T1,HT
      COMMON /CLAD2/JTT,KD,L,LH,HN,OIZ,AT,ITT1,IZ,
     *LTB,LTH,LMB,LMH,ATB,ATH,AMB,AMH,QFB,QFH,
     *IBCP,EOB1,EPB1,EPH1,YO1,YP1,RO1,RP1,ROM1,ROS1,
     *ROP1,ROPH1
     *,CPR,CPU
      COMMON/CLAD3/T(12),TB(12),ALFAF(12),ALF2R(12),
```

```
     *KAPA(12),RD(12),LE(12)
     *,ALF2B(12),TH1(7,12)
      REAL LIZ,LTB,LTH,LMB,LMH,LE,KAPA,KAPAN
      DIMENSION ATL(18)
      READ(1,91)ATL
   91 FORMAT(18A4)
      WRITE(3,92)ATL
   92 FORMAT(/1X,'ОБ"ЕКТ:',18A4/)
      READ(1,1)JTT,KD,L,LH
    1 FORMAT(4I2)
      READ(1,2)DH,HT,HN,DIZ,TF,TGR,AT,LIZ,LTB,
     *LTH,LMB,LMH,ATB,ATH,AMB,AMH,CPR,CPU,QFB,QFH
    2 FORMAT(12F6.3/6F6.4/2F6.1)
      WRITE(3,3)
    3 FORMAT(//36X,'И  С  Х  О  Д  Н  Ы  Е    ',
     *'Д  А  Н  Н  Ы  Е')
      WRITE(3,4)
    4 FORMAT(/36X,42(1H-))
      WRITE(3,5)
    5 FORMAT(1X,116('-')/1X,':',5X,'JT',4X,':',
     *6X,'KD',7X,':',7X,'L',7X,':',7X,'LH',6X,':',
     *3X,'DH',3X,':',3X,'HT',3X,':',3X,'HN',
     *3X,':',2X,'DIZ',3X,':',3X,'TF',3X,':',
     *3X,'TGR',4X,':'/1X,116('-')
     */1X,':ЧИСЛО ЛЕТ  :2-НАЗ.В НАСЫПИ,:ГРУНТ НАД Т/П: :',
     *'ГРУНТ ПОД Т/П: :ВНУТР.  :ГЛУБИНА : ВЫСОТА :ТОЛЩИНА :',
     *'Т-РА НАЧ:',
     *'СР./ГОД.  :',
     */1X,':ЭКСПЛ-ЦИИ  :3-ОТКР.,4-ПОДЗ.:1-ТАЛЫЙ,-1-МЕРЗ:',
     *'1-ТАЛЫЙ,-1-МЕРЗ:ДИАМ.Т/П:ЗАЛОЖ-Я : НАСЫПИ :ИЗОЛЯЦИИ:',
     *'ЗАМЕРЗ-Я:','Т-РА  ГР. :'
     */1X,116('-')/1X,':',5X,'-',5X,':',3(
     *7X,'-',7X,':'),4(3X,'М',4X,':'),2X,'О С',3X,':',3X,'О С',4X,':
     */1X,116('-'))
      WRITE(3,8)JTT,KD,L,LH,DH,HT,HN,DIZ,TF,TGR
    8 FORMAT(1X,':     ',I2,5X,':',3(7X,I2,6X,':'),
     *5(1X,F7.3,':'),2X,F7.3,' :'/1X,116('-'))
      WRITE(3,21)
   21 FORMAT(//1X,116('*')/1X,':  AT   :  LIZ  :  LTB  :',
     *'  LTH  :  LMB  :  LMH  :  ATB  :  ATH  :',
     *'  AMB  :  AMH  :  CPR  :  CPU  :   QFB   :   QFH   :'/
     *1X,116('-')/1X,':АЛЬБЕДО:КОЭФ-Т :',2('КОЭФ-Т ТЕПЛОПР.:'),
     *2('КОЭФ-Т ТЕМП/ПР.:'),2('КОЭФ-Т :'),6X,'ТЕПЛОТА',6X,':'/
     *1X,':',7X,': Т/ПР. :',2(' ТАЛОГО ГРУНТА :МЕРЗЛОГО ГРУНТА:'),
     *'ПРОСАД.:ПУЧЕНИЯ:',
     *' ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ :'/1X,':  ТРУБ : ИЗОЛ. :',
     *4('НАД Т/П:ПОД Т/П:'),2(7X,':'),' НАД Т/П : ПОД Т/П :'/
     *1X,116('-')/1X,':',7X,':',10X,'ККАЛ/(МХЧАСХГРАД С)',10X,
     *':',12X,'М2/ЧАС',13X,':',2(7X,':'),6X,'ККАЛ/М3',6X,':'/
     *1X,116('-'))
      WRITE(3,22)AT,LIZ,LTB,LTH,LMB,LMH,ATB,ATH,AMB,AMH,
```



```
     *CPR,CPU,QFB,QFH
   22 FORMAT(1X,12(':',F7.4),':',2(F9.2,':')/1X,116('-'))
      READ(1,1)IBCP,IZ,ITT1
```

```
      WRITE(3,30)IBCP,IZ,ITT1
   30 FORMAT(//1X,116('*')/1X,'IBCP=',I2,'(1-ЗАДАНЫ ВСП.',
     *'ПАРАМЕТРЫ,2-ОТСУТСТВУЮТ)IZ=',I2,'(1-КРУГОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ',
     *'2-ПЛОСКАЯ):IT=',I2,'(ЧИСЛО ЛЕТ ИЗМ.ТЕМП.РЕЖИМА)',
     */1X,116('*'))
C     IBCP=1-ЗАДАНЫ ВСП. П-РЫ,IBCP-2-ОТСУТСТВУЮТ ВСП.ПАР-РЫ
      IF (IBCP.EQ.2) GO TO 11
      READ(1,10)EOB1,EPB1,YO1,YP1,RO1,RP1,ROM1,ROS1,ROP1
   10 FORMAT(12F6.3)
      WRITE(3,9)
    9 FORMAT(//1X,116('*')/1X,'I',29X,
     *'В С П О М О Г А Т Е Л Ь Н Ы Е   П А Р А М Е Т Р Ы',
     *'   Ф Р О Н Т О В ',19X,'I'/1X,116('-')/1X,'I',5X,
     *9X,'I',3X,'EOB1',3X,'I',3X,'EPB1',3X,'I',4X,'YO1',
     *3X,'I',4X,'YP1',3X,'I',4X,'RO1',3X,'I',4X,'RP1',3X,'I',
     *3X,'ROM1',3X,'I',3X,'ROS1',3X,'I',4X,'ROP1',4X,'I'/
     *1X,116('-'),'I'/1X,'I',14X,'I',6('  СЕЗОН.  :'),
     *'  НН/ЛЕТ. :','СЕЗОННЫЕ  : СЕЗОННЫЕ   :'/
     *1X,'I',14X,'I',3('  ОБРАЗЯ : РАЗРУШ-Я :'),
     *2(' ОБРАЗ-Я  :'),' РАЗРУШЯ   :'/
     *1X,'I',14X,': С ПОВ-ТИ:  СВЕРХУ  : С ПОВ-ТИ :',
     *'  СВЕРХУ  :',4(10X,':'),'ОТ  Т/П',5X,':'/
     *1X,'I',14X,'I',100('-')/
     *1X,'I',14X,':ВНЕ ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ Т/П :',
     *' ПРИ  НАЛИЧИИ  Т/П   :  ВВЕРХ   ОТ   Т/П   :',
     *11X,'ВНИЗ ОТ  Т/П',11X,'I'/1X,'I',14X,'I',100('-'),'I'/
     *1X,'I',14X,'I',8(4X,'M',5X,'I'),6X,'M',5X,'I'/
     *1X,116('-'))
      WRITE(3,20)EOB1,EPB1,YO1,YP1,RO1,RP1,ROM1,ROS1,ROP1
   20 FORMAT(1X,'I',14X,'I',8T2X,F6.2,2X,'I'),
     *3X,F6.2,3X,'I'/1X,116('-'I)
   11 WRITE(3,23)
   23 FORMAT(//1X,118('*')/30X,'П О М Е С Я Ч Н О Е',8X,
     *'З А Д А Н И Е',8X,'П А Р А М Е Т Р О В',
     */1X,118('-')/47X,'I  1  I  2  I  3  I',
     *'  4  I  5  I  6  I  7  I  8  I  9  I  10 I',
     *'  11  I  12 I'/1X,118('-'I)
      READ(1,24)((TH1(I,J),J=1,12),I=1,ITT1)
      READ(1,24)TB,ALFAF,ALF2R,KAPA,RD,LE,ALF2B
   24 FORMAT(12F6.3)
      WRITE(3,26)((TH1(I,J),J=1,12),I=1,ITT1)
   26 FORMAT(1X,'I  T   :Т-РА  Т/П  ПО  ГОДАМ:',3X,'I О Ц',8X,'I',
     *12(F5.1,1X),'I',(/1X,'I',6X,'I',24X,'I',12X,'I',
     *12(F5.1,1X)))
      WRITE(3,25)TB,ALFAF,ALF2R,KAPA,RD,LE,ALF2B
   25 FORMAT(/1X,'I  TB  :Т-РА  ВОЗДУХА',12X,
     *'I С С',8X,'I',12(F5.1,1X),'I'/1X,'I ALFAF:КОЭФ. Т/О ',
     *'ПОДСТ.ПОВ-ТИ    '
     *'I:ККАЛ/М2*Ч*ОС:',12(F5.1,1X),'I'/1X,'I ALF2R:',
     *'КОЭФ.ВНЕШ.Т/О НАЗЕМ.Т/П  :',12X,'I',12(F5.1,1X),'I',
     */1X,'I KAPA :Т/СОПР.Т/О ГР.-АТМОСФЕРА :М2ХЧХОС/ККАЛ:',
     *12(F5.2,1X),'I'/1X,'I   R  :РАД. БАЛАНС ПОДСТ. ПОВ-ТИ:',
     *'ККАЛ/СМ2*МЕС:',12(F5.1,1X),'I'/1X,'I  LE  :ЗАТР.ТЕПЛА ',
     *'НА ИСПАР.С П/П:ККАЛ/М2      :',12(F5.1,1X),'I'/
     *1X,'I ALF2B:КОЭФ-Т ВНЕШ. Т/О НАДЗ.Т/П.ККАЛ/М2=Ч*ОС:',
     *12(F5.1,1X),'I'/
     *1X,118('-'))
      RETURN
      END
/*
// EXEC LNKEDT
```

ЛИТЕРАТУРА

I. СНиП 2.05.06-85 "Магистральные трубопроводы. Нормы проектирования". - М: Стройиздат, 1975.

2. Временные указания по проектированию, строительству и эксплуатации объектов газовой и нефтяной промышленности в условиях вечной мерзлоты. Магистральные трубопроводы (Р 215-76). - М: ВНИИСТ, 1976.

3. СНиП П-18-76 "Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах". - М: Стройиздат, 1976.

4. СНиП П-6-74 "Нагрузки и воздействия". - М: Стройиздат, 1974.

5. СНиП 2.02.01-83 "Основания зданий и сооружений". - М: Стройиздат, 1974.

6. Руководство по прогнозированию теплового взаимодействия газопроводов с окружающей средой на ЭВМ (Р 409-80). - М: ВНИИСТ, 1981.

7. Руководство по прогнозированию теплового взаимодействия трубопроводов с окружающей средой (Р 486-83). - М: ВНИИСТ, 1984.

8. ГОСТ 19.003-80. Единая система проектной документации. Схемы алгоритмов и программ. Обозначения условные графические.

9. СНиП П-17-77 "Свайные фундаменты". - М: Стройиздат, 1978.

10. Рекомендации по определению морозной пучинистости грунтов оснований зданий и сооружений. Свердловск: Уральский политехнический институт им.С.М.Кирова, кафедра оснований и фундаментов, 1979, 28 с.

11. Справочник по строительству на вечномерзлых грунтах. - Л: Стройиздат, 1977.

СОДЕРЖАНИЕ

I. Общие положения 3
2. Методика прогнозирования динамики теплового взаимодействия трубопровода с промерзающими и протаивающими грунтами 2I
3. Расчет механического взаимодействия трубопроводов с пучинистыми грунтами 36
4. Расчет механического взаимодействия трубопроводов с оттаивающими мерзлыми грунтами 48
5. Реализация методики на ЭВМ 55
6. Контрольный пример 69
Приложения 73
Литература III

Рекомендации
по прогнозированию динамики теплового
и механического взаимодействия трубопроводов
с промерзающими и протаивающими грунтами

Р 509-86

Издание ВНИИСТа

Редактор Ф.Д.Остаева
Корректор С.П.Михайлова
Технический редактор Т.Л.Датнова

Подписано в печать II/IУ 1987 г.Формат 60×84/I[illegible]
Печ.л. 7,75 Уч.-изд.л. 7,0 Бум.л. 3.875
Тираж 500 экз. Цена 70 коп. Заказ 36

Ротапринт ВНИИСТа

gost.e-ecolog.ru