МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ
НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Всесоюзный научно-исследовательский институт
по строительству магистральных трубопроводов

ВНИИСТ

РУКОВОДСТВО

ПО ТЕХНОЛОГИИ УКЛАДКИ И ЗАГЛУБЛЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ЧЕРЕЗ ВОДОХРАНИЛИЩА И КРУПНЫЕ РЕКИ

Р 537-84

Москва 1984

gost.e-ecolog.ru

УДК 621.643.073(204.1)

В Руководстве рассмотрены технологии укладки и заглубления подводных трубопроводов на переходах через реки и водохранилища, приведены усовершенствованные технологические схемы укладки способами протаскивания и свободного погружения, технические решения и расчеты трубопроводов при укладке с трубоукладочной баржи, при транспортировке на плаву и укладке длинномерных плетей, заготовляемых на централизованной базе.

Руководство разработано на основе исследований, выполненных ВНИИСТом и институтом гидромеханики АН УССР, изучении отечественной и зарубежной технологии строительства подводных трубопроводов на переходах через водные преграды. В Руководстве учтены: опыт сооружения подводного перехода через Куйбышевское водохранилище с применением трубоукладочной баржи, опыт проектирования переходов через реки Волгу, Обь, Каму и опыт работы ВСМО. Союзподводтрубопроводстроя

Руководство предназначено для проектных и строительных организаций, занятых сооружением подводных переходов трубопроводов через реки и водохранилища шириной более 70 м.

Руководство разработали: кандидаты техн.наук М.А.Камышев, А.Г.Ратнер, К.Я.Капустин, инженер А.А.Горелышев (ВНИИСТ) при участии сотрудников Института гидромеханики АН УССР: канд.техн.наук А.И.Ермоленко, инженеров Л.В.Мельника (приложения 4, 11, 12, 13), Н.В.Шайбо (приложение 6) и Г.А.Шацкой (ВНИИСТ).

Замечания и предложения направлять по адресу: 105058, Москва, Окружной проезд, 19.

© Всесоюзный научно-исследовательский институт по строительству магистральных трубопроводов (ВНИИСТ), 1984

Всесоюзный научно-исследовательский институт по строительству магистральных трубопроводов (ВНИИСТ)	Руководство по технологии укладки и заглубления трубопроводов через водохранилища и крупные реки	Р 537-84 Впервые

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Настоящее Руководство разработано в развитие "Инструкции по строительству подводных переходов магистральных трубопроводов" ВСН 2-II8-80 Миннефтегазстроя . Руководство распространяется на строительство переходов магистральных газопроводов и нефтепродуктопроводов через водохранилища и крупные реки с шириной по зеркалу воды (при меженных уровнях) более 750 м.

I.2. В зависимости от геологических, гидрологических и климатических условий в районе перехода, конструкции подводного трубопровода, используемых технических средств применяют различные технологические схемы укладки и заглубления подводных трубопроводов:

с предварительной разработкой подводной траншеи на всю ширину водной преграды и последующей укладкой трубопровода;

с предварительной разработкой участков подводной траншеи, последующей (по участкам) укладкой плетей трубопровода и стыковкой уложенных плетей в единую нитку;

с разработкой подводной траншеи и непрерывной одновременной укладкой в нее подводного трубопровода;

с укладкой трубопровода на дно водоема или в частично подготовленную траншею с последующим его дозаглублением до проектных отметок.

Третью и четвертую технологические схемы наиболее целесообразно применять при наличии специальных технических средств: трубоукладочных барж (третья схема) и трубозаглубительных установок (четвертая схема).

I.3. Сроки, технологическая последовательность и производительность технических средств для разработки подводных траншей и укладки трубопроводов должны быть взаимно увязаны,

Внесено отделом подводно-технических сооружений ВНИИСТа	Утверждено ВНИИСТом 27 октября 1983 г.	Срок введения I сентября 1984 г.

чтобы избежать производства указанных работ в неблагоприятных гидрологических условиях, а также простоев техники из-за отсутствия фронта работ.

1.4. Для сокращения объемов и повышения качества подводных земляных работ рекомендуется применять технологию ступенчатой разработки траншей земснарядами, характеризующуюся:

ступенчатым уменьшением ширины траншеи по дну от середины водной преграды к берегам;

поэтапной разработкой траншеи, исходя из условия минимальной ее заносимости, первоначально на прибрежных и островных, затем на более глубоководных участках русла;

ступенчатым изменением отметок продольного профиля дна разрабатываемой траншеи.

2. ТЕХНОЛОГИЯ ПОДВОДНЫХ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

Разработка траншей земснарядами

2.1. Технология разработки подводных траншей на переходах через большие водные преграды зависит от геологических, гидрологических и климатических условий; объемов и сроков производства подводных земляных работ, проектных параметров траншеи. Рекомендуется совмещать работу нескольких земснарядов, различающихся по своим технологическим характеристикам: производительности, категории разрабатываемых грунтов, глубине грунтозабора, способу транспортирования грунта в отвал [1].

2.2. Разработке подводной траншеи предшествуют следующие подготовительные работы:

составление проекта производства работ;

разбивка в натуре границ разработки траншеи (по дну), установка створных знаков;

установка вех и светящихся буев для обозначения мест подводных свалок;

устройство навигационного ограждения судового хода для движения грунтоотвозных шаланд и вспомогательных судов к местам подводных свалок (при работе землечерпательных снарядов);

установка реечных водомерных постов с привязкой нулей отсчета к постоянным реперам;

водолазное обследование дна в полосе раскрытия траншеи, удаление топляков и затонувших предметов, препятствующих производству работ;

доставка на объект горюче-смазочных материалов.

2.3. В проекте производства подводных земляных работ определяют возможные сроки разработки траншеи с учетом гидрологической обстановки и календарного графика строительства, оценивают производительность земснарядов, уточняют границы и последовательность их перемещений, рабочие параметры траншеи, способы оперативного контроля за технологическим процессом разработки траншеи.

2.4. Продолжительность периода возможного использования земснарядов определяется средними сроками прохождения весеннего ледохода и начала осенних ледовых образований, сведения о которых обычно содержатся в проекте перехода или могут быть получены в ближайшем районном управлении гидрометслужбы. До спада половодья рекомендуется выполнять засыпку урезных траншей, намыв площадок, разработку траншей в тяжелых грунтах.

2.5. В условиях короткой летне-осенней межени, характерной для рек Западной Сибири, следует прогнозировать возможные сроки начала и окончания разработки траншей земснарядами в зависимости от водности года.

Для прогнозирования используются графики хода уровней за характерные годы (маловодный, средний, многоводный), которые сравнивают с текущим графиком хода уровней. Графики строят по данным ближайшего к месту перехода водопоста с учетом срезки (разницы) уровней на указанном водопосту и в створе перехода. По величине подъема уровня на пике паводка текущего года можно судить о возможных сроках спада половодья, соответственно планируя основные сроки разработки траншей. В период половодья допускается разработка траншей преимущественно на участках русла со слабой заносимостью.

2.6. Выбор типа снаряда зависит от характера грунтов, глубин разработки, объемов и сроков выполнения работ, гидрометеорологических условий.

В табл.1 приводятся рекомендуемые типы земснарядов в зависимости от характера разрабатываемых грунтов.

2.7. Разработку подводных траншей рекомендуется выполнять

Таблица I

Характеристика грунтов по трудности разработки	Коэффициент прочности по Протодьяконову	Группа грунта для земснарядов	Тип применяемого земснаряда				
			Землесосный		Многочерпаковый		Одночерпаковый штанговый
			с гидравлическим рыхлителем	с фрезерным рыхлителем	с легкой цепью	с тяжелой цепью	
Легкие	0,05–0,6	I–III	+	+	x	x	x
	0,6–I,5	III–VI	+	+	+	+	+
Средние	I,5–2,0		–	+	+	+	+
	2,0–3,0		–	–	–	+	+
Тяжелые	3,0–5,0		–	–	–	–	+

Примечание. + рекомендуется разрабатывать; – не рекомендуется разрабатывать; x – не рационально разрабатывать.

земкараваном, состоящим из: землесосного снаряда производительностью 700–I000 м^3 грунта в час, из одночерпакового или многочерпакового снаряда производительностью I50–300 м^3 грунта в час и вспомогательных судов. Объемы работ планируют земснарядам пропорционально их технической производительности, к которой вводится поправочный коэффициент на группу грунта $K_{тр}$, определяемый по табл.2.

Таблица 2

Группа грунта	Коэффициент $K_{тр}$ для земснарядов различных типов		
	землесосного	многочерпакового шаландового	одночерпакового
I–II	0,85	I,0	I,0
III–IУ	0,7	0,85	0,9
У–УШ	0,45	0,6	0,85

2.8. Границы участков и последовательность разработки траншеи земснарядами устанавливают, исходя из следующих предпосылок: земснаряды должны быть удалены друг от друга на расстояние, исключающее взаимные помехи при работе и перекладке

якорей; заносимость траншеи должна быть минимальной; объемы работ рекомендуется распределять с учетом примерно одинаковой продолжительности работы земснарядов; разработка траншей не должна препятствовать судоходству.

2.9. С целью уменьшения объема заносимости траншей, разрабатываемых в песчаных грунтах при скоростях течения больше неразмывающих, рекомендуется следующая очередность работ: в первую очередь разрабатывают траншею на приурезных и примыкающих к ним участках русла с глубинами менее I/3 максимальной глубины в створе, затем разрабатывают оставшийся участок траншеи (рис.I).

2.I0. Земснаряды с меньшей глубиной грунтозабора устанавливают на прибрежных, приурезных и островных участках траншеи. Для определения границ работы земснарядов с различной глубиной грунтозабора на продольном профиле дна траншеи выделяют (см.рис.I):

участки, которые можно разрабатывать до проектных отметок земснарядом с меньшей глубиной грунтозабора;

участки, которые можно разрабатывать теми же земснарядами до промежуточной отметки;

участки, которые можно разрабатывать только земснарядами с большей глубиной грунтозабора.

Границы участков уточняют, исходя из объемов работ, планируемых для земснарядов. Для этого определяют объемы и продолжительность работ на каждом из выделенных участков. Сбалансированность работ по срокам достигается за счет соответствующего распределения объемов на участках, которые частично или полностью можно разрабатывать земснарядами с различной глубиной грунтозабора.

При определении границ работы земснарядов необходимо по возможности стремиться к тому, чтобы изменение параметров траншеи (глубины и ширины) в пределах каждого участка было минимальным.

2.II. Разработку траншеи выполняют в соответствии с рабочим профилем, составленным на основе проектного профиля. Изменение отметок траншеи на рабочем профиле задают ступенчато по участкам (см.рис.I). В пределах каждого участка глубину разработки принимают одинаковой, но не менее проектной глубины.

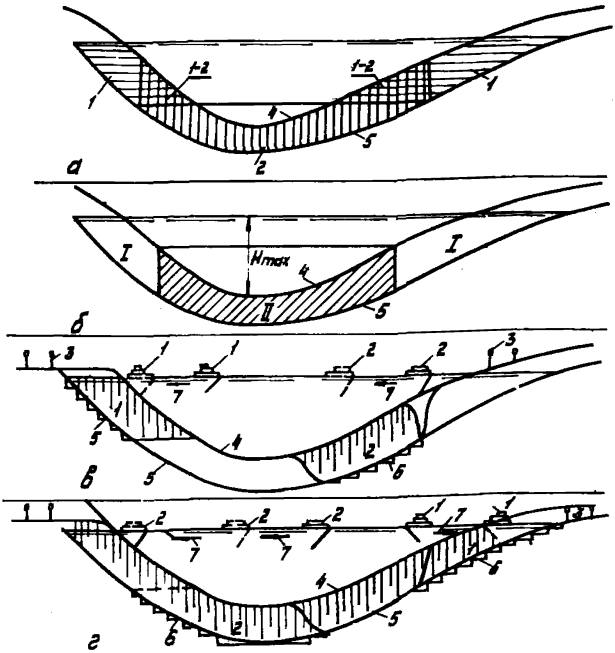


Рис.I. Схема поэтапной ступенчатой разработки подводной траншеи земснарядами с различной глубиной грунтозабора:

а-схема разбивки границ работы земснарядов; б-рекомендуемая очередность разработки траншеи с учетом ее заносимости; в-г-последовательные этапы разработки траншеи двумя снарядами;
I-первая очередь работ ($H \leq \frac{2}{3} H_{max}$); II-вторая очередь ($H \leq \frac{3}{4} H_{max}$);
1-зона работы земснаряда с меньшей глубиной грунтозабора; 2-зона работы земснаряда с большей глубиной грунтозабора; 3-осевые створы; 4-дно водоема; 5-дно траншеи по проекту; 6-рабочий профиль траншеи; 7-направление разработки траншеи

Участки разбивают по возможности с одинаковым шагом и перепадом отметок не более 0,5 м.

2.12. В границах работы каждого земснаряда в плане делают разбивку на карты соответственно изменению ширины траншеи по дну. При разработке траншеи на проектную глубину за одну проходку земснаряда ширину карт принимают равной проектной ширине траншеи по дну или несколько больше ее с учетом последующего обрушения откосов. В последнем случае ширину траншеи по дну увеличивают на $\Delta b = |m - m_0| \frac{h_T}{2}$,

где m – коэффициент заложения откоса по проекту;

m_0 – коэффициент заложения откоса, устанавливающийся в процессе разработки траншеи и зависящий от скорости ее разработки [2];

h_T – проектная глубина траншеи.

2.13. При послойной разработке траншеи ширину карт для каждой проходки принимают равной ширине проектной траншеи на промежуточной отметке.

2.14. Технология разработки траншеи должна соответствовать типу грунторазрабатывающего механизма, условиям производства работ (характеристикам грунтов, параметрам траншеи, скорости течения), возможностям оперативного контроля рабочих перемещений механизма и параметров траншеи в процессе ее разработки.

При разработке траншеи применяют один из следующих способов перемещения земснаряда:

траншейный способ – земснаряд перемещают вперед по створу с помощью становых тросов и удерживают от поперечного смещения папильонажными тросами;

параллельный папильонаж – земснаряд перемещают с помощью папильонажных тросов параллельно створу в границах поперечного профиля траншеи с постепенной подачей вперед по мере ее разработки;

веерный папильонаж – земснаряд перемещают в границах поперечного профиля траншеи с помощью передних папильонажных тросов при закрепленном положении кормы в створе.

2.15. Траншейный способ применяют на несвязных, легко осыпающихся песчаных грунтах, при ширине траншеи по дну не более 5 м и глубинах воды, достаточных для перемещения земснаряда и обслуживающих его судов. Ориентация снаряда осуществ-

вляется по осевым створам. В процессе перемещения земснаряда контролируют положение фиксированной точки судна (точки наблюдателя) в створе и азимут в направлении продольной оси судна, который должен совпадать с азимутом по линии створа.

2.16. Папильонажные способы применяют для разработки траншеи в песчаных грунтах, если ширина траншеи по дну превышает 5 м, а также в связных и малоосыпающихся грунтах. Применение параллельного папильонажа возможно, если глубины на бровках траншеи (при минимальном строительном уровне) превышают осадку земснаряда.

Для работы способом параллельного папильонажа выставляют осевой и два боковых створа, ограничивающих крайние положения перемещений земснаряда в пределах ширины разрабатываемой карты грунта. В процессе перемещений земснаряда контролируют азимут по направлению продольной оси судна, который должен совпадать с азимутом по линии створа, и крайние положения земснаряда.

2.17. Для работы способом веерного папильонажа выставляют осевой створ. В процессе перемещений земснаряда контролируют положение в створе фиксированной точки (на корме судна) и угол между продольной осью судна и створом, максимальное значение которого не должно превышать расчетного значения, определяемого из выражения

$$\sin\alpha = \frac{180}{\pi}\alpha = \frac{b_0}{2\ell\sqrt{1-\left(\frac{H}{\ell}\right)^2}}, \qquad (1)$$

где b_0 – ширина разрабатываемой карты грунта (равная ширине траншеи на рабочей отметке);

ℓ – длина грунторазрабатывающей рамы ниже уровня воды;

H – глубина грунтозабора.

2.18. Для повышения точности установки земснаряда по осевому створу рекомендуется перекладывать становые якоря при хорошей видимости створных знаков.

2.19. При определении глубины грунтозабора в месте забоя необходимо знать точное местоположение (пикетаж) грунторазрабатывающего органа, которое не совпадает с местоположением фиксированной точки земснаряда, относительно которой производят измерения и привязку расстояний к проектному профилю. Откло-

нения фактических координат грунтозаборного устройства относительно точки измерения на палубе земснаряда могут быть учтены введением поправок Δx, Δy, определяемых из выражений:

$$\frac{\Delta x}{\mathcal{L}_0} = \left[\frac{\ell_0}{\mathcal{L}_0} - \sqrt{1 - \left(\frac{Z + h_0}{\mathcal{L}_0}\right)^2}\right] \cos\alpha; \qquad (2)$$

$$\frac{\Delta y}{\mathcal{L}_0} = \frac{\Delta x}{\mathcal{L}_0} \operatorname{tg}\alpha, \qquad (3)$$

где ℓ_0 – расстояние (по горизонтали) от точки наблюдателя до шарнирной опоры рамы;

Z – измеренная глубина погружения грунторазрабатывающего устройства от уровня воды;

h_0 – разность отметок оси шарнирной опоры рамы земснаряда и воды;

α – угол разворота оси земснаряда относительно проектного створа;

$\mathcal{L}_0$ – длина рамы земснаряда от шарнирной опоры до крайней точки грунтозаборного устройства.

Координату x точки наблюдения определяют с помощью дальномера и указателя троса становой лебедки, глубину Z измеряют с помощью индикатора глубины или эхолота.

На некоторых земснарядах имеется система контроля заданного угла напильонирования α.

2.20. В целях поддержания требуемых глубин подводной траншеи при укладке трубопровода рекомендуется одновременно с его протаскиванием осуществлять подчистку траншеи впереди идущим земснарядом.

В приложении I приведен пример технологической последовательности разработки траншеи при переходе через реку Обь.

Заглубление трубопроводов, уложенных на дно

2.21. Заглубление трубопровода после его укладки на дно допускается на участках рек и водоемов, сложенных легкими грунтами, разработка которых не требует предварительного рыхления механическим или взрывным способом. Укладке трубопровода предшествует планировка дна, обеспечивающая допустимые радиусы изгиба.

2.22. Для заглубления трубопроводов используют специаль-

ные трубозаглубительные снаряды, землесосные снаряды с гидрорыхлителями, грунтососы и гидромониторы.

2.23. Перед заглублением уложенного трубопровода выполняют его промеры эхолотом с обязательной фиксацией осевого створа перехода и двух контрольных боковых створов. Результаты промеров оформляют в виде совмещенного продольного профиля дна водоема и уложенного трубопровода, а также плана в полосе промеров с обозначением местоположения оси трубопровода.

2.24. На основе указанных материалов составляют проект заглубления трубопровода, в котором определяют: границы заглубления, допустимую величину уступа (высоту заглубления), количество проходок, способы контроля отметок дна траншеи и трубопровода, мероприятия; предупреждающие повреждения трубопроводе в процессе его заглубления.

2.25. Трубопровод заглубляют за минимальное число проходок. Допустимую высоту уступа и длину пролета определяют расчетом в зависимости от характеристик трубопровода и рельефа дна (приложение 2). На начальном участке заглубления трубопровод должен иметь необходимый запас длины на изгиб по S -образной кривой. Если профиль дна не позволяет создать такой запас, то заглубление необходимо начинать вблизи берега, чтобы конец трубопровода мог свободно перемещаться под действием продольных усилий, возникающих при изгибе трубопровода по S - образной кривой.

2.26. Урезные и прибрежные участки подводной траншеи разрабатывают заблаговременно до укладки трубопровода. Сопряжение дна траншеи и водоема на этих участках выполняют по вогнуто-выпуклой кривой с допустимыми радиусами кривизны.

2.27. Если трубопровод не может быть заглублен за одну проходку по условиям расчета напряженно-деформированного состояния, то в случае интенсивного занесения траншеи рекомендуется выполнять последнюю проходку с максимально допустимым заглублением.

2.28. Земснаряды, используемые для заглубления трубопровода, перемещаются траншейным способом. Становые якоря укладывают на расстоянии не менее 5 м от трубопровода ниже по течению. Земснаряд разворачивают под небольшим углом к створу. Оперативный контроль за разработкой траншеи осуществляют пу-

тем эхолотирования с кормы земснаряда. Положение грунторазрабатывающего органа относительно трубопровода периодически проверяют с помощью водолазов. Перед подъемом грунтозаборной рамы земснаряд несколько смещают вниз по течению и разворачивают корпус на некоторый угол. При последующем спуске рамы необходимо контролировать положение грунтозаборного устройства в траншее относительно трубопровода.

3. УКЛАДКА ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ СПОСОБАМИ ПРОТАСКИВАНИЯ И СВОБОДНОГО ПОГРУЖЕНИЯ

Укладка трубопровода способом протаскивания

3.1. Выбор технологической схемы при укладке способом протаскивания зависит от ширины водной преграды, массы и отрицательной плавучести трубопровода, используемых тяговых средств, сезона.

Основным тяговым средством для протаскивания трубопроводов является лебедка ЛШ-151. В качестве дополнительных тяговых средств при необходимости создать усилие более 300 тс применяют лебедки ЛШ-1, ЛШ-1А.

3.2. При тяговом усилии более 150 тс протаскивание трубопровода с помощью лебедки ЛШ-151 осуществляют плетями длиной не более 230 м (при использовании блока на оголовке трубопровода). После протаскивания очередной плети трос отсоединяют от мертвяковой опоры и закрепляют на вспомогательном тяговом средстве (лебедка, трактор). Сматывают трос с барабана основной лебедки и одновременно вытаскивают звено анкерного троса на берег. При этом тяговая ветвь троса перепускается через блок на длину, равную удвоенной длине протаскиваемой плети.

3.3. Для уменьшения длины троса и соответственно тягового усилия лебедку ЛШ-151 устанавливают на барже. Трубопровод протаскивают с перестановкой баржи в процессе пристыковки очередной плети (рис.2). Количество перестановок зависит от длины плетей и способа запасовки тягового троса (без блока, с блоком). Расстояние от оголовка трубопровода до баржи при протаскивании должно быть не менее 50 м.

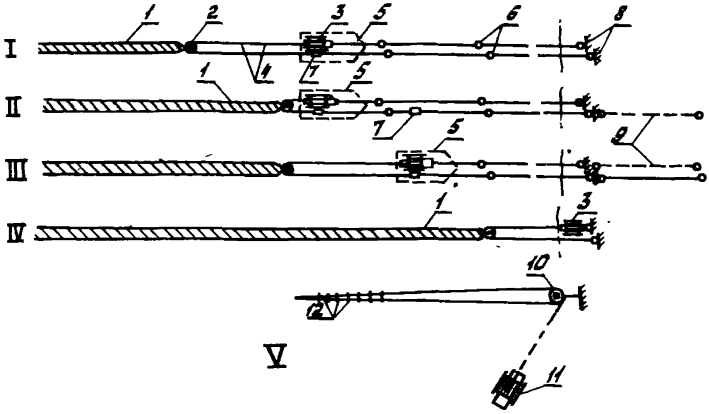


Рис.2. Схема протаскивания трубопровода лебедкой ЛП-151, установленной на барже:

I-IУ-последовательные этапы протаскивания трубопровода и перестановки баржи; У-сматывание анкерного троса на берегу; 1-трубопровод; 2-блок на 300 тс; 3-лебедка ЛП-151; 4-тяговый трос лебедки; 5-баржа; 6-соединительные звенья тросов на анкерной линии; 7-соединительное звено тягового и анкерного тросов; 8-мертвяковые опоры на берегу; 9-звено анкерной линии; 10-блок на 150 тс; 11-лебедка для сматывания троса; 12-зажимы троса

Перед протаскиванием баржу устанавливают строго по створу и раскрепляют якорями. При необходимости палубу баржи укрепляют настилом. Лебедку закрепляют на палубе от продольного и поперечного смещения упорными брусьями.

При протаскивании трубопровода без блока анкерный трос от береговой опоры закрепляют непосредственно на лебедке.

При протаскивании трубопровода с использованием блока одну ветвь анкерного троса закрепляют на лебедке, а другую пропускают по палубе баржи через блок на оголовке трубопровода и соединяют с тяговым тросом лебедки. В процессе перестановки баржи анкерную линию подтягивают вспомогательной лебедкой, установленной либо на берегу, либо на барже. В последнем случае требуется меньшее усилие для вытягивания анкерной линии. Перед перестановкой баржи ослабляют тяговый трос, отсоединяют анкер-

ный трос от тяговой лебедки, закрепляют его на вспомогательной лебедке, поднимают якоря. Баржа перемещается при одновременном сматывании тягового троса с барабана основной лебедки и наматывании анкерного троса на барабан вспомогательной лебедки. Буксирные суда удерживают баржу в створе.

3.4. Для уменьшения тягового усилия и увеличения поперечной устойчивости трубопровода при протаскивании рекомендуется использовать понтоны повышенной грузоподъемности, группируемые по нескольку понтонов вместе (рис.3).



Рис.3. Схема групповой установки понтонов:
I–трубопровод; 2 – понтоны; 3 – бровка траншеи

Длину участка трубопровода, приподнимаемого над дном $\mathscr{L}$, и высоту подъема в середине пролета z определяют по формулам:

$$\mathscr{L} = \frac{3}{2}\,\frac{P_п\ n}{p}\ ; \qquad (4)$$

$$z = \frac{p\ell^4}{72EJ}\ ; \qquad \ell = \frac{\mathscr{L}}{2}\ , \qquad (5)$$

где $P_п$ – выталкивающая сила понтона, кгс;

n – число понтонов в группе;

p – отрицательная плавучесть трубопровода без понтонов, кгс/см;

ℓ – половина длины пролета $\mathscr{L}$, см;

E – модуль упругости стали, кгс/см^2;

J – момент инерции сечения трубы, см^4.

Максимальные напряжения в месте подвески понтонов определяют из выражения

$$\sigma = \sqrt{\frac{E p D_н z}{W}} = 257\sqrt{\frac{p}{g_{тр}}\,z}\ , \qquad (6)$$

где $D_н$ – наружный диаметр трубы, см;

W – момент сопротивления поперечного сечения трубы, $см^3$;

$q_{тр}$ – вес трубы в воздухе без изоляции и футеровки, кгс/см.

Расстояние $\ell_п$ между группами понтонов:

$$\ell_п = \frac{n \cdot P_п}{P - P_{расч}}, \qquad (7)$$

где $P_{расч}$ – расчетная отрицательная плавучесть трубопровода с учетом понтонов, кгс/см.

Коэффициент уменьшения поверхности соприкосновения трубопровода с грунтом и сил сцепления, преодолеваемых в момент трогания трубопровода с места

$$K = \frac{\ell_п}{\ell_п - Z}. \qquad (8)$$

В приложении 3 дан пример расчета групповой расстановки понтонов при протаскивании плети.

3.5. После протаскивания трубопровода понтоны отстреливают в строго определенной последовательности во избежание провисов на вогнутых участках рельефа. В первую очередь снимают понтоны на вогнутом участке, наиболее удаленном от одного из берегов.

Укладка трубопроводов способом протаскивания с регулированием плавучести

3.6. Указанный способ применяют при укладке нефтепроводов диаметром более 1020 мм, протаскивание которых требует приложения тяговых усилий, превышающих номинальное усилие используемых тяговых средств, а также для укладки газопроводов с понтонами.

3.7. Укладку трубопровода осуществляют поэтапно способом протаскивания и способом свободного погружения с учетом продольного профиля дна и в зависимости от глубин на соответствующем участке перехода. На глубоководном участке трубопровод укладывают протаскиванием, на участке с меньшими глубинами – способом свободного погружения.

3.8. Технологическая последовательность укладки зависит от местоположения монтажной площадки и профиля дна траншеи, в соответствии с которыми применяют различные схемы:

первая схема – когда монтажная площадка размещена со стороны мелководного участка водоема;

вторая схема – когда монтажная площадка размещена со стороны глубоководного участка водоема;

третья схема – когда глубоководный участок в середине водоема разделен мелководными участками, примыкающими у обоих берегов;

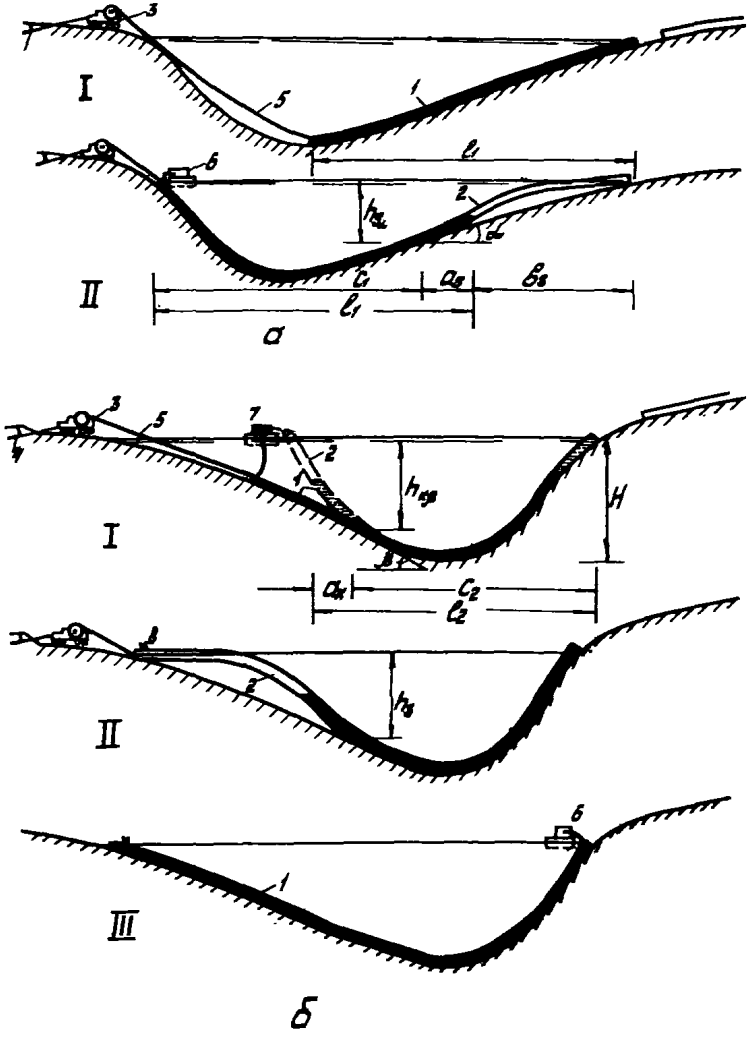
четвертая схема – когда глубоководные участки размещены у обоих берегов и разделены мелководным (островным) участком для двухрукавного русла.

3.9. По первой схеме укладку трубопровода выполняют в такой технологической последовательности (рис.4,а):

протаскивают трубопровод с одновременным заполнением его водой на расчетную длину ℓ_1 , после чего прекращают подачу воды. Далее протаскивают трубопровод до противоположного берега. При этом концевой участок трубопровода (в мелководной зоне) всплывает. По окончании протаскивания возобновляют залив воды в трубопровод со стороны оголовка и укладывают плавающий участок.

3.10. По второй схеме укладку трубопровода выполняют в следующей технологической последовательности (рис.4,б): протаскивают трубопровод с одновременным заполнением его водой на расчетную длину ℓ_2 , после чего прекращают подачу воды. В головную часть трубопровода подают воздух от компрессора до ее всплытия, затем продолжают протаскивание трубопровода до выхода оголовка на противоположный берег. На завершающем этапе заполняют водой (с помощью насоса) сначала концевой участок (со стороны монтажной площадки), а затем весь трубопровод. При этом плавающий участок погружается на дно. Концевой участок заполняют водой медленно (с ограниченным расходом воды), чтобы избежать образования воздушных пузырей. После заполнения водой концевого участка залив продолжают с максимальным расходом.

3.11. По третьей технологической схеме трубопровод укладывают в следующей последовательности (рис.4,в): протаскивают трубопровод с одновременным его заполнением водой на расчет-


I
II
III
а
б

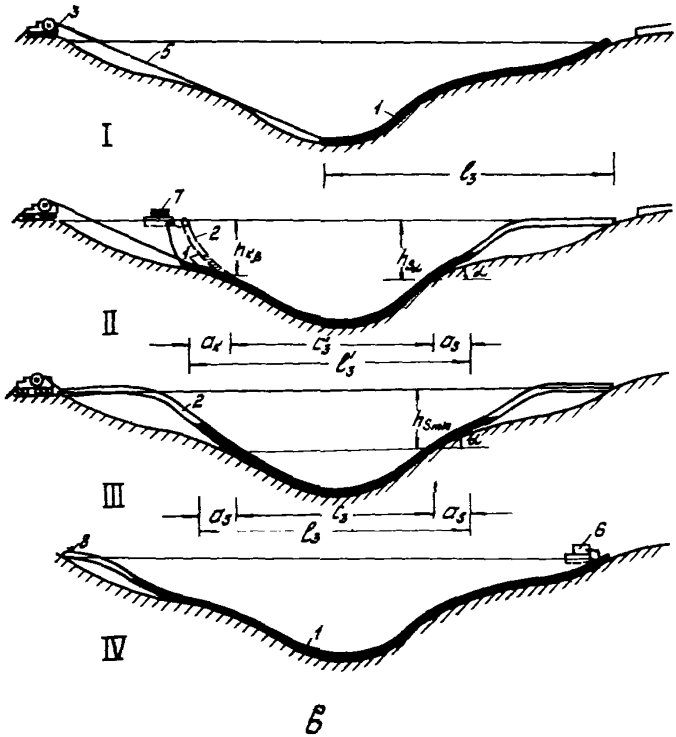


Рис.4. Технологические схемы укладки трубопроводов с регулированием плавучести:

а,б,в-соответственно первая, вторая и третья схемы; I,II,III,IУ-последовательные этапы укладки; 1-трубопровод с водой; 2-трубопровод с воздухом; 3-тяговая лебедка; 4-мертвяк; 5-трос; 6-наполнительный агрегат; 7-компрессор; 8-воздушный патрубок

ную длину ℓ_3 , после чего прекращают подачу воды. Протаскивают трубопровод на расчетную длину с постепенным всплытием концевого участка; закачивают воздух в головную часть трубопровода до его всплытия. Продолжают протаскивание трубопровода до выхода оголовка на противоположный берег. Заполнят трубопровод водой с концевого участка.

3.12. Длину участков трубопровода ℓ_1, ℓ_2, ℓ_3 , заполняемых водой в процессе протаскивания, определяют расчетом [3] (из условия, чтобы напряжения в трубопроводе при его всплытии не превышали допустимых значений) и контролируют по соответствующим отметкам, нанесенным на наружную поверхность трубопровода.

Укладка трубопровода свободным погружением с натяжением и самонатяжением

3.13. Приложение растягивающего усилия к трубопроводу в процессе его погружения с поверхности воды позволяет существенно увеличить допустимую глубину укладки по сравнению со свободным погружением трубопровода без натяжения.

Для создания растягивающего усилия можно использовать тяговые лебедки и специальные натяжные устройства. При закреплении концов трубопровода к неподвижным береговым опорам растяжение трубопровода создают за счет его самонатяжения в процессе погружения. Самонатяжение трубопровода можно использовать для создания больших усилий при относительно малых перемещениях, что имеет место для трубопроводов диаметром 1020 мм и более.

3.14. Технология укладки трубопровода с самонатяжением включает следующие операции(рис.5):

установку неподвижных опор на обоих берегах;

монтаж плети трубопровода и вывод ее наплаву в створ укладки;

закрепление трубопровода к береговым опорам: с одного конца – посредством короткого (практически нерастяжимого) троса, с другого конца – посредством упругого элемента с расчетными деформативными характеристиками (отрезок троса расчетной длины, гидроцилиндр);

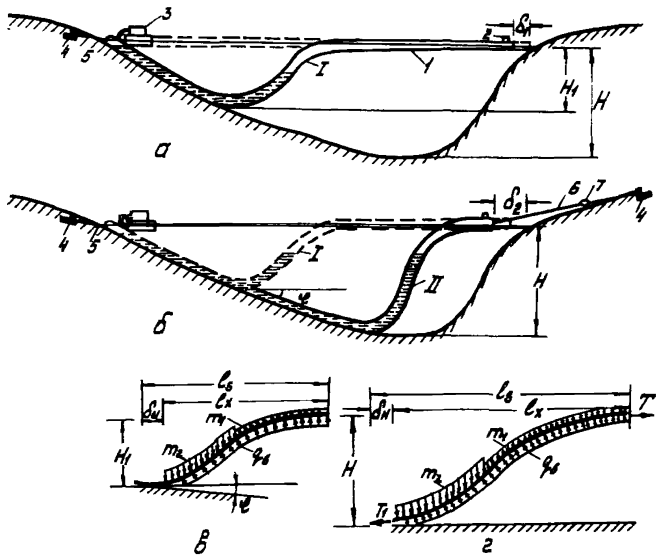


Рис.5. Схема погружения трубопровода с самонатяжением:
а–технологическая; в–расчетная схемы укладки трубопровода на первом этапе погружения; б–технологическая; г–расчетная схемы укладки трубопровода на втором этапе погружения (с самонатяжением); I,II–положения трубопровода, соответствующие расчетным схемам (в и г); I – трубопровод; 2 – воздушный патрубок; 3–наполнительный агрегат; 4–береговой анкер; 5–нерастяжимая связь; 6–упруго деформируемая связь; 7–динамометр

укладку трубопровода свободным погружением со стороны нерастяжимой связи до промежуточной глубины H_1 , при этом упругий элемент не работает;

укладку трубопровода погружением с самонатяжением на глубинах, превышающих H_1 .

3.15. Глубину H_1 определяют расчетом [3]. Величину продольного растягивающего усилия T, которое необходимо создать

за счет самонатяжения трубопровода, определяют расчетом напряженно-деформированного состояния трубопровода при его погружении на максимальную глубину по методике, приведенной в приложении 4. Расчет технологических параметров укладки трубопровода с самонатяжением приводится в приложении 5.

3.16. Для стабилизации натяжения и повышения надежности укладки трубопровода можно использовать силовой гидроцилиндр, оттарированный на величину расчетного усилия, которое остается постоянным в пределах перемещения подвижного штока цилиндра.

При необходимости увеличения усилия натяжения можно использовать систему параллельно установленных гидроцилиндров. Если требуется увеличить длину перемещения (при постоянном усилии натяжения), то гидроцилиндры устанавливают последовательно.

Величину усилия натяжения трубопровода контролируют с помощью динамометра.

Укладка трубопровода из длинномерных плетей, изготовленных на централизованной базе

3.17. Плети трубопровода подготавливают на централизованной базе и транспортируют наплаву к месту строительства перехода. Плети должны соответствовать техническим условиям на их изготовление.

3.18. К месту строительства транспортируют одиночные плети или несколько плетей, скрепленных в плоты. Порядок буксировки согласовывается с Бассейновым управлением пути.

Плети транспортируют двумя буксирами-катерами. Усилие буксировки определяют расчетом (приложение 6).

3.19. Транспортируемые плети могут быть забалластированы полностью до проектной величины либо частично, с некоторым запасом плавучести, либо не иметь пригрузки.

В первом случае плавучесть плети обеспечивают закреплением понтонов. Запас плавучести для частично балластируемых плетей создают путем чередования пригруженных и непригруженных участков плети. Длину непригруженных участков a по отношению к общей длине $\ell_{пл}$ плети определяют из выражения

$$\frac{a}{\ell_{пл}} = \frac{\Delta q + p}{q + p}, \qquad (9)$$

где Δq – заданный запас плавучести при транспортировке плети (в среднем на единицу длины);

p – вес в воде забалластированных участков (на единицу длины);

q – плавучесть незабалластированных участков (на единицу длины);

В табл.3 приведены значения относительной длины незабалластированных участков для трубопроводов диаметром 1020 мм и 1220 мм.

Таблица 3

Диаметр трубопровода мм	Толщина стенки, мм	Плавучесть с изоляцией и футеровкой, кгс/м	Вес в воде		Величина $a/\ell_{пл}$ при балластировке с грузами	
			с притруз-кой чугунными грузами, кгс/м	с железобетонными притрузами, кгс/м	чугунными	железобетонными
1020	12	-535	142	177	0,35	0,38
	14	-486	142	174	0,38	0,41
	16	-437	142	172	0,40	0,45
1220	12	-830	199	252	0,29	0,32
	14	-771	199	249	0,31	0,34
	16	-713	199	243	0,33	0,36
	20	-596	199	240	0,38	0,41

3.20. Доставленные на переходах плети крепят вблизи берега вне судового хода, в местах, защищенных от господствующего направления ветров и действия волн, создаваемых проходящими судами.

3.21. Монтаж трубопровода из доставляемых на переход готовых плетей выполняют либо на береговой площадке, куда предварительно вытаскивают плети, либо наплану с использованием плавсредств и специального оборудования. Укладку трубопровода соответственно осуществляют способом протаскивания с берега либо погружением с поверхности воды. Возможно также комбинирование обоих способов укладки. Вторая технологическая схема монтажа позволяет укладывать трубопровод по мере готовности подводной траншеи с минимальным разрывом во времени. Ее применение возможно при ограниченных скоростях течения и высоте волн; кроме того, доставляемые плети должны быть забалластированы до проектной величины.

3.22. При необходимости дополнительной балластировки плети вытаскивают на берег и выкладывают параллельно створу. Перед балластировкой производят визуальный осмотр состояния изоляции и футеровки, исправляют обнаруженные дефекты, а в случае необходимости сварочных работ производят повторное гидравлическое испытание в соответствии с указаниями СНиП III 42-80 (табл.17 для первого этапа).

3.23. При укладке плетей трубопроводов комбинированным способом работы выполняют в следующей технологической последовательности (рис.6): разрабатывают траншею на участке с глубинами, превышающими допустимые, для способа свободного погружения трубопровода. Протаскивают трубопровод на глубоководном участке либо с ближайшего берега, либо с мелководного участка. При протаскивании с берега головной участок плети разгружают понтонами и в процессе протаскивания заполняют водой. Всплытие головного участка для последующей пристыковки плетей осуществляют путем вытеснения воды. При протаскивании с мелководного участка трубопровод наращивают наплаву одновременно с разработкой глубоководного участка траншеи, а протаскивание выполняют по ее завершении. При этом концевой участок протаскиваемой плети остается наплаву для последующего наращивания.

3.24. После укладки трубопровода на глубоководном участке его наращивают длинномерными плетями со стыковкой наплаву по мере готовности траншеи.

3.25. Наращивание плетей на мелководном участке осуществляют следующим способом: выводят первую плеть с понтонами в створ перехода и опускают на дно путем залива воды в полость трубопровода. После опуска трубопровода понтоны снимают, оставляя их только на отрезке расчетной длины со стороны стыкуемой плети. Выводят вторую плеть в створ перехода. В оголовок первой плети подают сжатый воздух до его всплытия и выравнивания положения близко к горизонтальному.

Стыкуют обе плети в плавучей камере, на плавучей монтажной площадке или с борта баржи: закрепляют плети соосно, обрезают заглушки, вваривают катушку, просвечивают и изолируют стыки. После стыковки плеть заливают водой и погружают на дно во избежание длительного воздействия гидродинамических нагрузок. Снимают понтоны, за исключением концевого участка плети, ко-

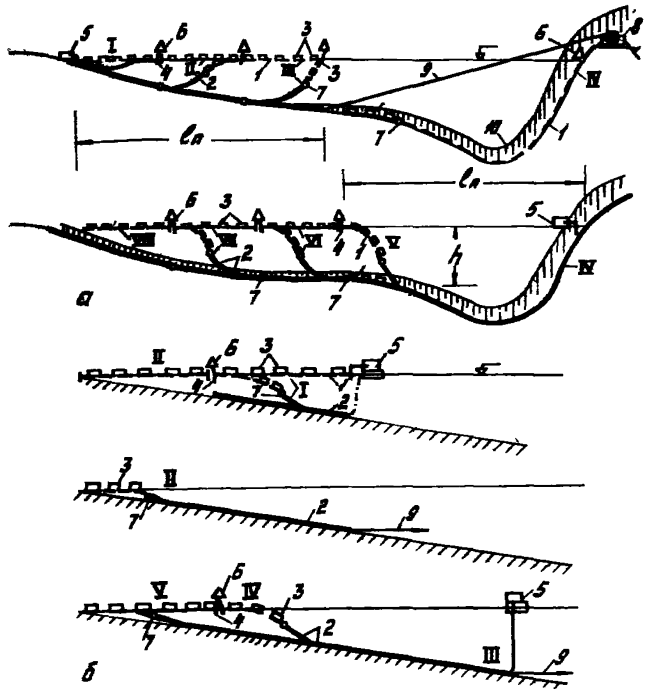


Рис.6. Схема наращивания и укладки плетей газопровода, изготовленных на централизованной базе:

а–схема укладки трубопровода с наращиванием на мелководном участке: I–IУ–последовательные этапы наращивания трубопровода в мелководной зоне и его протаскивания на глубоководном участке; У–УШ–последовательные этапы монтажа и укладки трубопровода на мелководном участке; б–вариант наращивания плетей на мелководном участке с последовательным их протаскиванием; I–трубопровод с воздухом; 2–трубопровод с водой; 3–понтоны; 4–стыки плетей; 5–наполнительный агрегат; 6–компрессор; 7–разделитель; 8–тяговая лебедка; 9–тяговый трос; IO–траншея

торый оставляют заполненным воздухом и лишь частично притапливают на безопасную по условиям судоходства и волнения глубину.

3.26. Последующее наращивание выполняют аналогично. Перед протаскиванием плети, смонтированной указанным образом, из нее вытесняют воду с помощью разделителя.

4. УКЛАДКА ТРУБОПРОВОДОВ С ТРУБОУКЛАДОЧНОЙ БАРЖИ

Требования к трубам

4.1. Трубы, предназначаемые для укладки с трубоукладочной баржи, должны отвечать следующим требованиям:

иметь повышенные прочностные характеристики: временное сопротивление – $\sigma_{вр}$ = 5200–5400 кгс/см^2, предел текучести – $\sigma_т$ = 3800–4000 кгс/см^2;

должны быть испытаны на заводе на внутреннее давление согласно СНиП II–45–75;

иметь изоляционное покрытие усиленного типа, преимущественно заводского изготовления, отвечающее требованиям СНиП 45–75. Концы труб длиной 150 мм должны быть свободны от изоляции;

иметь сплошное кольцевое балластное покрытие (за исключением незаизолированных участков по концам), по возможности с большей плотностью.

4.2. Трубы балластируются в заводских условиях армированным бетоном (с использованием установки непрерывного набрызга или опалубки), а также непосредственно на переходе с использованием сборных кольцевых железобетонных грузов типа УТК [4].

4.3. Трубы, доставляемые на переход без утяжеляющего покрытия, должны иметь защитную обертку толщиной не менее 1 мм, предохраняющую изоляционное покрытие от механических повреждений при погрузочно-разгрузочных транспортных и монтажных работах.

4.4. Бетонное покрытие труб, предназначенных для укладки на глубоководных участках водоемов, не доступных для разработки траншей, должно обладать повышенной прочностью. Трубы с утяжеляющим покрытием и утяжеляющие грузы должны иметь маркировку в соответствии с "Руководством" [4].

4.5. Утяжеляющие покрытия и грузы должны удовлетворять допускам по весу, линейным размерам и качеству изготовляемой поверхности, которые регламентируются техническими условиями и нормативными документами. Точность измерения параметров, контролируемых в процессе подготовки трубопровода к укладке, регламентируется "Руководством по метрологическому обеспечению строительства подводных переходов магистральных трубопроводов" Р 391-80. М., ВНИИСТ, 1981 и "Инструкцией по метрологическому обеспечению контроля качества строительства магистральных трубопроводов" ВСН 2-141-82 Миннефтегазстроя. М., ВНИИСТ, 1982.

4.6. Трубы с балластным покрытием доставляют на переход преимущественно водным транспортом, перегружают на береговую площадку и частично на трубоукладочную баржу с помощью плавучего крана. При перегрузке труб на берег кран швартуется к временному причалу, а при перегрузке на трубоукладочную баржу - непосредственно к барже с подветренного борта. На берегу трубы складируют с помощью трубоукладчиков. Разгрузку судов производят при силе ветра не более 4 баллов. На барже создают запас труб, необходимый для ее безостановочной работы, с учетом допустимой грузоподъемности баржи.

Состав комплекса трубоукладочных средств

4.7. В состав комплекса трубоукладочных средств входят:

трубоукладочная баржа для укладки и стыковки трубопроводов;

крановое судно для перегрузки труб с покрытием (или грузами) с транспортных барж на береговую площадку и на трубоукладочную баржу;

судно-буксировщик для транспортировки трубоукладочной баржи на переход и перестановки якорей в процессе укладки трубопровода;

водолазный бот для обслуживания водолазных работ при укладке трубопровода;

пассажирское судно для смены рабочих вахт и обслуживания команды трубоукладочного судна;

судно-заправщик для обеспечения трубоукладочной баржи и вспомогательных судов топливом, водой, смазочными материалами;

катер БМК для оперативной доставки людей и мелких грузов на трубоукладочную баржу и вспомогательные суда.

4.8. Трубоукладочная баржа должна отвечать следующим требованиям:

максимальная осадка баржи в нерабочем положении должна допускать ее транспортировку по внутренним водным путям;

габариты баржи не должны препятствовать ее пропуску по судоходным шлюзам в районе аливания;

баржа должна быть приспособлена для стыковки трубопроводов;

баржа может эксплуатироваться на внутренних водоемах и прибрежных участках морей с ограничениями по гидрометеорологическим условиям;

грузоподъемность установленного на барже кранового оборудования, конструкция стингера и монтажной рампы, усилие натяжных устройств, мощность тяговой лебедки, удерживающая способность якорей, средства контроля должны обеспечивать безопасную укладку трубопровода на проектную глубину;

конструкция стингера должна позволять укладывать трубопроводы с понтонами.

4.9. Для связи между судами используют телефонную и радиосвязь. Все суда должны иметь средства дальней радиосвязи. Дополнительно на всех судах и на береговом причале устанавливают радиотелефонную аппаратуру ближнего действия (типа УКВ).

Особенности проектных решений

4.10. При разработке проектов переходов многониточной системы трубопроводов через водохранилища с применением трубоукладочных комплексов необходимо рассмотреть:

возможность прокладки на переходе трубопроводов того же диаметра, что и на линейной части;

возможность и технико-экономическую целесообразность уменьшения расстояния между нитками (по сравнению с нормами

СНиП II-45-75) и укладки нескольких трубопроводов в общую траншею с учетом конструктивных особенностей трубоукладочной баржи и гидрометеорологических условий на участке перехода;

дополнительные требования к трубам и мероприятия по контролю их качества в процессе транспортировки, перегрузки и монтажа, гарантирующие надежность подводного трубопровода без предварительного (до укладки) испытания на внутреннее давление.

4.II. Отступления проектов от СНиП 45-75 и СНиП III-4280, обусловленные спецификой прокладки трубопроводов с трубоукладочной баржи, не учитываемой действующими нормами, подлежат согласованию с Госстроем до пересмотра действующих норм.

4.I2. Расстояние между трубопроводом, прокладываемым с баржи, и параллельной ниткой уложенного трубопровода определяется максимально возможным отклонением трубопровода от створа в процессе укладки. Это отклонение зависит от точности системы ориентации и конструктивных особенностей систем перемещения и удержания баржи в створе. В случае обоснованной возможности уменьшения расстояний между нитками менее 30 м (для газопроводов диаметром до I020 мм) и менее 50 м (для газопроводов диаметром свыше I000 мм) следует рассмотреть варианты разработки подводной траншеи, при которых исключается работа земснарядов рядом с уложенными подводными трубопроводами. С этой целью предусматривают поэтапную разработку подводной траншеи соответственно этапам укладки трубопровода для нескольких ниток сразу. Уменьшение расстояний между нитками целесообразно, если при этом объемы работ сокращаются не менее чем на 20%.

4.I3. Производительность земснарядов при разработке подводной траншеи должна быть достаточной для обеспечения необходимого темпа укладки трубопровода с трубоукладочной баржи (приложение 7). Земляные работы выполняют с опережением по отношению к укладке и с технологическим зазелом, исключающим взаимные помехи земснаряда и трубоукладочной баржи при работе и перекладке якорей. Величина технологического зазела должна составлять не менее 500 м.

4.I4. Засыпка трубопровода допускается только после его испытания по завершении укладки.

Расчеты технологических параметров укладки трубопровода с трубоукладочного судна

4.15. Основным критерием при расчете является допустимая кривизна трубопровода в верхней (при сходе с баржи) и нижней (вблизи дна) критических зонах изгиба:

$$\rho_{min} \geq \frac{EJ}{2(\sigma_g - \frac{N}{F})}, \qquad (10)$$

где ρ_{min} – минимальный радиус кривизны трубопровода, см;

D, F – соответственно диаметр (в см) и площадь поперечного сечения трубы, см²;

σ_g – допускаемые монтажные напряжения в трубопроводе, кгс/см²;

N – максимальная величина продольного растягивающего усилия в трубопроводе, кгс.

Минимальный радиус кривизны стингера, ограничивающего изгиб трубопровода в верхней зоне, должен быть не менее величины ρ_{min} из выражения (10).

4.16. Кривизна трубопровода в нижней зоне зависит от конструкции и длины стингера, глубин водоема, поперечных и продольных нагрузок на провисающем участке.

Технологические и расчетные схемы укладки трубопровода с баржи показаны на рис.7, 8.

4.17. Параметры трубопровода: угол и высота в точке схода со стингера, длина пролета, реакции в опорных сечениях изменяются в процессе укладки и достигают предельных значений в зоне наибольших глубин и на примыкающем к ней участке с обратным уклоном дна.

Расчет параметров трубопровода выполняют на основе следующих исходных данных, которые в каждом конкретном случае считают заданными:

D – наружный диаметр;

δ – толщина стенки трубы;

D_1 – наружный диаметр трубопровода с покрытием;

m – масса снаряженного трубопровода;

$q_в$ – выталкивающая сила воды;

ρ – отрицательная плавучесть трубопровода;

σ – допустимые монтажные напряжения;

J – момент инерции сечения трубы;

W – момент сопротивления;

F – площадь поперечного сечения трубы;

α – угол наклона монтажной рамы;

R – радиус кривизны стингера;

$l_{ст}$ – длина стингера;

$W_{ст}$ – плавучесть стингера (при шарнирном закреплении);

T – номинальное усилие натяжных устройств.

4.18. Статический расчет трубопровода при укладке с трубоукладочной баржи (применительно к прямолинейному стингеру) выполняют, исходя из следующих предпосылок (см.рис.7). Прямо-

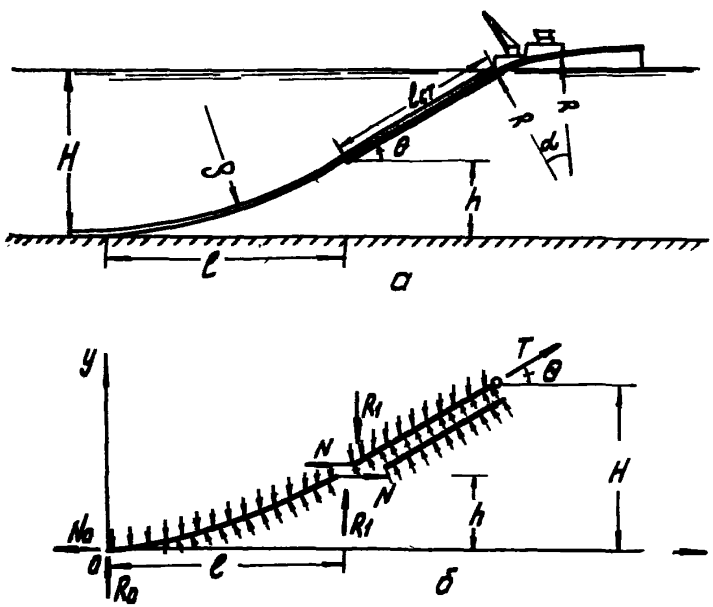


Рис.7. Схемы укладки трубопровода с трубоукладочной баржи (прямолинейный стингер):

а – технологическая; б – расчетная

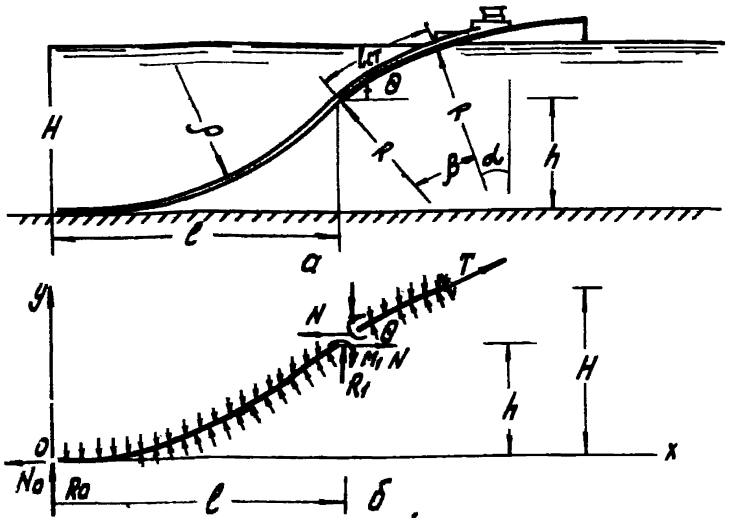


Рис.8. Схемы укладки трубопровода с трубоукладочной баржи (жесткий криволинейный стингер):
а – технологическая; б – расчетная

линейный стингер имеет шарнирное закрепление в верхней части и регулируемую плавучесть, позволяющие изменять угол наклона стингера в зависимости от глубины укладки трубопровода. Прилегание трубопровода к стингеру на участке схода контролируют системой датчиков. Стингер сопрягается с наклонной монтажной рамкой по допустимому радиусу R . В трубопроводе создают натяжение, величина которого ограничена номинальным усилием натяжных устройств.

Напряжение в трубопроводе регулируют путем изменения отрицательной плавучести трубопровода, усилия натяжения и угла наклона стингера. Расчет выполняют в следующей последовательности:

определяют величину продольного растягивающего усилия N_0,

которое можно создать в месте касания трубопроводом дна при максимальной глубине укладки H_0 и номинальном усилии натяжения T:

$$N_0 = T - q_в H_0 , \qquad (11)$$

где $q_в$ – выталкивающая сила, действующая на единицу длины трубопровода.

По формуле (10) определяют минимальный допустимый радиус изгиба трубопровода;

определяют безразмерное соотношение $\frac{N_0}{pP} = M_1(\varphi)$ по таблице 7 приложения 8 находят параметры $\varphi, h_1(\varphi), \theta_1(\varphi), Q(\varphi)$;

определяют расчетные параметры трубопровода на провисающем участке:

$$\ell = \varphi \sqrt{\frac{EJ}{N_0}} ; \qquad (12)$$

$$h = h_1(\varphi) \frac{PEJ}{N_0^2} ; \qquad (13)$$

$$tg\,\theta = \frac{P}{N_0} \sqrt{\frac{EJ}{N_0}}\, \theta_1(\varphi) ; \qquad (14)$$

определяют предельные значения параметров стингера:

$$\ell_{cm\,min} = \frac{H_0 - h}{\sin\theta} ; \qquad (15)$$

$$Q = tg\frac{\varphi}{2} P \sqrt{\frac{EJ}{N_0}} = Q(\varphi) P \sqrt{\frac{EJ}{N_0}} = \frac{Q(\varphi)}{\varphi} p\ell ; \qquad (16)$$

$$q_{cm} = p + \frac{2Q}{\ell_{cm} \cos^2\theta} . \qquad (17)$$

Безмерные параметры вычисляют по формулам:

$$M_1(\varphi) = 1 - \frac{1}{Ch\frac{\varphi}{2}} ; \qquad (18)$$

$$h_1(\varphi) = \varphi\left(\frac{\varphi}{2} - th\frac{\varphi}{2}\right) ; \qquad (19)$$

$$\theta_1(\varphi) = \frac{2h_1(\varphi)}{\varphi} = \varphi - 2th\frac{\varphi}{2} ; \qquad (20)$$

$$Q(\varphi) = th\frac{\varphi}{2} . \qquad (21)$$

Фактические параметры стингера: угол поворота θ, длина ℓ_{cm}, плавучесть q_{cm} должны быть не менее предельных значений, рассчитанных по формулам (14), (15), (17).

Продольное растягивающее усилие, которое необходимо соз-

дать в точке касания трубопроводом дна N_0 , и угол схода трубопровода со стингера θ связаны с максимально возможной глубиной укладки следующей зависимостью:

$$H_a = tg\theta \sqrt{\frac{EJ}{N_0}} \frac{\varphi}{2} + \ell_{cm} \sin\theta. \qquad (22)$$

Относительную длину участка прилегания трубопровода к стингеру (минимальную длину стингера) определяют из выражения

$$\frac{\ell_{cm}}{H} = \frac{1}{\sin\theta}\left(1 - 0{,}75 \frac{\rho}{H} tg^2\theta\right). \qquad (23)$$

Относительная высота точки отрыва трубопровода от стингера:

$$\frac{h}{H} = 0{,}75 \frac{\rho}{H} tg^2\theta; \quad \frac{h}{\rho} = 0{,}75 tg^2\theta. \qquad (24)$$

Относительная длина пролета

$$\frac{\ell}{h} = \frac{2}{tg\theta}; \quad \frac{\ell}{\rho} = 1{,}5 tg\theta. \qquad (25)$$

При заданном значении угла θ параметр φ определяют по табл.7 приложения 8 из выражения

$$\Psi(\varphi) = 2{,}18 \frac{M_1(\varphi)}{\varphi^2} = \frac{EJ}{\rho\rho^3 tg^2\theta}; \qquad (26)$$

соответственно

$$N_0 = \frac{\varphi^2 EJ}{\ell^2}. \qquad (27)$$

В частном случае, когда продольное усилие в точке касания трубопроводом дна равно нулю, параметры укладки находят из выражений:

$$\frac{\ell}{\rho} = 2{,}83 \sqrt{\frac{EJ}{\rho\rho^3}}; \qquad (28)$$

$$\frac{h}{\rho} = \frac{8}{3} \frac{EJ}{\rho\rho^3}; \qquad (29)$$

$$tg\theta = 1{,}83 \sqrt{\frac{EJ}{\rho\rho^3}}. \qquad (30)$$

Пример расчета технологических параметров укладки трубопровода с прямолинейного стингера дан в приложении 9.

4.I9. Статический расчет подводного трубопровода, укладываемого с жесткого криволинейного стингера, выполняют по программе, составленной на языке Фортран II, I2 . Расчетом определяют форму упругой линии, изгибающие моменты и напряжения в сечениях трубопровода для заданной глубины укладки в зависимости от параметров стингера и натяжных устройств. При этом программа находит такую форму упругой линии, при которой напряжения в сечениях трубопровода будут меньше допустимого значения.

Опускаемый с помощью стингера трубопровод принимает форму S -образной кривой (рис.9). В верхней своей части он опирается на стингер, в нижней части между точкой схода со стингера и точкой касания дна находится в провисающем состоянии. Угол наклона касательной и изогнутой оси находится в пределах $\alpha \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$, где α – угол наклона монтажной рампы. В точке касания трубопровода с дном этот угол равен углу наклона дна φ.

В качестве математической модели, описывающей упругий изгиб трубопровода, принимают неразрезную балку трубчатого сечения, подверженную одновременному действию осевых и попереч-

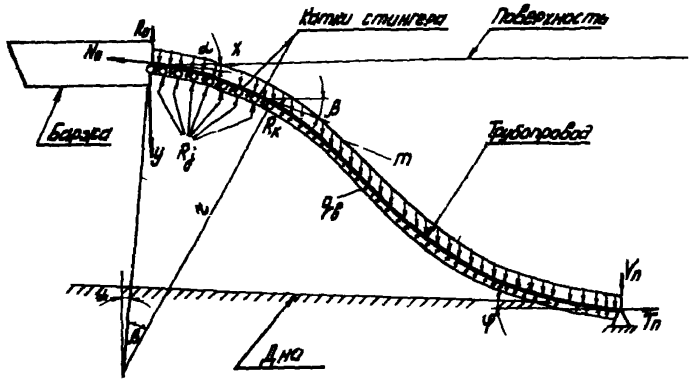


Рис.9. Расчетная схема трубопровода при укладке с трубоукладочной баржи

ных нагрузок. Точка касания с дном представляется шарнирно-неподвижной опорой, роликовые опоры стингера - подвижными шарнирами.

Считается, что на участке прилегания к стингеру трубопровод изгибается по кривой, описываемой радиусом кривизны стингера z. Сам стингер рассматривается как жесткая конструкция. Форма упругой линии трубопровода в провисающей части определяется системой дифференциальных уравнений, решение которой дано в работе [5].

4.20. При определении параметров укладки трубопровода с барки необходимо учитывать возможность случайных отклонений фактической величины отрицательной плавучести трубопровода от расчетного значения в большую сторону, что может привести к увеличению фактических напряжений на нижнем участке S-образной кривой.

Коэффициенты относительного увеличения отрицательной плавучести трубопровода определяют из выражения:

$$\left.\begin{aligned} K_1 &= 1 + \frac{\Delta m\, m}{p}; \\ K_2 &= 1 + \frac{\Delta w\, w}{p}, \end{aligned}\right\} \qquad (31)$$

где Δm - относительная величина нормативного допуска на массу трубопровода;

Δw - относительная величина нормативного допуска на водоизмещение трубопровода;

m - расчетная величина массы единицы длины трубопровода, подготовленного к укладке;

w - расчетная величина водоизмещения единицы длины трубопровода, подготовленного к укладке;

p - расчетная величина отрицательной плавучести трубопровода, подготовленного к укладке.

Из двух значений коэффициентов принимают наибольший.

Понтоны устанавливают из расчета отрицательной плавучести трубопровода, равной

$$p_1 = \frac{p}{K}, \qquad (32)$$

где p - отрицательная плавучесть трубопровода, учитываемая при расчете его напряженно-деформируемого состояния.

Минимальная расчетная величина отрицательной плавучести должна превосходить абсолютную величину нормативного допуска.

4.21. Возможность укладки трубопровода с криволинейного стингера можно оценить с помощью формул (33)–(39), соответствующих частному случаю расчетной схемы при условии равенства нулю величины продольного усилия N_0 в точке касания трубопровода с дном:

$$\bar{\ell} = \frac{\ell}{\rho} = \sqrt{2a}\left(1 + \sqrt{1 + \frac{\rho}{R}}\right); \tag{33}$$

$$f = \frac{1}{6}\,\frac{\ell^4}{a}\left(\frac{\sqrt{2a}}{\ell} - \frac{1}{4}\right); \tag{34}$$

$$tg\Theta = \frac{1}{2}\,\frac{\ell^3}{a}\left(\frac{\sqrt{2a}}{\ell} - \frac{1}{3}\right); \tag{35}$$

$$\frac{H}{R} = \frac{h}{\rho} - \frac{\rho}{R} + \cos\alpha - \cos\Theta; \tag{36}$$

$$\frac{\ell_{cm}}{R} = (\Theta - \alpha); \tag{37}$$

$$a = \frac{EJ}{\rho\rho^3}; \tag{38}$$

$$T = q_в H. \tag{39}$$

Расчетные значения ℓ_{cm}, H сопоставляют с заданными. При условии, что фактическая длина стингера не менее расчетной, можно считать допустимым укладку трубопровода на расчетную глубину H с усилием натяжения Т при отрицательной плавучести трубопровода Р.

Пример оценки технологических параметров укладки приведен в приложении 10.

Технология укладки трубопроводов с трубоукладочного судна

4.22. Укладке трубопровода с трубоукладочной баржи должны предшествовать следующие работы:

промеры дна по створу перехода;

водолазное обследование дна водоема на участке бестраншейной укладки;

разработка подводной траншеи в границах, обеспечивающих необходимый фронт работ для укладки трубопровода;

установка береговой опоры с блоком, изготовление оголовка трубопровода, подготовка оборудования и оснастки, необходимых для выполнения работ на первом этапе укладки;

установка светящихся створных знаков и ограничительных буев;

устройство временного причала для вспомогательных судов;

устройство площадки для складирования труб;

доставка на переход и подготовка к укладке партии труб на первый этап укладки.

4.23. Прокладку трубопровода с трубоукладочной барки осуществляют в несколько последовательных этапов (рис.10):

укладывают трубопровод на одном из прибрежных участков путем протаскивания наращиваемой на барже плети;

укладывают трубопровод на основном глубоководном участке с перемещением барки;

укладывают трубопровод на другом прибрежном участке по аналогии с первым этапом;

стыкуют основной и прибрежный участки в единую нитку.

4.24. Прокладку параллельных ниток трубопроводов выполняют с соблюдением следующих требований:

уложенную нитку трубопровода обозначают буями через 250м;

по трассе прокладываемой нитки устанавливают поплавки и выставляют створные знаки;

якоря трубоукладочной барки укладывают на расстоянии не менее 100 м от проложенных ниток. Границы зоны укладки якорей обозначают вехами на берегу;

в процессе укладки контролируют расстояние между параллельными нитками путем эхолотирования по перекрестникам между двумя контрольными створами, обозначаемыми на эхолограммах в момент их прохождения.

4.25. Укладку трубопровода с трубоукладочной барки выполняют в соответствии с проектом производства работ, в котором определяют:

границы последовательных этапов разработки траншеи, укладки трубопроводов и их стыковки;

технологические параметры укладки трубопровода на каждом этапе и по участкам трассы: угол наклона стингера, усилие натяжения, отрицательную плавучесть трубопровода, расстояние между понтонами и другие;

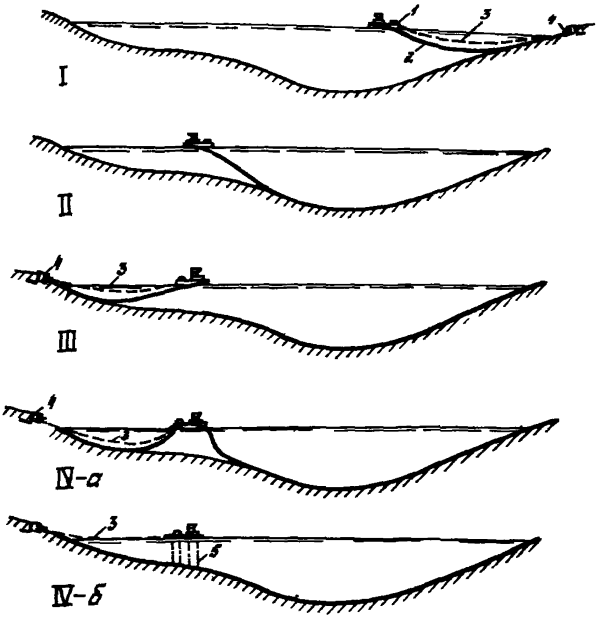


Рис.IO. Схема прокладки подводного трубопровода на переходе с использованием трубоукладочной баржи:

I,II,III,IV–последовательные этапы монтажа и укладки трубопровода; I–трубоукладочная баржа; 2–трубопровод; 3–трос спусковой лебедки; 4–мертвяк с блоком; 5–тросы кран-балок по борту баржи

технологическую последовательность работ на каждом этапе укладки;

методы контроля и порядок приема трубопровода.

4.26. Работы на барже выполняют круглосуточно и организуют по вахтовому методу.

4.27. Укладку трубопровода выполняют в следующей технологической последовательности.

Трубоукладочную баржу устанавливают в створе перехода на минимальном удалении об берега, регламентируемом осадкой баржи. Конец троса со спусковой лебедки баржи подают на берег, заводят через заанкеренный блок, вытягивают на баржу и закрепляют на оголовке первой трубы, уложенной на монтажной рампе. После этого приступают к монтажу трубопровода, вытягивая его на берег с помощью спусковой лебедки. Шаг подвижки трубопровода соответствует длине стыкуемой трубы или секции. После выхода оголовка трубопровода на берег тяговый трос отсоединяют и сматывают на барабан спусковой лебедки. Дальнейшую укладку трубопровода осуществляют путем циклического перемещения баржи. В намеченном месте, удобном для последующей стыковки, трубопровод опускают на дно, предварительно заглушив его конец. Разворачивают трубоукладочную баржу и осуществляют укладку прибрежного мелководного участка с помощью спусковой лебедки, как указано выше. На заключительном этапе выполняют стыковку прибрежного участка с уложенной ниткой трубопровода. Концы трубопровода поднимают с борта трубоукладочной баржи имеющимися на ней грузоподъемными средствами, центруют, сваривают, проверяют качество сварки, изолируют и спускают на дно.

4.28. Во избежание недопустимых сжимающих напряжений в трубопроводе и значительного его изгиба в плане перед спуском состыкованного участка создают предварительное натяжение трубопровода с помощью спусковой лебедки. Усилие натяжения должно быть достаточным для перемещения всего прибрежного участка и вытягивания слабины, равной разности длин криволинейного $\int$ - образного участка (при стыковке) и его горизонтальной проекции.

4.29. Конструкция трубоукладочного судна может предусматривать монтаж одиночных труб или двух-трехзвенных секций. В первом случае сварочные работы выполняют поточно-расчлененным способом на трех сварочных пунктах. На первом пункте с помощью центратора производят сборку, прихватку стыка, а при монтаже труб 1220 мм - сварку первого слоя шва; на втором и третьем пунктах выполняют сварку остальных слоев шва.

При сборке трехзвенных секций все операции по сварке стыка выполняют расчлененным способом на одном пункте.

4.30. Производительность трубоукладочной баржи определяется затратами времени на 1 цикл работ, складывающимися из

времени наиболее продолжительной операции на одном из постов и времени на перестановку баржи.

В приложении 7 приведены данные о времени выполнения отдельных видов работ и производительности трубоукладочной баржи при монтаже трубопровода I020 мм х 20 мм из одиночных труб и укрупненных секций. К наиболее продолжительным операциям, регламентирующим производительность баржи, относятся сварка и контроль стыка.

4.3I. Для уменьшения напряжений в трубопроводе при укладке на максимальных глубинах его оснащают понтонами, которые устанавливают в кормовой части судна. Понтоны должны иметь устройства автоматической отстроповки. По мере продвижения баржи участок трубопровода, уложенный на дно, освобождают от понтонов. Понтоны отстраивают сварными на участках трубопровода длиной 200–400 м, доставляют на баржу и подготавливают к последующей установке. На концевые участки отпущенных плетей понтоны не навешивают.

5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

5.I. При разработке подводных траншей и укладке подводных трубопроводов в вопросах техники безопасности следует руководствоваться:

СНиП Ш-4-80 "Техника безопасности в строительстве". М., Госстройиздат, I980;

"Правилами техники безопасности при строительстве магистральных трубопроводов Миннефтегазстроя". М., Недра , I970;

"Правилами техники безопасности при производстве подводно-технических работ на реках и водохранилищах". Минречфлот РСФСР. М., Транспорт, I965;

"Единими правилами охраны труда на водолазных работах". М., Транспорт, I965.

5.2. При эксплуатации электроустановок электросетей и кабелей следует руководствоваться "Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей и правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей". М., Энергоиздат, I968.

5.3. При перемещении грузов кранами следует руководствоваться "Правилами устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов". М., Металлургия, 1976.

5.4. Плавучие технические средства, используемые при разработке подводных траншей и укладке трубопроводов, должны отвечать требованиям Речного регистра РСФСР и быть укомплектованы штатным снаряжением и спасательными средствами.

Перед началом подводно-технических и монтажных работ весь производственный персонал должен пройти инструктаж по технике безопасности с учетом конкретных условий строительства (независимо от сроков ранее проводимых инструктажей).

5.5. При транспортировке плетей трубопровода наплаву следует руководствоваться Правилами пропуска судов, составов и плотов через судоходные шлюзы и Правилами плавания по внутренним судоходным путям. Не допускается причаливание лодок к плети и нахождение на ней людей.

5.6. При монтаже плетей трубопровода и их перемещении необходимо соблюдать следующие требования: перед началом работ необходимо проверить состояние стальных полотенец, канатов, блоков и тормозных устройств кранов-трубоукладчиков;

В процессе работ следует строго соблюдать схему расстановки механизмов, не следует превышать величины допустимых нагрузок, выноса стрел и высоты подъема трубопровода каждым краном-трубоукладчиком. В случае выхода из строя одного из кранов-трубоукладчиков необходимо немедленно опускать трубопровод на грунт.

5.7. При протаскивании трубопровода по дну водной преграды необходимо:

надежно прикрепить лебедку к мертвяковой опоре, рассчитанной на максимальное усилие;

использовать систему дистанционного управления лебедкой;

проверить надежность тягового троса, в случае необходимости испытать его на разрывное усилие;

вывести весь персонал на безопасное расстояние от тяговых и якорных канатов, устанавливаемое проектом производства работ но не менее 20 м;

следить за показаниями динамометра лебедки, не допуская перегрузки троса свыше расчетной величины;

обеспечить синхронную работу тяговых средств на противоположных берегах с помощью радио-телефонной связи.

5.8. Укладка трубопровода в темное время суток допускается только при достаточном освещении района работ прожекторами и обеспечении соответствующей сигнализацией.

5.9. Во избежание аварии при укладке трубопровода необходимо выполнить технологические расчеты с учетом несущей способности трубопровода, действующих на него нагрузок, грузоподъемности используемых технических средств.

5.10. При погрузке и разгрузке транспортных судов, доставляющих на переход трубы, необходимо руководствоваться правилами по грузоподъемным устройствам судов.

5.11. В процессе эксплуатации судов земснаряда необходимо проверять состояние блоков, тросов, скоб и других приспособлений, используемых в процессе работы, и своевременно устранять их неисправности. Рабочие места во время ремонта должны иметь хорошее освещение.

Между плавучими средствами и берегом должна быть установлена надежная связь (радио, рупоры, сигналы сиреной).

5.12. При выполнении водолазных работ в процессе укладки и заглублении подводных трубопроводов необходимо руководствоваться требованиями техники безопасности в соответствии с ГОСТ 12.3.012-77 "Работы водолазные. Общие требования безопасности", ГОСТ 12.2.035-78 "Водолазное снаряжение и средства обеспечения водолазных спусков и работ".

5.13. Разработку подводных траншей и укладку трубопроводов следует выполнять строго в соответствии с проектом производства и календарным графиком работ.

5.14. Монтаж трубопровода на трубоукладочной барже и его укладка допускаются при гидрологических и метеорологических условиях, определяемых правилами эксплуатации баржи. При высоте волн, скоростях течения и ветра, превышающих допустимые значения, необходимо приостановить монтажные работы, установить заглушку на конце монтируемой плети, опустить трубопровод на дно и вывести баржу в ближайшее место отстоя.

5.15. Сварочное и специальное электрооборудование, используемое на барже и плавсредствах при монтаже трубопровода, должно иметь заземление.

5.16. Понтоны, используемые при укладке трубопроводов, должны иметь устройства автоматической отстроповки. Отстроповку допускается выполнять после вывода судов и плавучих технических средств из зоны всплытия понтонов.

П Р И Л О Ж Е Н И Я

ПРИМЕР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ И СХЕМА РАЗРАБОТКИ ТРАНШЕИ НА ПЕРЕХОДЕ ЧЕРЕЗ р.ОБЬ

Продольный профиль дна реки и траншеи по створу перехода приведен на рис.I приложения I. Проектный объем разработки составляет 381 тыс.м^3. Грунты - пески мелкозернистые и среднезернистые. Разработка траншеи предусмотрена двумя земснарядами с одинаковой производительностью по грунту, но с разной глубиной грунтозабора: первый - до 12 м, второй - до 20 м.

Основой для прогнозирования возможных сроков начала и окончания работ служат графики хода уровней в створе перехода (рис.2 приложения I).

Суммарную суточную выработку и часовую производительность земснарядов (при двухсменной работе) определяем исходя из указанного проектного объема и возможной продолжительности работ (табл.I приложения I).

Таблица I

Водность года	Возможная продолжительность работ, сутки	Среднесуточная выработка, тыс.м^3	Производительность по грунту, м^3/ч
Маловодный	90	4,7	460
Средний	70	6,1	600
Многоводный	40	10,6	1000

Примечание. Производительность определяем с учетом коэффициента использования земснарядов по времени (К=0,7).

По условиям зависимости принимаем следующую последовательность работ: в первую очередь разрабатывают траншею на маловодном участке от ПК 16 до правого берега ПК 4, во вторую очередь - на глубоководном участке ПК 16 - левый берег.

Определяем участки траншеи, которые могут быть разработаны до проектных отметок земснарядом с глубиной грунтозабора 12 м: урез левого берега от ПК 23; островной участок ПК 15-9.

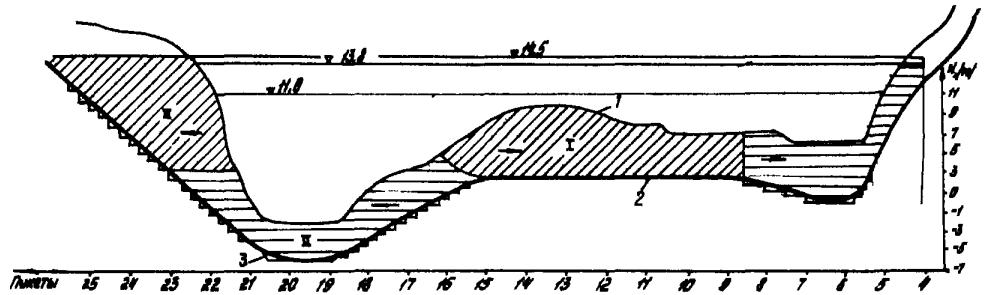


Рис.I. Схема разработки подводной траншеи двумя земснарядами:
I–первый этап работ; II–второй этап работ; I–профиль дна реки; 2–проектный профиль траншеи; 3–случайчатый рабочий профиль траншеи

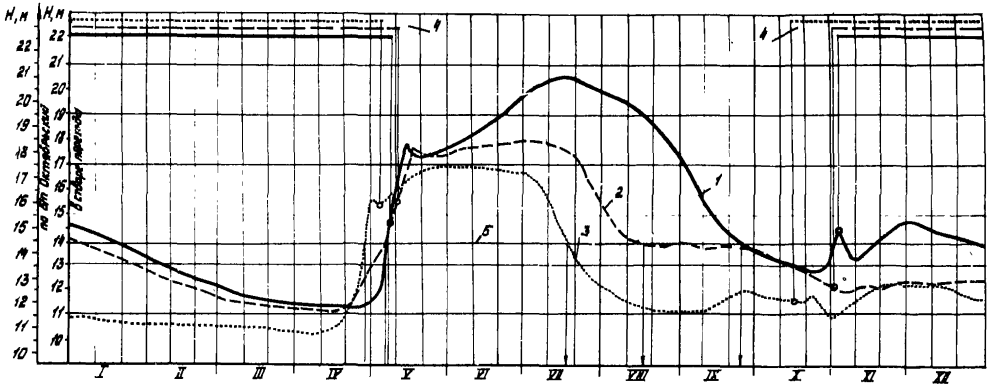


Рис.2. Графики хода уровней воды:
1-многоводный год; 2-средний по водности год; 3-маловодный год; 4-продолжительность ледового периода; 5-строительный уровень воды

Определяем объем работ на этих участках (130 тыс.м^3).

Исходя из одинаковой производительности земснарядов, планируем им равный объем работ – 190 тыс.м^3.

Определяем участок траншеи, который можно разрабатывать до промежуточной отметки: ПК 23-21-70. Объем работ в 60 тыс.м^3 на этом участке планируем земснаряду с глубиной грунтозабора 12 м.

Границы и очередность работы земснарядов показаны на схеме (см.рис.1 приложения 1). Направление движения земснарядов при разработке траншеи принято одинаковым – в сторону берега, что исключает взаимные помехи при перекладке якорей.

Ориентация земснарядов – визуальная, по береговым створам. Траншею разрабатывают в соответствии со ступенчатым рабочим профилем, заменяющим проектный профиль. В табл.2 приложения 1 приведена разбивка по участкам в границах первого этапа работ.

Таблица 2

№ участка в порядке его разбивки	Начало участка (пикет)	Длина участка, м	Отметка дна разрабатываемой траншеи, м	Глубина опускания рабочего органа (от СРТ), м	Ширина траншеи по дну, м
1	8-50	50	1,5	12,3	10
2	8-00	50	1,0	12,8	10
3	7-50	50	0,5	13,3	10
4	7-00	120	0,0	13,8	10
5	5-80	10	0,7	13,0	10
6	5-60	10	1,4	12,4	10
7	5-50	10	2,0	11,8	10

Участок от ПК 5-50 до берега разбит на отрезки длиной по 10 м с шагом изменения глубин 0,7 м.

Траншею разрабатывают способом веерного папильонажа на полную глубину. При ширине траншеи по дну 11 м, длине грунторазрабатывающей рамы 30 м и глубинах от 3 до 14 м угол поворота земснаряда относительно линии створа α на рассмотренном выше участке составляет:

при H = 14 м; $\alpha = 8^0 30'$;

при H = 3 м; $\alpha = 9^0 30'$

Расстояние от земснаряда (в фиксированной точке) до опорной

точки на берегу измеряют по дальномеру. Пикетаж в точке грунтозабора уточняют введением поправок к измеренным по дальномеру расстояниям. Поправки определяют из выражения (2). Например, при L = 30 м, ℓ_0 = 20 м, h_0 = I м, α = 9^0 значения поправок составят для максимального и минимального значений глубины на рассмотренном участке:

при $\bar{Z}$ = I4 м; Δx = -6 м;

при $\bar{Z}$ = 3 м; Δx = -I0 м.

Для определения истинного местоположения (пикета) грунтозаборного устройства вычитают из измеренного по дальномеру расстояния значение поправки с ее знаком и составляют дополнительную таблицу (табл.3 приложения I) с указанием для каждого участка контрольного расстояния по дальномеру.

Таблица 3

№ участка	Начало участка (пикет)	Расстояние до базовой точки на берегу, м	Поправка на положение грунтозаборного устройства, м	Контрольное расстояние по дальномеру, м
4	7-00	350	-6	356

Аналогичные поправки вносят для всех участков ступенчатого профиля.

Приложение 2

РАСЧЕТ ДОПУСТИМОЙ ВЫСОТЫ ЗАБОЯ ПРИ ЗАГЛУБЛЕНИИ ПОДВОДНОГО ТРУБОПРОВОДА, УЛОЖЕННОГО НА ДНО

В зависимости от характера задач, решаемых при заглублении подводных трубопроводов, предварительно уложенных на дно водной преграды, определяют следующие технологические параметры:

допустимую высоту забоя h и пролет трубопровода ℓ между верхней и нижней точками опирания на дно при заданном значении предельного радиуса естественного изгиба ρ ;

длину пролета ℓ и максимальные изгибные напряжения в трубопроводе σ при известном значении высоты забоя (величины заглубления) – h

Расчет выполняют по приближенной расчетной схеме, как балки на трех опорах, или по уточненной схеме, учитывающей упругость основания на верхнем участке опирания трубопровода. В последнем случае необходимо знать коэффициент поперечного сопротивления грунта (коэффициент постели).

Расчетная схема трубопровода – балки на трех опорах приведена на рис.3 приложения 2.

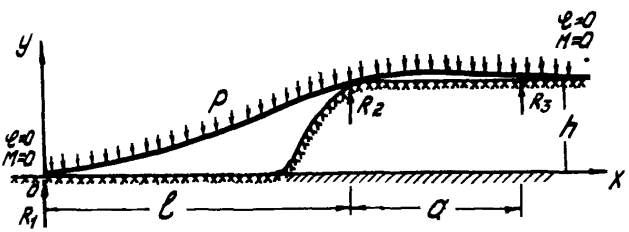


Рис.3. Расчетная схема трубопровода как балки на трех опорах

Расчетные параметры определяют по формулам, полученным на основе решения приближенного дифференциального уравнения изогнутой оси трубопровода [6]:

$$\frac{h}{\rho} = 1{,}07\,\frac{EJ}{p\rho^3}\,; \qquad (40)$$

$$\frac{\ell}{\rho} = \sqrt{52\frac{EJ}{\rho\rho^3}\frac{h}{\rho}} = 2{,}73\sqrt{\frac{EJ}{\rho\rho^3}} = 2{,}64\sqrt{\frac{h}{\rho}}; \quad (41)$$

$$\sigma = 177{,}5\sqrt{\frac{\rho}{q_{тр}}h} = 0{,}134\frac{\rho\ell^2}{W}, \quad (42)$$

где E – модуль упругости (для стали $E = 2{,}1\cdot10^6$ кгс/см^2);

J – момент инерции поперечного сечения трубы, см^4;

ρ – отрицательная плавучесть трубопровода, кгс/см;

$q_{тр}$ – масса трубы (без изоляции и пригрузки) на единицу длины, кг/см;

W – момент сопротивления, см^3.

Расчетная схема трубопровода как балки на упругом основании показана на рис.4 приложения 2.

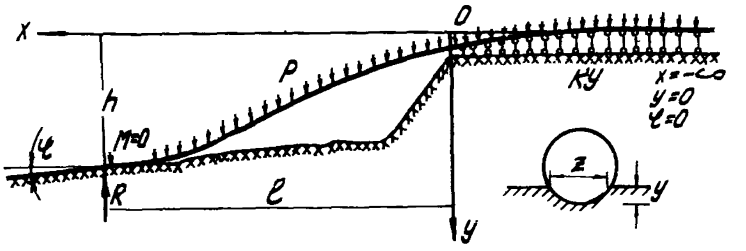


Рис.4. Расчетная схема трубопровода как балки на упругом основании

Расчетные зависимости получены путем совместного решения дифференциальных уравнений изогнутой оси трубопровода для провисающего участка и верхнего участка опирания на грунт, рассматриваемого как полубесконечная балка на винклеровском основании [6]:

$$\frac{\ell}{\rho} = \sqrt{6\frac{EJ}{\rho\rho^3}\frac{1}{\bar{M}}}; \quad (43)$$

$$\frac{h}{\rho} = 0{,}5\frac{EJ}{\rho\rho^3}\frac{\bar{h}}{\bar{M}^2} = \frac{1}{12}\left(\frac{\ell}{\rho}\right)^2\frac{\bar{h}}{\bar{M}}; \quad (44)$$

$$\bar{M} = 1 - \frac{2}{\psi} + \frac{2}{\psi^3} + 3\bar{h}\left(\frac{1}{\psi^3} - \frac{6}{\psi^4}\right); \quad (45)$$

$$\bar{h} = 1 + \frac{4}{\psi} + \frac{6}{\psi^2} + 12\,\frac{\psi+1}{\psi^4}\,\eta\,; \qquad (46)$$

$$\psi = \beta\ell = \beta\rho\,\frac{\ell}{\rho}\,; \qquad (47)$$

$$\eta = \frac{K}{\rho\beta}\,tg\alpha_0 = \frac{P}{D_1}\,\frac{K_0 D_1^2}{\rho\beta\rho}\,\sqrt{\frac{y_0}{D_1}}\,tg\alpha_0\,; \qquad (48)$$

$$\beta\rho = \sqrt[4]{\frac{K\rho^4}{4EJ}} = \sqrt{\frac{1}{4}\,\frac{\rho\rho^3}{EJ}\,\frac{K_0 D_1^2}{\rho}\,\frac{P}{D_1}\sqrt{\frac{y_0}{D}}}\,, \qquad (49)$$

где K_0 – коэффициент поперечного сопротивления грунта, кгс/см³;

D_1 – наружный диаметр трубопровода с балластом, см;

α_0 – угол взаимного поворота опорных сечений трубопровода, рад.

В частном случае при $\alpha = 0$ $\eta = 0$ расчетные параметры определяют из выражений:

$$\frac{h}{D_1} = \left[0{,}283\sqrt[3]{\frac{P}{K_0 D_1^2}}\cdot h_1(\psi)\right]^2; \qquad (50)$$

$$h_1(\psi) = \psi\sqrt[3]{\psi^2 + 4\psi + 6}\,; \qquad (51)$$

$$\frac{\ell}{\rho} = \sqrt{6\,\frac{EJ}{\rho\rho^3}}\,\ell(\psi); \qquad (52)$$

$$\ell_1(\psi) = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\psi}{3} + \frac{\psi^2}{30}}},$$

где ψ определяют по графику функции $F(\psi)$(рис.5 приложения 2)

$$F(\psi) = \frac{\psi^2 - 2\psi + \frac{2}{\psi}}{\sqrt[6]{\psi^2 + 4\psi + 5}} = 2{,}5\sqrt{\frac{EJ}{\rho\rho^3}\,\frac{\rho}{D_1}}\,\sqrt[3]{\frac{K_0 D_1^2}{\rho}}\,. \qquad (53)$$

Значения функции $h_1(\psi)$ определяют по графику рис.5 приложения 2.

При $\alpha \neq 0$ расчет выполняют последовательным приближениями:

при известных значениях параметров, входящих в правую часть выражения (53), по графику рис.5 приложения 2 определяют значение ψ_1 в первом приближении (при $\alpha = 0, \eta = 0$) и соответствующее ему значение η_1 из выражения (54):

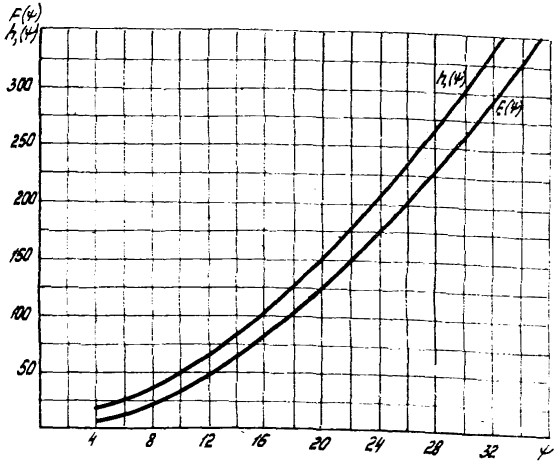


Рис.5. Графики $F_{(\psi)}, h_{1(\psi)}$

$$\eta_1 = 1{,}07\sqrt[4]{\frac{EJ\,D_1 K_0^2}{p^3}}\;\bar{\eta}\,tg\alpha; \qquad (54)$$

$$\bar{\eta} = \sqrt[4]{\psi^2 + 4\psi + 6} = \sqrt{\psi + 2}\;; \qquad (55)$$

определяют параметр $R_{(\psi,\eta)}$ из выражения

$$R_{(\psi,\eta)} = \frac{\psi^2 M}{\eta^{2/3}} = 2{,}38\sqrt[3]{\frac{EJ}{p}\,\frac{1}{p^3}\,\frac{1}{tg^2\alpha}}. \qquad (56)$$

По табл.4 приложения 2 при полученном ранее значении η_1 определяют уточненное значение ψ_2. Если расхождение значений $\frac{\psi_2 - \psi_1}{\psi_2} \leq 0{,}05$, то дальнейшего уточнения не требуется.

Далее определяют параметр βp из выражения

$$\beta p = \sqrt[3]{\frac{\eta}{tg\alpha}\,\frac{p p^3}{4EJ}}. \qquad (57)$$

Таблица 4

Значения параметра $R(\psi,\gamma)$ для различных ψ

γ \ ψ	8	I0	I2	I4	I6	I8	20	22	24	26	28
-I00	0,86	2,58	4,43	6,95	9,77	I2,07	I6,I2	I9,89	24,03	28,53	33,4
-I50	0,I3	I,52	2,94	4,96	7,I5	9,42	I2,05	I4,94	I8,I	2I,56	25,29
-200		0,90	2,07	3,84	5,67	7,57	9,76	I2,I7	I4,8I	I7,67	20,77
-250		0,46	I,47	3,07	4,67	6,33	8,23	I0,33	I2,6I	I5,08	I7,75
-300		0,I3	I,02	2,5I	3,96	5,44	7,I4	9,0I	II,04	I3,24	I5,62
-350			0,66	2,03	3,33	4,66	6,I8	7,83	9,64	II,59	I3,69
-400			0,39	I,72	2,95	4,2I	5,64	7,20	8,89	I0,72	I2,70
-450			0,I5	I,43	3,59	3,76	5,09	6,54	8,II	9,8I	II,64
-500				I,I9	2,27	3,39	4,63	5,99	7,47	9,06	I0,76
-600				0,79	I,79	2,79	3,92	5,I4	6,46	7,89	9,4I
-700				0,48	I,40	2,33	3,36	4,49	5,69	6,99	8,37
-800				0,22	I,09	I,96	2,93	3,95	5,06	6,25	7,53
-900					0,83	I,65	2,56	3,52	4,55	5,66	6,85
-I000					0,6I	I,38	2,24	3,I5	4,I3	5,I7	6,28
-I500						0,49	I,I9	I,93	2,7I	3,54	4,4I
-2000							0,55	I,26	I,88	2,59	3,33
-2500							0,II	0,69	I,30	I,93	2,59
-3000								0,3I	0,88	I,46	2,09
I00	3,6I	4,88	6,58	8,68	II,I9	I4,09	I7,38	2I,04	25,09	29,52	34,32
200	3,I5	3,80	4,74	6,0I	7,53	9,32	II,35	I3,63	I6,I6	I8,92	2I,93
300	3,07	3,40	4,08	4,99	6,II	7,44	8,96	I0,68	I2,58	I4,67	I6,95
400	3,07	3,30	3,75	4,46	5,34	6,4I	7,64	9,03	I0,59	I2,30	I4,I7
500		3,I8	3,56	4,I2	4,86	5,75	6,79	7,97	9,29	I0,75	I2,34
I000			3,33	3,47		4,36		5,64		7,3I	
2000				3,32		3,68		4,34		5,28	
3000						3,52		3,90		4,54	

Определяют $\frac{\ell}{\rho} = \frac{\psi}{\beta\rho}$ и соответствующее ℓ.
Находят

$$\frac{h}{\rho} = \frac{1}{72}\,\frac{\rho\rho^3}{EJ}\left(\frac{\ell}{\rho}\right)^4 \bar{h}, \qquad (58)$$

где $\bar{h}$ определяют из выражения (46).

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

I. Определить допустимую высоту забоя траншеи при заглублении трубопровода I020х20 мм с отрицательной плавучестью ρ_1 = =I,50 кгс/см и допустимыми напряжениями σ = 2300 кгс/см^2, J = 7,85.I0^5 см^4. Определить соответствующую длину пролета.
Определяем допустимый радиус изгиба и параметр $\frac{EJ}{\rho\rho^3}$

$$\rho\,\frac{E\delta}{2\sigma} = \frac{2{,}I \cdot I0^6 \cdot I02}{2 \cdot 2300} = 466 \text{ м};$$

$$\frac{EJ}{\rho\rho^3} = 0{,}0II09.$$

По формулам (40) и (4I) находим:

$$\frac{h}{\rho} = 0{,}0II66; \qquad h = 5{,}4 \text{ м};$$

$$\frac{\ell}{\rho} = 0{,}285; \qquad \ell = I33 \text{ м}.$$

2. Определить те же параметры при коэффициенте постели K_0 = I кгс/см^3, если диаметр трубопровода с балластным покрытием D_1 = I20 см.
Определяем $F_{(\psi)} = 2{,}5\sqrt{0{,}0II09}\sqrt{\frac{466}{I{,}2}}\sqrt[3]{\frac{I\cdot(I20)^2}{I{,}5}} = II$

По графику рис.5 приложения 2 находим ψ = I8,4, $h_{(\psi)}$ =I35.

По формулам (50)–(52) находим

$$\frac{h}{D_1} = \left[0{,}283\sqrt[3]{\frac{I{,}5}{I\cdot(I20)^2}}\,I35\right]^2 = 3{,}23; \qquad h = 3{,}9 \text{ м}$$

$$\frac{\ell}{\rho} = \sqrt{6 \cdot 0{,}0II09} \cdot I{,}06 = 0{,}27I; \qquad \ell = I26 \text{ м}.$$

3. Определить те же параметры при углах поворота опорных сечений $\alpha = +2^0$ и -2^0, $tg\alpha = \pm 0{,}0349$.

По формуле (54) находим:

$$\eta_1 = 1{,}07 \sqrt[4]{\frac{2{,}1 \cdot 10^6 \cdot 7{,}85 \cdot 10^5 \cdot 120 \cdot 1}{1{,}5^8}} \cdot 4{,}52 \cdot 0{,}0349 = \pm 467.$$

Определяем значение $R_{(\psi,\eta)}$ из выражения (56):

$$R_{(\psi,\eta)} = 2{,}38 \sqrt[3]{0{,}0109 \cdot \frac{1}{(0{,}0349)^2}} = 4{,}95.$$

По табл.4 приложения 2 находим:

при $\eta = 500$ $\psi = 16{,}3$; при $\eta = 400$ $\psi = 15{,}3$.

Экстраполяцией находим при $\eta_1 = 467$ $\psi_1 = 16$;

при $\eta = -500$ $\psi = 200{,}5$; при $\eta = -450$ $\psi_1 = 19{,}9$.

Экстраполяцией находим при $\eta_1 = -467$ $\psi_1 = 20{,}1$.

Уточняем значение η_2 и ψ_2 при $R(\psi,\eta) = 4{,}95$

при $\alpha = +2$ $\eta_2 = 438$, $\psi_2 = 15{,}7$;

при $\alpha = -2$ $\eta_2 = -485$, $\psi_2 = 20{,}3$.

Дальнейшего уточнения не требуется.

Определяем параметр $\beta\rho$ из выражения (57)

при $\alpha = 2^0$

$$\beta\rho = \sqrt[3]{\frac{438}{0{,}0349} \cdot \frac{1}{4 \cdot 0{,}0109}} = 66;$$

при $\alpha = -2^0$

$$\beta\rho = \sqrt[3]{\frac{485}{0{,}0349} \cdot \frac{1}{4 \cdot 0{,}0109}} = 68{,}3.$$

Определяем $\frac{\ell}{\rho} = \frac{\psi}{\beta\rho}$

при $\alpha = 2^0$ $\frac{\ell}{\rho} = \frac{15{,}7}{66} = 0{,}238$, $\ell = 111$ м;

при $\alpha = -2^0$ $\frac{\ell}{\rho} = \frac{20{,}3}{68{,}3} = 0{,}297$, $\ell = 139$ м.

По формуле (46) находим $\bar{h}$

при $\alpha = 2^0$ $\bar{h} = 2{,}72$; при $\alpha = -2$ $\bar{h} = 0{,}482$;

соответствующие значения:

при $\alpha = 2^0$ $\frac{h}{\rho} = \frac{1}{72} \cdot \frac{1}{0{,}0109} \cdot (0{,}238)^4 \cdot 2{,}72 = 0{,}011$;

при $\alpha = -2^0$ $\frac{h}{\rho} = \frac{1}{72} \cdot \frac{1}{0{,}0109} \cdot (0{,}297)^4 \cdot 1{,}95 = 0{,}0047$.

Допустимый перепад отметок в верхнем и нижнем опорных сечениях h = 5,18 м при α = 2^0;
h = 2,2 м при α = -2^0.

Приложение 3

ПРИМЕР РАСЧЕТА ГРУППОВОЙ РАССТАНОВКИ ПОНТОНОВ ПРИ УКЛАДКЕ ТРУБОПРОВОДОВ СПОСОБОМ ПРОТАСКИВАНИЯ

Определить длину, максимальную высоту и напряжения в пролете трубопровода 1220х20 мм на участке отрыва его от дна при сосредоточенном закреплении понтонов грузоподъемностью 10 т группами по 3 понтона. Отрицательная плавучесть трубопровода без понтонов – 270 кгс/м, с понтонами – 150 кгс/м.

Длину пролета определяем по формуле (4):

$$L = \frac{3 \cdot 30000}{2 \cdot 270} = 167 \text{ м.}$$

Наибольшую высоту подъема от дна определяем по формуле(5):

$$Z = \frac{2,7\ (83 \cdot 10^2)^4}{72 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 1,36 \cdot 10^6} = 62 \text{ см,}$$

а максимальные напряжения в месте закрепления понтонов – по формуле (6):

$$\sigma = 257 \sqrt{\frac{270}{592} \cdot 62} = 1367 \text{ кгс/см}^2.$$

Расстояние между группами понтонов находим из выражения (7):

$$\ell_{понт} = \frac{30000}{270 - 150} = 250 \text{ м.}$$

Относительная величина поверхности соприкосновения трубопровода с грунтом:

$$K = 1 - \frac{167}{250} = 0,33.$$

Усилие сцепления трубопровода с грунтом уменьшается обратно пропорционально величине К, т.е. в 3 раза.

СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПОДВОДНОГО ТРУБОПРОВОДА ПРИ УКЛАДКЕ СВОБОДНЫМ ПОГРУЖЕНИЕМ

В настоящем приложении излагаются основные положения методики статического расчета подводного трубопровода, укладываемого путем залива воды в полость. В приложении I3 приводится программа на языке Фортран, позволяющая определять форму упругой линии, изгибающие моменты, напряжения и усилия в сечениях трубопровода в зависимости от его параметров, плавучести и натяжения, а также методика определения оптимального режима укладки.

При погружении балластированного трубопровода заливом в него воды с учетом наличия разгружающих понтонов и натяжения на трубу в ее провисающей части, когда трубопровод принимает форму S -образной кривой, действуют следующие силы:

m_1 – собственный вес трубы, равномерно распределенный по ее длине;

$Q_в$ – выталкивающая сила воды;

N_0 – сила натяжения, приложенная к трубопроводу;

$R_п$ – распределенная реакция упругого основания, действующая на лежащий на дне участок погруженного трубопровода;

B – выталкивающая сила понтонов, которая выбирается из условия $B = KPS$,

где

K – некоторый коэффициент ($K > 1$), учитывающий запас плавучести;

P – подводный вес балластированного трубопровода (на единицу длины);

S – расстояние между понтонами.

В залитой части трубы учитывается также вес воды, находящейся внутри нее.

Изгиб трубопровода сопровождается большими угловыми перемещениями. Угол наклона касательной к изогнутой оси трубы (θ), отсчитываемый от горизонтальной оси по часовой стрелке, меняется от 0 (на поверхности водоема) до $\frac{\pi}{2}$ (в провисающей части). В точке касания с дном угол θ равен углу наклона дна водоема φ.

В качестве математической модели, описывающей упругий изгиб трубопровода, принята модель длинной непрерывной балки трубчатого сечения на двух опорах (рис.6 приложения 4), под-

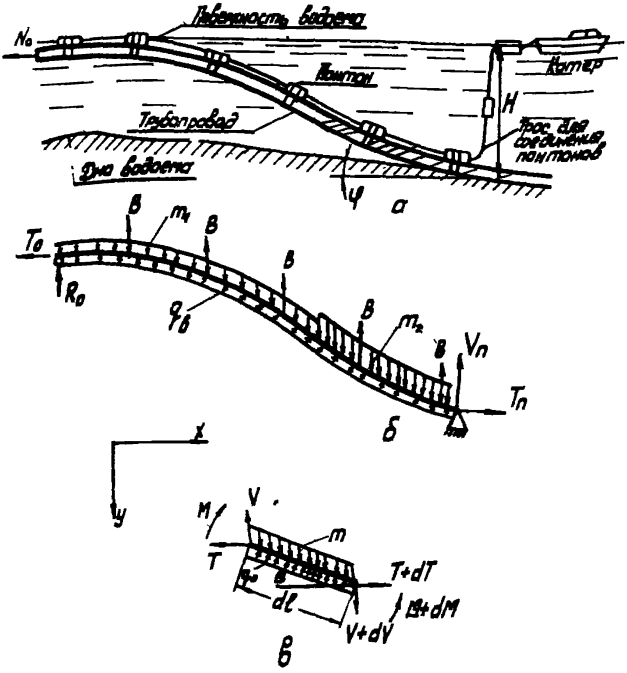


Рис.6. Расчетная схема трубопровода при укладке способом свободного погружения:

а–положение трубопровода; б–распределение усилий на провисающем участке; в–распределение усилий в элементе трубопровода $d\ell$

вергающейся одновременному действию продольной силы N_0, равномерно распределенных поперечных нагрузок m_1 и m_2, отвечающих собственному весу трубы без воды и с водой, а также сосредоточенных сил B. Кроме того, по всей длине действует выталкивающая сила $q_в$, которая через силу Архимеда q выражается зависимостью

$$q_в = q \cos\theta. \qquad (59)$$

Точка касания с дном представляется шарнирно-неподвижной опорой, последний неутопленный понтон подвижным шарниром. Под действием приложенных нагрузок в шарнирно-неподвижной опоре возникает реакция, показанная на рис.6 приложения 4 ее составляющими T_n и V_n.

Форму упругой линии трубопровода в провисающей части определяют по следующим дифференциальным уравнениям:

$$\frac{dT}{dl} + \frac{q}{2} \sin 2\theta = 0; \qquad (60)$$

$$\frac{dV}{dl} + m - q\cos^2\theta = Q; \qquad (61)$$

$$\frac{dM}{dl} + T\sin\theta - \left(V - \frac{m-q}{2}dl\right)\cos\theta = 0; \qquad (62)$$

$$\frac{d\theta}{dl} = -\frac{M}{EJ}; \qquad (63)$$

$$\frac{dx}{dl} = \cos\theta; \qquad (64)$$

$$\frac{dy}{dl} = \sin\theta, \qquad (65)$$

где T и V – горизонтальная и вертикальная составляющие сил, действующих в сечении;

M – изгибающий момент;

q – сила Архимеда на единицу длины $q = \gamma_в \frac{\pi D^2}{4}$;

$\gamma_в$ – удельный вес воды;

D – диаметр трубопровода с учетом утяжелящего бетонного слоя.

Система дифференциальных уравнений (60)-(65) должна удовлетворять граничным условиям в точке опирания на последний неутопленный понтон (в точке 0) и в точке касания с дном (точке n). Однако сама область не определена и положение точки n неизвестно. Поставленная задача формулируется как задача Коши для системы нелинейных уравнений (60)-(65) при начальных условиях в точке 0 ($l = 0$):

$$\left.\begin{aligned} x_0 &= 0; \\ y_0 &= 0; \\ \theta_0 &= 0; \\ T_0 &= N_0. \end{aligned}\right\} \tag{66}$$

На нижнем конце трубопровода в точке n граничными условиями являются:

$$\left.\begin{aligned} \theta_n &= \varphi; \\ M_n &= 0. \end{aligned}\right\} \tag{67}$$

Считаем, что на больших глубинах упругость основания не влияет на величину реакции дна.

Неизвестными на верхней опоре являются поперечная сила V_0 и момент M_0. Решаем задачу следующим образом.

Считаем, что для понтона в его предельном состоянии (перед потоплением) действительна следующая формула:

$$V_0 = \beta - \frac{\rho S}{2}. \tag{68}$$

Определяя момент на верхней опоре по формуле

$$M_0 = \varkappa [M] \quad (0 \leq \varkappa \leq 1), \tag{69}$$

решаем задачу Коши при начальных условиях (66), (68), (69). Здесь значения $[M]$ определяют исходя из условия, чтобы максимальные напряжения в сечениях трубопровода не превышали допускаемых:

$$[M] \leq W\left([\sigma] - \frac{N}{\Omega}\right), \tag{70}$$

где $[\sigma]$ – допустимое напряжение.

Поскольку обетонирование трубы незначительно увеличивает ее жесткость, при определении площади поперечного сечения Ω, момента сопротивления W и момента инерции J в расчет принимаются параметры, характеризующие металлическую трубу.

Задача Коши решается для ряда значений момента M_0, определяемого формулой (69). То решение, которое удовлетворяет с заданной точностью граничным условиям в точке n $\theta_n = \varphi$, $M_n = 0$, и будет решением поставленной задачи об изгибе трубопровода.

Интегрирование уравнений (60)–65) при начальных условиях (66), (68), (69) выполняется методом конечных разностей по следующим рекуррентным формулам для узлов сетки $\ell_i = ih$ ($i = 1,2,\ldots,n$), где h – шаг сетки:

$$\theta_{i+1} = \theta_{i-1} - \frac{2h}{EJ} M_i ; \qquad (71)$$

$$T_{i+1} = T_i - \frac{qh}{2} \sin 2\theta_{i+1} ; \qquad (72)$$

$$V_{i+1} = V_i - h (m - q \cos^2 \theta_{i+1}) ; \qquad (73)$$

$$M_{i+1} = M_i + h \left\{ \left[V_i - \frac{(m-q)h}{2} \right] \cos\theta_{i+1} - T_i \sin\theta_{i+1} \right\} ; \qquad (74)$$

$$x_{i+1} = x_i + h \cos\theta_{i+1} ; \qquad (75)$$

$$y_{i+1} = y_i + h \sin\theta_{i+1} . \qquad (76)$$

Путь решения разностной задачи следующий: вычислив по формуле (68) V_0 и задавшись по формуле (69) значением M_0, выполняем процесс (71)–(76) до тех пор, пока не будет удовлетворено граничное условие в нижней точке для угла θ .

При этом задается также положение уровня залива воды в трубопроводе (оно может задаваться как глубиной залива и сравниваться с координатой y , т.е. в виде коэффициента $C = \frac{h_3}{y}$, так и в виде координаты по переменной $\ell(\ell_3)$, т.е. $C = \frac{\ell_3}{\ell}$. Соответственно в формулах (71)–(76) подставляется значение m_1 либо m_2 . Следует иметь в виду, что при достижении узлов сетки, совпадающих с понтонами, сила V пересчитывается с учетом грузоподъемности понтона B.

После этого проверяется второе граничное условие ($M_n = 0$). Если оно не выполнено, меняется $\varkappa$ и решается задача при другом граничном условии M_0 . При некотором значении M_0 удовлетворяются оба граничных условия в точке n, что свидетельствует о решении задачи.

Напряжения в любой точке i не должны превышать допустимые, т.е. должно соблюдаться условие

$$\sigma_i = \frac{N_i}{\Omega} \pm \frac{M_i}{W} \leq [\sigma] , \qquad (77)$$

где $N_i = T_i \cos\theta_i + V_i \sin\theta_i$, (78)

Программа SPT позволяет находить форму упругой линии, изгибающие моменты, напряжения и усилия в сечениях трубы в зависимости от натяжения и параметров трубопровода.

ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

Исходные данные

GP – грузоподъемность понтонов, кг;
FI – угол наклона дна, рад;
$TETA(1)$ – начальный угол наклона трубопровода, рад;
$X(1), Y(1)$ – начало декартовой системы координат, м;
УН – предполагаемая глубина укладки, м;
Е – модуль упругости материала трубы, кгс/м^2;
ЕР – точность удовлетворения граничного условия для момента в точке касания дна;
RU – начальное натяжение N_0 , кгс;
RO – плотность воды ρ , кг/м^3;
HP – расстояние между понтонами, м;
HL – шаг сетки h разностной схемы при решении задачи Коши МКР, м;
DS – допустимое напряжение $[\sigma]$, кгс/м^2;
PI – число π ;
$D1$ – внешний диаметр трубы, м;
$D2$ – внутренний диаметр трубы, м;
$D3$ – внешний диаметр трубы с учетом обетонирования, м;
BM – отрицательная плавучесть трубопровода, кгс/м.

Информация, выводимая на печать

Исходные данные

$D1, D2, D3$ – диаметры d, d_1 и D;
P – отрицательная плавучесть p ;
EJ – изгибная жесткость EJ ;
B – грузоподъемность понтонов B ;
S – пролет между понтонами s ;
HW – уровень залива воды h_z ;
FI – угол наклона дна φ ;

Начальные условия

ТЕТА – угол наклона θ_0 ;

X, Y – координаты x , y

T – горизонтальная составляющая T_0 ;

V – вертикальная составляющая V_0 ;

M – изгибающий момент M_0 ;

САРРА – коэффициент $\varkappa$;

Решение

"УЗЕЛ" – номер узла i ;

X – абсцисса x_i ;

Y – ордината y_i ;

T – горизонтальная составляющая усилия T_i ;

V – вертикальная составляющая усилия V_i ;

N – продольное усилие N_i ;

Q – перерезывающая сила Q_i ;

M – изгибающий момент M_i ;

$SIGMA$ – нормальное напряжение σ_i .

Примечания: I. Уровень залива воды определяется в подпрограмме *SUBROUTINE FS* (величина *YZ*) следующим образом:

$$YZ = C\ YH.$$

2. При значении $\theta_i \leq TD$ шаг разностной схемы h уменьшается в *CDR* раз. Величина *TD* вычисляется внутри подпрограммы *SUBROUTINE FS* по формуле *TD=CDT*1,7453E-2* (если *CDT* = I, то *TD* = 0,I°, *CDT* = 2, то *TD* =0,2° и т.д.)

3. Значения величин *C, CDR* и *CDT* задаются в подпрограмме *SUBROUTINE FS*.

ПРИМЕР РАСЧЕТА

Определить возможную глубину укладки и выполнить статический расчет трубопровода.

Исходные данные

d = I,02 м; B = 5000 кг;

d_1 = 0,98 м, S = 28 м;

D = I,20 м; P = I50 кгс/м;

m_1 = I280,4 кгс/м; N_0 = 50000 кгс;

$m_2 = 2034{,}0$ кгс/м; $\varphi = 0$;
$E = 2{,}1 \cdot 10^{10}$ кгс/м^2; $M_п = 0$;
$[\sigma] = 3 \cdot 10^7$ кгс/м^2; $h = 2$ м;
$C = 0{,}8$.

Точность решения
$\theta_п = \pm 0{,}5^0$
$M_п = \pm 0{,}005$ [м].

Решением задачи получены: конфигурация упругого изгиба трубопровода, эпюры напряжений, изгибающих моментов и усилий в трубопроводе. На рис.7 приложения 4 представлены конфигурация упругого изгиба и эпюра напряжений в трубопроводе, скачки напряжений соответствуют местам крепления понтонов. Максимальное напряжение на верхнем участке упругого изгиба $\sigma_{max.в} = 0{,}91 \cdot 10^7$ кгс/м^2, на нижнем участке $\sigma_{max.н} = 2{,}3 \cdot 10^7$ кгс/м^2, т.е. меньше допустимого при глубине укладки H = 33 м.



Рис.7. Конфигурация трубопровода и эпюра напряжений (σ) при укладке свободным погружением

Для определения предельно допустимой глубины укладки необходимо произвести ее расчет для ряда значений C, соответствующих различным уровням залива воды в трубопроводе и определяющих при всех остальных заданных параметрах глубину его

укладки. По результатам расчетов строятся графики зависимости $\sigma_{max\,н} = f(H)$. Предельно допустимая глубина укладки соответствует значению $\sigma_{max\,н} = [\sigma]$. На рис.8 приложения 4 представлены графики зависимости $\sigma_{max\,н} = f(H)$ для различных значений натяжения N_0 и расстояния между понтонами S : I – N_0 = 50 тс, S = 20 м; 2 – N_0 = 50 тс, S = 24 м; 3 – N_0 = 0, S = 28 м; 4 – N_0 = 25 тс, S = 28 м; 5 – N_0 = 50 тс, S = 28 м; 6 – N_0 = 75 тс, S = 28 м; 7 – N_0 = 100 тс, S = 28 м.

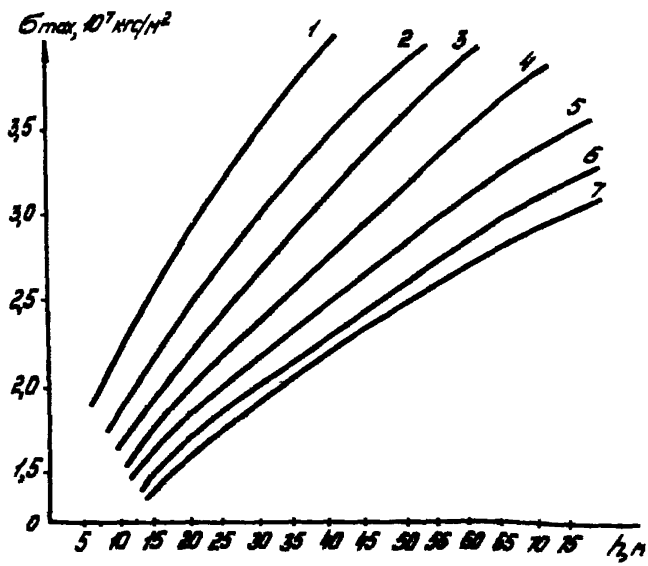


Рис.8. Графики зависимости максимальных напряжений в нижней части упругого изгиба трубопровода от глубины укладки при различных значениях запаса плавучести $P_{п}$ (кгс/м) и усилия натяжения N (тс):

I– $P_{п}$ = 100, N = 50; 2– $P_{п}$ = 58, N = 50; 3– $P_{п}$ =29, N = 0; 4 – $P_{п}$ = 29, N = 25; 5 – $P_{п}$ = 29, N = 50; 6– $P_{п}$ = 29, N = 75; 7 – $P_{п}$ = 29, N = 100

Пользуясь такими графиками, можно определить величины натяжения и плавучести трубопровода, необходимые для его укладки на различные глубины водоема.

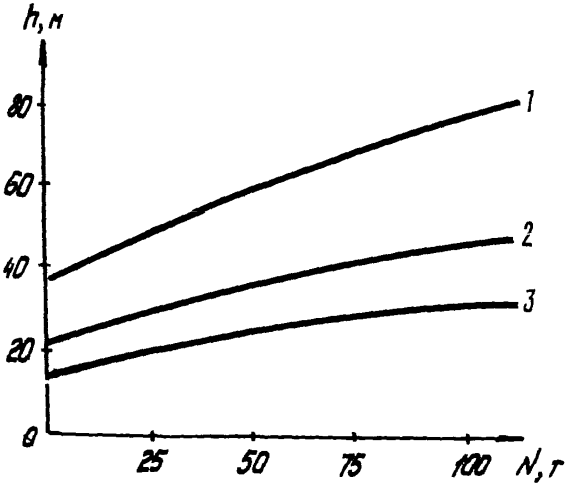


Рис.9. Графики зависимости $h = f(N)$ при различном запасе плавучести плети $P_п$ (кгс/м):
I – 29; 2 – 58; 3 – I00

На рис.9 представлены графики зависимости допустимой глубины укладки H от натяжения N_0 при $[\sigma] = 3 \cdot 10^7$ кгс/м^2 для различных значений избыточной плавучести плети $P_{изб}$: I – $P_{изб} = 28{,}6$ кгс/м ($S = 28$ м); 2 – $P_{изб} = 58$ кгс/м ($S = 24$ м); 3 – $P_{изб} = I000$ кгс/м ($S = 20$ м). Как видно из графиков рис.9, допустимая глубина укладки обетонированного трубопровода увеличивается с увеличением натяжения и с уменьшением запаса плавучести плети. Оптимальный режим укладки трубопровода можно обеспечить, регулируя величину натяжения в зависимости от глубины дна водоема в соответствии с графиками рис.9

РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УКЛАДКИ ТРУБОПРОВОДА СВОБОДНЫМ ПОГРУЖЕНИЕМ С САМОНАТЯЖЕНИЕМ

Конструктивные параметры упругого элемента определяют, исходя из расчетных величин продольного растягивающего усилия T и продольного перемещения плавающего участка трубопровода δ_c. Величину δ_c определяют из выражения

$$\delta_c = \delta_{II} - \delta_I = \delta_{u_2} - \delta_{u_1} + \delta_p - \delta_T, \qquad (79)$$

где δ_{u_2} – перемещение плавающего конца трубопровода при изгибе по S –образной кривой, соответствующее максимальной глубине погружения трубопровода при расчетной величине продольного усилия T, равное разности длин S –образной кривой и ее горизонтальной проекции;

δ_{u_1} – то же при укладке трубопровода свободным погружением (T = 0) на промежуточную глубину H_1 ;

δ_p – перемещение плавающего конца трубопровода за счет разности длин продольного профиля дна траншеи и ее горизонтальной проекции для участка с глубинами от H_1 до H ;

δ_T – деформация растяжения трубопровода от продольного усилия T.

Величину δ_u вычисляют на ЭВМ в соответствии с методикой и программой, приведенными в приложении 4 .

Величину δ_p определяют на основании проектного продольного профиля дна траншеи, который разбивают на прямолинейные и криволинейные отрезки.

Разницу между длиной наклонного прямолинейного отрезка и его проекцией вычисляют по формуле

$$\Delta_{np_n} = \ell_n \left(\sqrt{1 + i_n^2} - 1 \right), \qquad (80)$$

где ℓ_n – длина горизонтальной проекции отрезка, см;

i_n – его уклон;

n – индекс (порядковый номер) отрезка.

Разницу между длиной криволинейного отрезка и его горизонтальной проекцией вычисляют по приближенной формуле

$$\Delta_{K p_K} = R_K \alpha_K \frac{(\alpha_{1K} + \alpha_{2K})^2}{8}, \qquad (81)$$

где $R_к$ – радиус кривой, м;

$\alpha_к$ – угол поворота кривой, рад;

$\alpha_1 к, \alpha_2 к$ – вертикальные углы в начале и конце кривой, рад.

Общую разницу длин линии продольного профиля дна и ее горизонтальной проекции находят суммированием значений $\Delta пр_к$ и $\Delta кр_к$ по всем отрезкам:

$$\delta_р = \sum_1^N \Delta пр_н + \sum_1^K \Delta кр_к . \qquad (82)$$

Величину упругих деформаций растяжения трубопровода вычисляют по формуле

$$\delta_т = \frac{T}{F} \ell_т , \qquad (83)$$

где T – расчетная величина продольного усилия, кгс;

F – площадь поперечного сечения трубы, $см^2$;

$\ell_т$ – длина растянутого участка трубопровода, см.

При использовании в качестве упругого элемента стального троса его длину $\ell_{тр}$ определяют из условия

$$\frac{T \ell_{тр}}{E_{тр} F_{тр}} \leq K \delta_с , \qquad (84)$$

где T – расчетная величина продольного усилия натяжения трубопровода при максимальной глубине укладки, кгс;

$\delta_с$ – максимальное значение величины продольного перемещения конца трубопровода, см;

$E_{тр}$ – модуль упругости каната, $кгс/см^2$;

$F_{тр}$ – площадь поперечного сечения всех проволок каната, $см^2$;

K – понижающий коэффициент, учитывающий возможные отклонения фактических деформаций троса от расчетных в большую сторону ($K = 0,8$).

Разрывное усилие троса $T_р$ должно существенно превышать натяжение T с учетом того, что фактические деформации троса могут оказаться меньше расчетных и, следовательно, перемещению $\delta_с$ будет соответствовать продольное усилие $T_1 > T$.

Для более точного определения относительной деформации и расчетной длины троса рекомендуется провести его испытания при условиях, близких к расчетному значению T.

ПРИМЕР РАСЧЕТА

Определить технологические параметры укладки трубопровода 1020х16 мм на глубину 35 м погружением заливом воды с самонатяжением трубопровода в процессе погружения. Подобрать трос, необходимый для создания требуемого усилия натяжения. Отрицательная плавучесть трубопровода P = 328 кгс/м. Допустимые напряжения при укладке σ = 3100 кгс/см^2. Расчет выполняем на ЭВМ. При заданном уровне максимальных напряжений определяем допустимую глубину укладки трубопровода свободным погружением (при отсутствии натяжения) – H_1 и соответствующее перемещение плавающего конца трубопровода:

$$H_1 = 18 \text{ м}, \quad \delta_{u1} = 1{,}82 \text{ м}.$$

Определяем усилие натяжения T, которое необходимо создать для укладки трубопровода на глубину H = 35 м при том же уровне натяжений, и соответствующее перемещение конца трубопровода:

$$T = 90 \text{ тс}, \quad \delta_{u2} = 2{,}65 \text{ м}.$$

По формулам (80)–(82) определяем расчетное значение δ_p на участке продольного профиля дна с глубинами от 18 до 35 м. Участок, длиной 1100 м состоит из пяти криволинейных отрезков с радиусом R = 4000 м и углами поворота α = 1,3–2,8° и четырех прямолинейных отрезков с уклонами 0,0097–0,0481. Расчетное значение δ_p = 0,47 м. По формуле (83) определяем деформацию растяжения трубопровода δ_T = 0,17 м при расчетном усилии T = 90 тс и длине растянутого участка $\mathscr{L}$ = 2000 м.

Определяем расчетную величину перемещения трубопровода на втором этапе укладки (при погружении на глубинах от 18 до 35 м): $\delta_c = 2{,}65 - 1{,}82 + 0{,}47 - 0{,}17 = 1{,}13$ м.

В качестве упруго-деформируемого элемента принимаем трос диаметром 42 мм, пропущенный через блок. Характеристика троса: F_K = 6,84 см^2, $E_K = 0{,}8 \cdot 10^6$ кг/см^2, T_p = 89,6 тс. При расчетных значениях усилия в каждой ветви троса $T = \frac{90}{2} = 45$ тс и деформаций δ_c = 1,13 м определяем расчетную длину одной ветви троса из выражения (84):

$$\ell_K = \frac{0{,}8 \cdot 113 \cdot 0{,}8 \cdot 10^6 \cdot 6{,}84}{45000} = 110 \cdot 10^2 \text{ см}.$$

Укладку трубопровода выполняем в два этапа: до глубины 18м – свободным погружением, на глубинах от 18 до 35 м – погружением с предварительным закреплением троса к береговой мертвяковой опоре.

Приложение 6

РАСЧЕТ БУКСИРОВОЧНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЛЕТЕЙ ТРУБОПРОВОДА

I. Полное гидродинамическое сопротивление воды движению буксируемых плетей трубопровода в отсутствии волнения определяется по формуле

$$R = C_{тр} S_{см} \frac{\rho}{2} V^2 + C_{ост} S_{тр} \frac{\rho}{2} V^2 + C_{п} S_{п} K_{п} \bar{K} K_{ф} \frac{\rho}{2} V^2, \qquad (85)$$

где R – полное сопротивление плетей, кгс;

ρ – плотность жидкости (ρ = 102 кгс^2/м^4);

V – скорость движения плетей с учетом течения, м/с; при встречном течении $V = V_б + V_т$, при попутном течении $V = V_б - V_т$, где $V_б$ – скорость буксировки относительно берега; $V_т$ – скорость течения;

$C_{тр} = \frac{0{,}455}{(\lg Re)^{2{,}58}} + \Delta C_{тр}$ – коэффициент трения плети, где $Re = \frac{VL}{\nu}$ – число Рейнольдса; L – длина плети, м; ν – коэффициент кинематической вязкости, м^2.с; $\Delta C_{тр}$ – надбавка на шероховатость поверхности плети; для коротких плетей $C_{тр}$ рекомендуется принимать: для гладких трубопроводов без бетонного или других шероховатых покрытий $C_{тр} = 2{,}0 \times 10^{-3}$; для плетей с бетонным покрытием $C_{тр} = 3{,}0 \times 10^{-3}$; для футерованных плетей $C_{тр} = 4{,}0 \times 10^{-3}$;

$S_{см} = S_{из} \cdot n$ – смоченная поверхность плетей с учетом понтонов, м^2;

$S_{из}$ – смоченная поверхность изолированной плети, м^2;

n – количество буксируемых плетей в плоту;

$C_{ост}$ – коэффициент остаточного сопротивления плети трубопровода, определяемый в зависимости от мощности буксира и длины тягового троса $\ell_{тр}$; для буксира мощностью 300 л.с. (при полных оборотах движителя) $C_{ост} = 1{,}6$ при $\ell_{тр}$ = 50 м; $C_{ост} = 1{,}4$ при $\ell_{тр}$ = 100 м; $C_{ост} = 1{,}3$ при $\ell_{тр} \geq 150$ м; для буксира мощностью 150 л.с. $C_{ост} = 1{,}4$ при $\ell_{тр}$ = 50 м; $C_{ост} = 1{,}3$ при $\ell_{тр} \geq 100$ м;

$S_{тр} = S_{из}^{тр} \cdot n$ – суммарная площадь погруженных в воду поперечных сечений трубопроводов, м^2;

$S_{из}^{тр}$ – площадь погруженного в воду поперечного сечения отдельной плети, м^2;

$C_п = 0{,}32$ – коэффициент остаточного сопротивления понтонов;

$S_п = S_{пон} \cdot m$ – суммарная площадь погруженных в воду поперечных сечений понтонов, м^2;

$S_{пон}$ – площадь погруженного в воду поперечного сечения отдельного понтона, м²;

m – число понтонов на плетях;

$K_п$ – коэффициент, учитывающий влияние на сопротивление числа понтонов на плети; при значении $5 \leq m < 30$ определяется по формуле $K_п = \frac{3I}{\sqrt[3]{m}}$; при значении $m < 5$ – $K_п = \frac{3I}{\sqrt[3]{m}} + \frac{I}{m}\left(I - \frac{y}{30}\right)$; при значении $m > 30$ – $K_п = I$;

$\bar{K}$ – поправочный коэффициент на нестандартное расстояние между понтонами (стандартным отношением $\bar{t}_п = t_п / d_п$ принято $\bar{t}_п = 8$, где $t_п$ – расстояние между понтонами; $d_п$ – диаметр понтона), определяемый по формуле:

$$\bar{K} = \frac{\bar{t}_п}{\bar{t}+8} + \left(0{,}5 - \frac{4}{\bar{t}_п}\right);$$

$K_ф$ – определяется в зависимости от формы понтона [5]; для парных цилиндрических понтонов $K_ф = I{,}0$, для одиночных цилиндрических понтонов $K_ф = 0{,}8$.

Пример расчета буксировочного сопротивления плетей трубопровода.

Плот из 4 футерованных плетей трубопровода длиной 200 м диаметром I,22 м буксируется без понтонов буксиром 300 л.с. на тяговом тросе длиной 50 м со скоростью 2 м/с при встречном течении, скорость которого равна I м/с.

Исходные данные: $\rho = I02$ кгс²/м⁴; $V = 3$ м/с; $C_{тр} = 4 \cdot I0^{-8}$; $S_{см} = S_{из} \cdot n = I280$ м²; $C_{осг} = I{,}6$; $S_{тр} = S_{из}^{тр} \cdot n$; $= I{,}6$ м².

$$R = (4 \cdot I0^{-8} \cdot I280 + I{,}6 \cdot I{,}6)\ \frac{I02}{2} \cdot 3^2 = 3440 \text{ кгс}.$$

На рис.I0 приложения 6 представлены графики зависимости сопротивления воды движению плота из 4 футерованных плетей (параметры плетей указаны выше) от скорости буксировки при различной длине буксирного троса (50 и I50 м). На том же рисунке дана зависимость силы тяги на гаке $F_г$ буксира № 45 проекта I427 мощностью 300 л.с. от скорости его движения при полных оборотах движителя (зависимость $F_г = f(V)$ получена по результатам замеров силы тяги на гаке динамометром). Как видно из рис.I0, сила тяги на гаке буксира № 45 при скорости движения I0,8 км/ч равна I300 кгс, и буксировка плота с такой скоростью невозможна. Максимальная скорость буксировки плота данным буксиром составляет при длине буксирного троса $\ell_{тр} = 50$ м – $V = 7{,}7$ км/ч, при $\ell_{тр} = I50$ м – $V = 8{,}2$ км/ч. Аналогич-

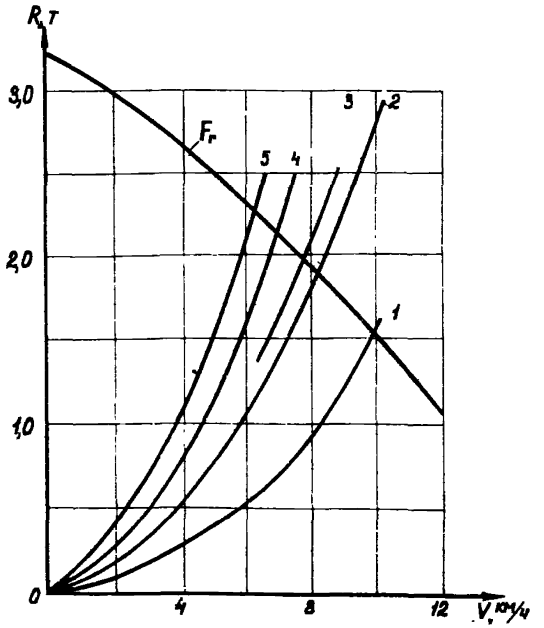


Рис.10.Графики зависимости буксировочного сопротивления плота от скорости буксировки при различном количестве плетей в плоту n и длине буксирного троса $\ell_{тр}$ (м):
1- $n = 2$, $\ell_{тр} = 150$; 2 - $n = 4$, $\ell_{тр} = 150$; 3- $n = 4$, $\ell_{тр} = 50$; 4- $n = 6$, $\ell_{тр} = 150$, 5 - $n = 8$, $\ell_{тр} = 150$

нным образом можно определить максимальную скорость буксировки плота из различного количества плетей, а также допустимое количество буксируемых плетей при заданной минимальной скорости буксировки. Так, например, при скорости движения по реке не менее 5 км/ч и скорости течения 2 км/ч буксир № 45 может буксировать не более 6 плетей при движении против течения (см.рис. 10 приложения 6).

2. При наличии встречного или бокового волнения в процессе буксировки буксировочное сопротивление определяется в соответствии с Рекомендациями [5].

3. При буксировке плети трубопровода непосредственно по грунту к гидродинамическому сопротивлению, вычисляемому по формуле (85), добавляется сопротивление трения $F_{тр}$ трубопровода о грунт, которое вычисляется по формуле

$$F_{тр} = K f Q, \qquad (86)$$

где Q – масса цепей гайдропов или трубопровода в воде;

f – коэффициент трения гайдропов или трубопровода по грунту, определяемый по табл.5;

К=1,5-2,0– коэффициент трогания с места, представляющий собой отношение усилия, необходимого для сдвига неподвижной плети, к усилию для ее равномерного движения (при движении плети К = 1).

Таблица 5

Тип грунта	Коэффициент f	
	Для трубы	Для цепи
Скальные грунты	0,65	0,65
Пески крупные и гравелистые	0,55	0,60
Пески мелкие и супеси	0,45	0,50
Илистые и суглинистые грунты	0,40	0,45
Глина	0,45	0,40

Приложение 7

ЗАТРАТЫ ВРЕМЕНИ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ МОНТАЖА ТРУБОПРОВОДА ДИАМЕТРОМ 1020 ММ НА ТРУБОУКЛАДОЧНОЙ БАРЖЕ

Таблица 6

Наименование работ	Варианты укладки трубопровода					
	I вариант – наращиванием труб длиной 12 м				II вариант – наращиванием секций труб длиной 36 м	
	3 сварочных пункта на 4 поста		2 сварочных пункта на 4 поста		1 сварочный пункт на 4 поста	
	Трубы					
	1020х12	1020х20	1020х12	1020х20	1020х12	1020х20
1	2	3	4	5	6	7
1. Сварка одного неповоротного стыка. Трудоемкость, чел.-ч (по ЕНиР, сборник 22, табл.3, 16)	3,6	6,8	3,6	6,8	3,6	6,8
2. Затраты времени на сварку одного неповоротного стыка при 4 сварщиках на каждом пункте сварки, мин	48	102	48	102	48	102
3. Затраты времени на сварку одного стыка при работе на нескольких пунктах сварки, мин.	16	34	24	51	48	102
4. Потребность времени на стыковку-центровку труб, мин.	5	5	5	5	5	25
5. Потребность времени на перестановку баржи во время укладки трубопровода, мин.	10	10	10	10	20	20
6. Потребность времени на просвечивание сварного стыка, мин.	5	5	5	5	5	5
7. Проявление и сушка пленки, заключение о качестве стыка, мин.	–	–	–	–	25	25

Окончание табл.6

I	2	3	4	5	6	7
8. Потребность времени на очистку, изоляцию и обетонирование стыка, мин.	–	–	–	–	25	25
9. Затраты времени на I цикл работ по сварке стыка, изоляции, обетонированию его и укладке трубопровода	36	54	44	70	I48	205
IO. Количество свариваемых стыков трубопровода за сутки (в 3 смены)	40	26	32,7	20,6	9,7	7
II. Протяженность трубопровода, укладываемого за I сут (производительность баржи), м	480	3I2	392	246	349	250

Приложение 8

БЕЗРАЗМЕРНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УКЛАДКИ ТРУБОПРОВОДА С ТРУБОУКЛАДОЧНОЙ БАРЖИ С ПРЯМОЛИНЕЙНЫМ СТИНГЕРОМ

Таблица 7

φ	$M_{1(\varphi)}$	$h_{1(\varphi)}$	$\theta_{1(\varphi)}$	$Q_{(\varphi)}$	$\psi_{(\varphi)}=2{,}18\ \frac{M_{1(\varphi)}}{\varphi^2}$	$\frac{Q(\varphi)}{\varphi}$
0,3	0,0II27	0,00033	0,0022	0,I489	0,27	0,496
0,6	0,0433	0,0052	0,0I73	0,29I3	0,262	0,485
0,7	0,0583	0,0095	0,0272	0,3364	0,259	0,48
0,8	0,075	0,0I6I	0,040	0,4799	0,255	0,475
0,9	0,0934	0,025	0,056	0,42I9	0,25I	0,469
I,0	0,II32	0,038	0,076	0,4621	0,246	0,462
I,2	0,I565	0,0756	0,I26	0,5370	0,236	0,447
I,4	0,2033	0,I338	0,I9I2	0,6044	0,225	0,432
I,6	0,2522	0,2I76	0,272	0,664C	0,2I4	0,4I5
I,8	0,3022	0,33I	0,367	0,7I63	0,203	0,398
2,0	0,352	0,477	0,477	0,76I6	0,I9I5	0,38I
2,25	0,4I24	0,7II	0,632	0,809	0,I77	0,360
2,5	0,4704	I,0C4	0,803	0,8483	0,I64	0,339
3,0	0,5749	I,765	I,I9	0,9C5I	0,I39	0,302
4,0	0,7542	4,I45	2,07	0,965	0,IC0	0,24I
5,0	0,8339	7,375	3,03	0,983	0,073	0,I97
6,0	0,9007	I2,0	4,0	0,986	0,054	0,I66
7,0	0,9397	I7,5	5,0	0,998	0,054	0,I66
8,0	0,9654	25	6,0	0,999	0,034	0,I42
9,0	0,9778	34	7,0	I,0	0,026	0,I25
I0,0	0,983	40	8,0	I,0	0,0I0	0,I00

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УКЛАДКИ ТРУБОПРОВОДА С ПРЯМОЛИНЕЙНОГО СТИНГЕРА

Пример I. Исходные данные: D = 720 мм, δ = I6 мм, J = 2,I94 · $I0^5$ см [6] = $3,I0^8$ кгс/$см^2$, p = 93,4 кгс/м, ρ = 263 м, H = 55 м, D_1 = 0,84 м, $q_в$ = 554 кгс/м.

Определяем параметры укладки при N_0 = 0.

$\frac{EJ}{p\rho^3}$ = 0,027I, T = 0,554 · 55 = 30,5 т.

По формулам (28), (29), (30)

$\frac{\ell}{\rho}$ = 0,466, $\frac{h}{\rho}$ = 0,0723, $tg\theta$ = 0,3I,

ℓ = I23 м, h = I9 м, θ = I7°, ℓ_{cm} = I23 м.

Определяем параметры укладки трубопровода при угле схода со стингера более I7°: θ = I8 – 22°, EJ = 4,607·$I0^{II}$ кг

Таблица 1

$\theta_{град}$	I8	I9	20	2I	22
h/ρ	0,079	0,089	0,099	0,II	0,I22
h,м	20,8	23,4	26,I	29	32,2
ℓ/ρ	0,487	0,5I6	0,546	0,576	0,606
ℓ,м	I28,I	I35,7	I43,6	I5I,5	I59,4
$\psi_{1(\varphi)}$	0,256	0,229	0,204	0,I84	0,I66
φ	0,8	I,33	I,8	2,I2	2,5
$N_{0,тс}$	I,79	4,4	7,3	9,I	II,3
ℓ_{cm},м	III	97	84,5	73	6I
$Q_{тс}$	5,7	5,6	5,3	5,2	5,05
q, кгс/м	207	222	235	257	285

Пример 2. Исходные данные: D = I220 м, δ = 20 мм, J = I,357·$I0^6$ $см^4$, p = I46 кгс/м, ρ = 490 м, H = 40 м, m = 2223 кг/м, $q_в$ = I985 кгс/м, EJ = 2,85·$I0^{I2}$ кгс.$см^2$.

Определяем параметры укладки при N_0 = 0:

$\frac{EJ}{p\rho^3}$ = 0,0I66, $\frac{\ell}{\rho}$ = 0,364, ℓ = I78 м, $\frac{h}{\rho}$ = 0,044, h = 2I,7 м, $tg\theta$ = 0,243, θ = I3°40, ℓ_{cm} = 77,4 м.

Определяем параметры укладки трубопровода при угле схода со стингера более $13^0 40'$ (θ = 14–18^0) (табл.9 приложения 9).

Таблица 9

Расчетные параметры	Угол схода трубопровода со стингера θ, град.	
	14	16
h, м	22,6	29,8
ℓ, м	181	208
$\ell_{ст}$, м	72	37
φ	0,45	1,8
N_0, тс	1,8	21,3
Q, тс	12,9	12,1
q, кгс/м	527	854

Минимальное усилие натяжения на палубе баржи для предотвращения продольных сжимающих усилий в месте касания трубопроводом дна $^{*}N_0 = 0$ должно составлять:

$$T_0 = q_в H = 79{,}4 \text{ тс.}$$

ПРИМЕРЫ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УКЛАДКИ ТРУБОПРОВОДА С ЖЕСТКОГО КРИВОЛИНЕЙНОГО СТИНГЕРА

Пример 1.

Оценить параметры укладки трубопровода 720 х 16 мм с криволинейного стингера радиусом R = 372 м, если допустимый радиус укладки на нижнем участке ρ = 266 м и предельное растягивающее усилие в месте касания трубопроводом дна равно нулю.

Исходные данные для расчета: $\alpha = 7^0$, $J = 2{,}194 \cdot 10^5$ см^4; $q_в = 554$ кгс/м, $P = 93{,}4$ кгс/м, $a = \frac{EJ}{P\rho^3} = 0{,}0262$, $\frac{R}{\rho} = 0{,}715$, $\bar{\ell} = \frac{\ell}{\rho} = 0{,}5295$; $\ell = 141$ м, $tg\theta = 0{,}281$, $\theta = 15^0 40'$

$\frac{h}{\rho} = 0{,}0908$, $h = 24{,}1$ м;

$\frac{H}{R} = 0{,}095$, $H = 35{,}2$ м,

$\frac{\ell_{ст}}{R} = 0{,}151$, $\ell_{ст} = 56{,}3$ м,

$T = 19{,}5$ т.

Пример 2.

Оценить параметры укладки трубопровода 1020х20 мм с криволинейного стингера радиусом 390 м при допустимых напряжениях $\sigma = 2300$ кгс/см^2 и $N_0 = 0$.

Исходные данные для расчета: $\alpha = 7^0$, $J = 7{,}85 \cdot 10^5$ см^4, $q_в = 1130{,}4$ кгс/м, $P = 150$ кгс/м, $\rho = 466$ м, $\frac{EJ}{P\rho^3} = 0{,}0108$.

По формулам (33)–(39) находим:

$\frac{\ell}{\rho} = 0{,}366$, $\ell = 170{,}7$ м;

$\frac{h}{\rho} = 0{,}042$, $h = 19{,}6$ м;

$tg\theta = 0{,}1576$, $\theta = 9^0$,

$\frac{H}{R} = 0{,}055$, $H = 21{,}4$ м,

$T = 24{,}2$ т

Оценить те же параметры при $\sigma_{доп} = 3000$ кгс/см^2, $\rho = 357$ м

$\frac{EJ}{P\rho^3} = 0{,}02416$, $\frac{H}{R} = 0{,}104$ $H = 41$ м,

$\frac{P_h}{P} = 0{,}524$, $\ell = 187$ м, $\frac{\ell_{ст}}{R} = 0{,}127$, $\ell_{ст} = 49{,}7$ м

$\frac{P_h}{P} = 0{,}088$, $h = 31{,}5$ м, $T = 46{,}3$ т,

$tg\theta = 0{,}256$, $\theta = 14^0 20'$;

ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ СТАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ТРУБОПРОВОДА ПРИ УКЛАДКЕ С ТРУБОУКЛАДОЧНОЙ БАРЖИ НА ЗАДАННУЮ ГЛУБИНУ (ЯЗЫК ФОРТРАН)

Исходные данные

FI – угол наклона дна, рад;

TETA(I,I) – начальный угол наклона стингера (угол наклона монтажной площадки), рад;

X(1,1); Y(1,1) – начало системы координат, м;

УН – глубина укладки, м;

E – модуль упругости материала трубы, кгс/см^2;

EP – точность удовлетворения граничного условия для монтажа в точке касания с дном;

PD – точность пристрелки по глубине, м;

RAD – радиус кривизны стингера, м;

RU – продольное натяжение трубы, кгс;

DN – приращение натяжения, кгс;

RO – плотность воды, кг/м^3;

HST – пролет по дуге между опорами на участке прилегания к стингеру, м;

DS – допустимые напряжения, кгс/м^2;

PI – число π ;

D1 – внешний диаметр трубы, м;

D2 – внутренний диаметр трубы, м;

D3 – внешний диаметр трубы с учетом обетонирования, м;

P – отрицательная плавучесть на единицу длины, кгс/м;

HL – шаг сетки h при решении методом конечных разностей, м;

Информация, выводимая на печать

Трубопровод:

D1, D2, D3 – диаметры d, d_1, D , м;

P – отрицательная плавучесть P , кгс/м;

EJ – жесткость при изгибе EJ , кгс.м^2.

Стингер:

RAD – радиус кривизны стингера r, м;

ALFA – угол α , рад;

LK – длина ℓ_K , м;

S – пролет S , м.

Натяжение:

N – продольное натяжение N_0 , кгс.

Наклон дна:

FI – угол φ , рад;

Глубина укладки:

УН – заданная глубина укладки Н, м;

Начальные условия:

ТЕТА – угол θ_K , рад;

X, Y – координаты точки схода трубы со стингера X_K , Y_K, м;

T, V – величина T_K , V_K , кгс;

М – момент M_K, кгс.м;

САРРА – коэффициент $\varkappa$;

Провисающая часть трубопровода:

Нумерация колонок (слева направо)

1 – номер узла i ;

2 – угол наклона θ_i , рад;

3 – координата X_i , м;

4 – координата Y_i , м;

5 – длина ℓ_i , м;

6 – горизонтальная составляющая усилия в сечении T_i, кгс;

7 – вертикальная составляющая усилия V_i , кгс;

8 – продольное усилие N_i , кгс;

9 – перерезывающая сила Q_i, кгс;

10 – изгибающий момент M_i , кгс.м;

11 – нормальное напряжение σ_i , кгс/м^2;

Примечания

1. Программой предусмотрен автоматический поиск точки схода трубы со стингера для данного натяга, при котором расчетная глубина укладки удовлетворяет условию $|Y(LK,NS)-YH| \le PD$ и максимальные напряжения, возникающие в трубопроводе, не превышают допустимое значение: $SIMAS \le DS$. За начальную принимается максимальная длина стингера (100 м).

В процессе счета возможны следующие ситуации:

а) точка схода трубы со стингера совпадает с его начальной длиной (100 м), а расчетная глубина укладки удовлетворяет условию $Y(LK,NS) > YH + PD$, тогда точка схода поднимается выше;

б) расчетная глубина укладки $Y(LK,NS) < YH - PD$, тогда исходное натяжение получает приращение DH ,т.е. $N=N+DN$;

в) $|Y(LK,NS)-YH| \leq PD$, но $S|MAX > DS$, тогда, как и в случае б), натяг увеличивается на величину DN.

2. Значения величин CDT и HD задаются внутри подпрограммы *SUBROUTINE PTC*.

ПРИМЕР РАСЧЕТА

Выполнить статический расчет трубопровода, укладываемого с трубоукладочной баржи на дно моря глубиной 67 м.

Исходные данные

H = 67 м,
d = 1,02 м, $\alpha = 7^0$
d_1 = 0,98 м, $\varphi = 0^0$
D = 1,20 м,
m = 1280,4 кгс/м;
$E = 2{,}1 \cdot 10^{10}$ кгс/м^2, N_0 = 100000 кгс,
$[\sigma] = 3 \cdot 10^7$ кгс/м^2,
r = 390 м, S = 1,0 м,
P = 150 кгс/м, h = 2,0 м.
Точность решения:
$\theta_п = \pm 0{,}5^0$;
$M_п = \pm 0{,}005$ M_c.

Решением задачи получены: конфигурации упругого изгиба трубопровода, эпюры напряжений, изгибающих моментов, усилий в трубопроводе, уложенном на глубину 67 м. Определена длина стингера $\ell_к$ = 80 м ($\beta = 19^0$), при которой максимальное напряжение на нижнем участке провисающего трубопровода $\sigma_{max.н}$ равно допустимому напряжению $[\sigma]$. На рис.11 приложения II представлены конфигурации упругой линии и эпюра напряжений трубопровода.

Регулировать режим укладки трубопровода можно путем изменения угла схода трубопровода со стингера β и натяжения N. Если значение угла схода β меньше оптимального, то глубина ограничена уровнем напряжений в верхней части изогнутого трубопровода. Если же значение угла схода больше оптимального, то глубина укладки ограничена уровнем напряжений на нижнем участке провисающего трубопровода. На рис.12 приложения II при -

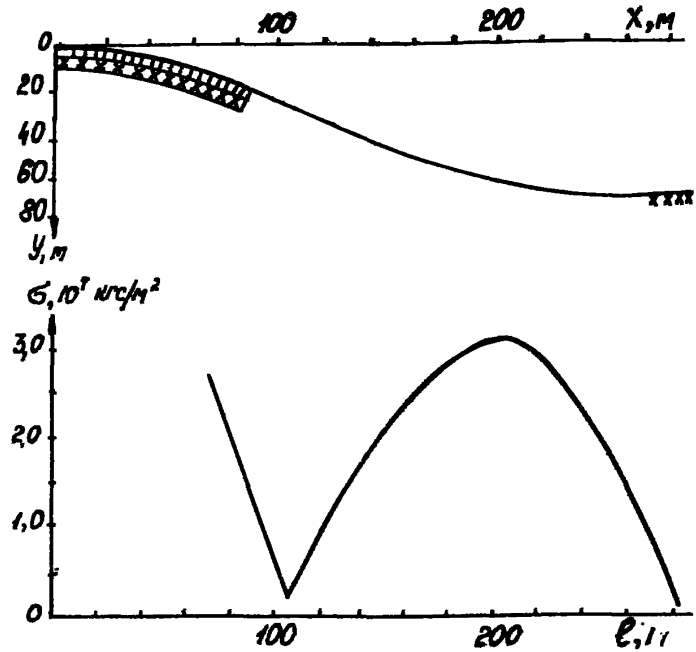


Рис.II. Конфигурация трубопровода и эпюры напряжений (σ) при укладке на глубину 67 м

ведены графики зависимости максимальных напряжений на нижнем участке упругого изгиба трубопровода от глубины укладки при различных значениях натяжения N_{TC} : I – N = 50, 2 – N = I00, 3 – N = I50, 4 – N = 200. При допустимом напряжении $[\sigma] = 3 \cdot 10^7$ кгс/м^2 натяжению N = 50 тс соответствует глубина укладки H = 43 м, при N = I00 тс – H = 67 м; при N = I50 тс – H = I00 м; при N = 200 тс – H = I40 м.

На рис.I3 приложения II даны графики зависимости допустимой глубины H и оптимальных углов схода β от величины натяжения для указанных выше параметров трубопровода. Пользуясь

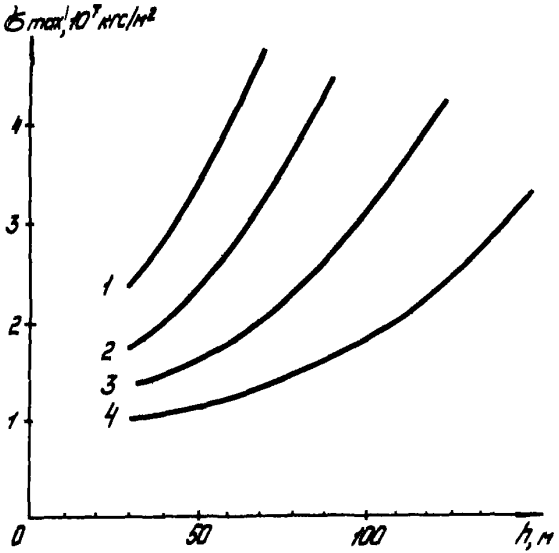


Рис.I2.График зависимости максимальных напряжений в нижней части упругого изгиба трубопровода от глубины укладки при различных усилиях натяжения N, тс:
I - 50; 2 - I00; 3 - I50; 4 - 200

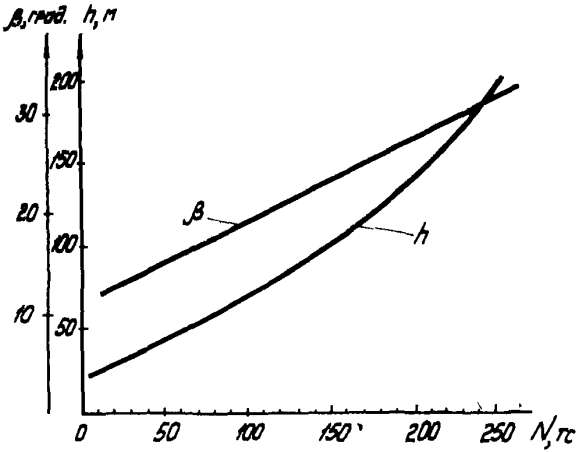


Рис.I3. График зависимости глубины укладки h и оптимальных значений углов схода трубопровода β от усилия натяжения

такими графиками, можно определить оптимальные параметры ук ладки трубопровода на заданные глубины водоема. Например, ес ли глубина водоема H=43м, то чтобы уложить данный трубопров на эту глубину, необходимо приложить к нему натяжение не ме нее 50 тс и при данном натяжении угол схода трубопровода с стингера должен быть не менее 15^{0}.

Программа RTS

```
001
C
C     УКЛАДКА ТРУБОПРОВОДА С БАРЖИ НА
002   C     ЗАДАННУЮ ГЛУБИНУ
      DOUBLE PRECISION TETA,T,V,DM,TK,VK,VM,CAPP
003                                A
      COMMON/TXY/TETA(300,5),X(300,5),Y(300,5)/
     *TVD/T(200,5),V(200,5),DM(300,5)/
     *PAS/PAS(200,5),Q(200,5),SIGMA(200,5)/R/R(1
                                00,5)/
     *BC/TK,VK,VM,CAPPA/RAD/RAD/F/F/FA/FA/W/W/PI
                                /PI/
     *HD/HD/SIMAX/SIMAX/STL/STL/PRL/PRL/IND/LD,L
                                K,IK,K1
     */FI/FI
004    PS1=1.
005    SR=1.
006    SL=0.0
007    FI=0.0
008    TETA(1,1)=.122173
009    X(1,1)=0.0
010    Y(1,1)=0.0
011    DH=105.
012    NP=100
013    NS=1
014    E=2.1E10
015    EP=7.E-2
016    PD=.25
017    RAD=300.
018    DU=6.5E4
019    DN=5.53
020    RO=1.83
021    HST=1.
022    HT=.5
023    DS=3E7
024    PI=3.14159
025    D1=.508
026    D2=.4826
027    D3=.608
028    F=PI/4.*(D1**2-D2**2)
029    W=PI*D1**3*(1-(D2/D1)**4)/32.
030    FI=PI*D3**2/4.
031    FA=RO*FI
032    P=70.
033    WP=FA+P
034    DM=PI/64.*(D1**4-D2**4)
035    EJ=DM*E
036    STM=-EJ/RAD
```

```
      56 CONTINUE
037      HL=2.
038      CALL PTC(STN,HST,HL,HT,NS,NP,EJ,QP,EP,RU)
039      PRINT 70,RU,NP,LK,((TETA(K,LL),LL=NS,NS),K
042                         =1K,IK),((X(K,LL),
     *LL=NS,NS),K=1K,IK),((V(K,LL),LL=NS,NS),K=1
                            K,IK),((T(K,LL),
     *LL=NS,NS),K=LK,LK),((W(K,LL),LL=NS,NS),K=L
                            K,LK),((DM(K,LL),
     *LL=NS,NS),K=1K,IK),SIMAX
      70 FORMAT(1X,'N=',E8.2,2X,'NP=',I3,2X,'L=',I4
041                       ,2X,'TETA=',
     *011.4,2X,'X=',F6.2,2X,'W=',F6.2,2X,'T=',D9
                            .2,2X,'V=',
     *D9.2,2X,'M=',D9.2,2X,'SIMAX=',E9.3)
042      IF(ABS(V(IK,NS)-VH).LE.PD)GO TO 57
043      IF(V(IK,NS)-VH)53,53,52
044   53 IF(NP.EQ.100)GO TO 51
045      GO TO 54
046   52 SR=PSI
047      GO TO 55
048   54 SL=PSI
049   55 PSI=SL+(SR-SL)/2.
050      NP=100*PSI
051      GO TO56
052   57 CONTINUE
053      SL=0.0
054      IF(SIMAX.LE.DS)GO TO 50
055   51 RU=RU+DN
056      GO TO 56
057   50 CONTINUE
058      PRINT 60
059   60 FORMAT(//,'УКЛАДКА ТРУБОПРОВОДА С БАРЖИ.НА
                            ЗАДАННУЮ ГЛУБИНУ',/)
060      PRINT 22,D1,D2,D3,P,EJ
061   22 FORMAT(//,3X,'ТРУБОПРОВОД      D1=',F5.3,3X
                            ,'D2=',F5.3,3X,
     *3HD3=,F5.3,3X,2HP=,F7.3,3X,3HEJ=,E10.4,/)
062      PRINT 24,RAD,((TETA(K,LL),LL=1,1),K=1,1),S
                            TL,HST
063   24 FORMAT(3X,'СТИНГЕР:     RAD=',F5.1,4X,'ALFA
                            =',D11.4,4X,
     *3HLK=,F5.1,4X,2HS=,F5.2,/)
064      PRINT 18,RU,FI,VH
065   18 FORMAT(3X,'НАТЯЖЕНИЕ:     N=',E9.3,4X,
     *'НАКЛОН ЛНА:     FI=',F7.4,4X,'ГЛУБИНА УКЛА
                            ДКИ:     VH=',F7.2,/)
066      PRINT 19,((TETA(K,LL),LL=NS,NS),K=K1,K1),(
                            (X(K,LL),
     *LL=NS,NS),K=K1,K1),((V(K,LL),LL=NS,NS),K=K
                           -1,K1),
     *TK,VK,VH,CAPPA
067   19 FORMAT(3X,'НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ:     TETA=',D1
                            1.4,2X,
```

```
     *'X=',F6.2,2X,'Y=',F6.2,2X,'T=',D10.3,2X,'V
                                    =',D10.3,2X,
     */,20X,'M=',D10.3,2X,'CAPPA=',D16.9,/)
      PRINT 13
   13 FORMAT('ПРОВИСАЮЩАЯ ЧАСТЬ ТРУБОПРОВОДА',/)
      PRINT 80
   80 FORMAT(3X,'УЗЕЛ',3X,'TETA',7X,'X',6X,'Y',7
                                    X,'L',8X,
     *'T',11X,'V',10X,'M',7X,'SIGMA',/)
      PRL=0.0
      DO 27 M=1,LK
      MM=K1+M
      IF(M-LD)36,36,37
   36 A1=HL*HD
      GO TO 38
   37 A1=HL
   38 PRL=PRL+A1
      PRINT 23,M,((TETA(K,LL),LL=NS,NS),K=MM,MM)
                                    ,((X(K,LL),
     *LL=NS,NS),K=MM,MM),((Y(K,LL),LL=NS,NS),K=M
                                    M,MM),PRL,
     *((T(K,LL),LL=NS,NS),K=M,M),((V(K,LL),LL=NS
                                    ,NS),K=M,M),
     *((DM(K,LL),LL=NS,NS),K=MM,MM),((SIGMA(K,LL
                                    ),LL=NS,NS),K=M,M)
   23 FORMAT(2X,I4,1X,D9.2,1X,F7.2,1X,F6.2,1X,F7
                                    .2,1X,D10.3,1X,
     *D10.3,1X,D10.3,1X,E9.3)
   27 CONTINUE
      END
      SUBROUTINE PTC(SM,STH,HS,TAY,IT,IP,PEJ,PW,
                                    EPS,PN)
      DOUBLE PRECISION TETA,T,V,DM,TK,VK,VM,CAPP
                                    A
      DOUBLE PRECISION ER,EL
      COMMON/TXY/TETA(300,5),X(300,5),Y(300,5)/
     *TVD/T(200,5),V(200,5),DM(300,5)/
     *DQS/PWS(200,5),Q(200,5),SIGMA(200,5)/R/R(1
                                    00,5)/
     *BC/TK,VK,VM,CAPPA/RAD/RAD/F/F/FA/FA/W/W/PI
                                    /PI/
     *HD/HD/SIMAX/SIMAX/STL/STL/PRL/PRL/IND/LD,L
                                    K,IK,K1
     */FI/FI
      EL=0.0
      CAPPA=1.
      HD=40.
      DM(1,1)=0.0
      TO=PN*COS(TETA(1,IT))
      CONTINUE
      L=0
      ZDR=0
      IPS=0
      CDT=.1
      TD=CDT*1.7453E-2
```

```
016                SRX=0.0
017                SRY=0.0
018                STL=IP*STH
019                ALFA=TETA(1,IT)
020                BETA=STH/RAD
021                K1=IP+1
022                DO 1 I=2,K1
023                I1=I-1
024                I2=I-2
025                I3=I-3
026                TL=STH*(I-1)
027                TETA(I,IT)=TETA(1,IT)+TL/RAD
028                X(I,IT)=RAD*(SIN(TETA(I,IT))-SIN(TETA(1,IT
                                  )))
029                Y(I,IT)=RAD*(COS(TETA(1,IT))-COS(TETA(I,IT
                                  )))
030                DS(I,IT)=SH
031                IF(I-2)2,2,3
032              2 R(I-1,IT)=-(SH/RAD+PW*(1.-COS(BETA))+PW*RA
                                  D*
                  *(SIN(TETA(I,IT))*BETA+(COS(TETA(I,IT))-COS
                                  (TETA(1,IT))))-
                  *FA*RAD/2.*(SIN(TETA(I,IT))*BETA-SIN(TETA(1
                                  ,IT))*
                  *SIN(BETA)))/SIN(BETA)
033                GO TO 1
034              3 IF(I3-1)4,5,5
035              4 S=0.0
036                GO TO 21
037              5 CONTINUE
038                DO 30 K2=1,I3
039             30 S=S+R(K2+1,IT)*SIN((I-K2-1)*BETA)
040             21 CONTINUE
041                IF(I.EQ.K)GO TO 26
042                VM=SH
043                GO TO 6
044             26 VM=CAPPA*SH
045              6 R(I-1,IT)=(VM/RAD+PW*(1.-COS((I-1)*BETA))*
                                  R(1,IT)*
                  *SIN((I-1)*BETA)-S+PW*RAD*(SIN(TETA(I,IT))*
                                  (I-1)*BETA+
                  *(COS(TETA(1,IT))-COS(TETA(1,IT))))-FA*RAD/
                                  2.*(SIN(TETA(I,IT))*
                  *(I-1)*
                  *BETA-SIN(TETA(1,IT))*SIN((I-1)*BETA)))/SIN
                                  (BETA)
046                S=0.0
047                SRY=SRY+R(I-1,IT)*SIN(TETA(I-1,IT))
048                SRY=SRY+R(I-1,IT)*COS(TETA(I-1,IT))
049              1 CONTINUE
050              8 L=L+1
051                I=2*L+1
052                I1=I-1
053                TL=TL+HS
054                PL=HS*L
```

```
055                IF(L-1)9,9,10
056              9 I3=I-3
057                TETA(I,IT)=TETA(I-1,IT)-HS*DM(I-1,IT)/PEJ
058                R(I-1,IT)=0.0
059                SXL=SRX+R(I-1,IT)*SIN(TETA(I-1,IT))
060                SYL=SRY+R(I-1,IT)*COS(TETA(I-1,IT))
061                TK=TG+R(1,IT)*SIN(TETA(1,IT))-SXL-FA*RAD/2
                                        .*SIN(TETA(1,IT)+
                  *TETA(K1,IT))*SIN(TETA(K1,IT)-TETA(1,IT))
062                VK=PN*SIN(TETA(1,IT))-R(1,IT)*COS(TETA(1,I
                                        T))+SYL-PW*STL+
                  *FA*RAD/2.*(SIN(TETA(K1,IT)-TETA(1,IT))*COS
                                        (TETA(K1,IT)+
                  *TETA(1,IT))+(TETA(K1,IT)-TETA(1,IT)))
                   T(L,IT)=TK-FA*SIN(2.*TETA(I,IT))/2.*HS
063                V(L,IT)=VK+(FA*(COS(TETA(I,IT)))**2-PW)*HS
064                DM(I,IT)=DM(I-1,IT)*((VK-HS*(PW-FA)/2.)*CO
065                                     S(TETA(I,IT))-
                  *TK*SIN(TETA(I,IT)))*HS
                   GO TO 31
066             10 TETA(I,IT)=TETA(I-1,IT)-HS*DM(I-1,IT)/PEJ
067                T(L,IT)=T(L-1,IT)-FA*SIN(2.*TETA(I,IT))/2.
                                        *HS
068                V(L,IT)=V(L-1,IT)+(FA*(COS(TETA(I,IT)))**2
                                        -PW)*HS
069                DM(I,IT)=DM(I-1,IT)*((V(L-1,IT)-HS*(PW-FA)
                                        /2.)*COS(TETA(I,IT))-
070               *T(L-1,IT)*SIN(TETA(I,IT)))*HS
                   IF(DM(I,IT).LT.0.0)GO TO 29
071                IPS=IPS+1
072                GO TO 31
073             29 CONTINUE
074                IF(IPS-1)31,32,32
075             31 CONTINUE
076                X(I,IT)=X(I-1,IT)+HS*COS(TETA(I,IT))
077                Y(I,IT)=Y(I-1,IT)+HS*SIN(TETA(I,IT))
078                PNS(L,IT)=T(L,IT)*COS(TETA(I,IT))+V(L,IT)*
079                                     SIN(TETA(I,IT))
                   Q(L,IT)=V(L,IT)*COS(TETA(I,IT))-T(L,IT)*SI
080                                     N(TETA(I,IT))
                   SIGMA(L,IT)=PNS(L,IT)/F+ABS(DM(I,IT)/W)
081                IF(ABS(TETA(I,IT)-FI).EQ.0.0)GO TO 20
082                CONTINUE
083                IF(TETA(I,IT)-FI)20,17,17
084             17 CONTINUE
085                IF(TETA(I,IT)-PI/2.)28,28,11
086             28 CONTINUE
087                IF(TETA(I,IT).LE.TD)GO TO 33
088                GO TO 8
089             33 KDR=KDR+1
090                IF(KDR-1)34,34,8
091             34 HS=HS/HD
092                LD=L
093                GO TO 8
094             20 CONTINUE
095
```

```
096                 IK=1
097                 LK=L
098                 PER=DN(I,IT)/SM
099                 IF(ABS(PER).LE.EPS)GO TO 15
100                 GO TO 12
101              32 CONTINUE
102              11 CONTINUE
103              14 ER=CAPPA
104                 GO TO 25
105              12 EL=CAPPA
106              25 CAPPA=(ER-EL)/2.+EL
107                 IF(KOP-1)7,35,35
108              35 HS=HS+HD
109                 GO TO 7
110              15 CONTINUE
111                 SIMAX=SIGMA(1,IT)
112                 DO 40 II=2,LK
113                 IF(SIGMA(II,IT).GT.SIMAX)SIMAX=SIGMA(II,IT
                                                )
114              40 CONTINUE
115                 RETURN
116                 END
```

УКЛАДКА ТРУБОПРОВОДА С БАРЖИ НА ЗАДАННУЮ ГЛУБИНУ

ТРУБОПРОВОД D1=0.508 D2=0.483 D3=0.608 P= 70.000 EJ= 1.2734+07

СТИНГЕР: DAD=300.0 ALFA= 1.2217-001 LK= 96.0 S= 1.00

НАТЯЖЕНИЕ: T= 6.500+04 НАКЛОН ДНА: FI= 0.0000 ГЛУБИНА УКЛАДКИ: YH= 105.0

НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ: TETA= 4.4217-001 X= 91.81 Y= 26.62 T= 4.828+004 V= 2.722+004
W=-3.838+004 GAMMA= 9.041373681-001

ОПИСАННАЯ ЧАСТЬ ТРУБОПРОВОДА

УЗЕЛ	ТЕТА	X	Y	L	T	V	M	SIGMA
1	4.49-001	93.61	27.48	2.00	4.805+004	2.697+004	-3.542+004	1.762+07
2	4.54-001	95.41	28.36	4.00	4.782+004	2.672+004	-2.926+004	1.502+07
3	4.59-001	97.20	29.25	6.00	4.759+004	2.647+004	-2.385+004	1.274+07
4	4.63-001	98.99	30.14	8.00	4.736+004	2.621+004	-1.910+004	1.074+07
5	4.66-001	100.78	31.04	10.00	4.712+004	2.595+004	-1.492+004	8.970+06
6	4.68-001	102.56	31.94	12.00	4.689+004	2.569+004	-1.125+004	7.415+06
7	4.70-001	104.35	32.85	14.00	4.666+004	2.544+004	-8.011+003	6.043+06
8	4.71-001	106.13	33.76	16.00	4.642+004	2.518+004	-5.158+003	4.832+06
9	4.72-001	107.91	34.66	18.00	4.619+004	2.492+004	-2.641+003	3.761+06
10	4.72-001	109.69	35.57	20.00	4.595+004	2.466+004	-4.165+002	2.813+06
11	4.72-001	111.47	36.48	22.00	4.572+004	2.440+004	1.552+003	3.272+06
12	4.72-001	113.25	37.39	24.00	4.548+004	2.414+004	3.296+003	3.986+06
13	4.72-001	115.04	38.30	26.00	4.525+004	2.388+004	4.844+003	4.618+06

14	4.71-00%	116.82	39.21	28.00	4.501+004	2.362+004	6.221+003	5.178+06
15	4.70-00%	118.60	40.12	30.00	4.478+004	2.336+004	7.447+003	5.675+06
16	4.69-00%	120.39	41.02	32.00	4.454+004	2.310+004	8.542+003	6.117+06
17	4.67-00%	122.17	41.92	34.00	4.431+004	2.284+004	9.521+003	6.511+06
18	4.66-00%	123.96	42.82	36.00	4.408+004	2.258+004	1.040+004	6.862+06
19	4.64-00%	125.75	43.71	38.00	4.384+004	2.233+004	1.119+004	7.177+06
20	4.63-00%	127.54	44.61	40.00	4.361+004	2.207+004	1.190+004	7.459+06
21	4.61-00%	129.33	45.50	42.00	4.338+004	2.182+004	1.255+004	7.712+06
22	4.59-00%	131.12	46.38	44.00	4.315+004	2.156+004	1.313+004	7.941+06
23	4.57-00%	132.92	47.26	46.00	4.292+004	2.131+004	1.366+004	8.148+06
24	4.54-00%	134.71	48.14	48.00	4.269+004	2.106+004	1.415+004	8.336+06
25	4.52-00%	136.51	49.01	50.00	4.246+004	2.081+004	1.460+004	8.507+06
26	4.50-00%	138.31	49.88	52.00	4.224+004	2.056+004	1.501+004	8.664+06
27	4.48-00%	140.12	50.75	54.00	4.201+004	2.031+004	1.539+004	8.807+06
28	4.45-00%	141.92	51.61	56.00	4.178+004	2.006+004	1.574+004	8.940+06
29	4.43-00%	143.73	52.47	58.00	4.156+004	1.981+004	1.607+004	9.062+06
30	4.40-00%	145.54	53.32	60.00	4.133+004	1.957+004	1.638+004	9.176+06
31	4.38-00%	147.35	54.17	62.00	4.111+004	1.932+004	1.667+004	9.283+06
32	4.35-00%	149.16	55.01	64.00	4.089+004	1.908+004	1.695+004	9.383+06
33	4.32-00%	150.98	55.85	66.00	4.067+004	1.884+004	1.721+004	9.477+06
34	4.30-00%	152.80	56.68	68.00	4.045+004	1.860+004	1.746+004	9.566+06
35	4.27-00%	154.62	57.51	70.00	4.023+004	1.836+004	1.770+004	9.651+06
36	4.24-00%	156.44	58.33	72.00	4.001+004	1.812+004	1.793+004	9.732+06
37	4.21-00%	158.27	59.15	74.00	3.980+004	1.788+004	1.815+004	9.810+06
38	4.18-00%	160.09	59.96	76.00	3.958+004	1.765+004	1.836+004	9.885+06
39	4.16-00%	161.92	60.77	78.00	3.937+004	1.741+004	1.857+004	9.958+06
40	4.13-00%	163.75	61.57	80.00	3.915+004	1.718+004	1.878+004	1.003+07
41	4.10-00%	165.58	62.37	82.00	3.894+004	1.695+004	1.898+004	1.010+07
42	4.07-00%	167.43	63.16	84.00	3.873+004	1.672+004	1.917+004	1.016+07
43	4.04-00%	169.27	63.95	86.00	3.852+004	1.649+004	1.936+004	1.023+07
44	4.01-00%	171.11	64.73	88.00	3.831+004	1.626+004	1.955+004	1.030+07
45	3.98-00%	172.95	65.50	90.00	3.810+004	1.603+004	1.974+004	1.036+07
46	3.94-00%	174.80	66.27	92.00	3.790+004	1.581+004	1.992+004	1.042+07
47	3.91-00%	176.65	67.03	94.00	3.769+004	1.558+004	2.010+004	1.049+07
48	3.88-00%	178.50	67.79	96.00	3.749+004	1.536+004	2.029+004	1.055+07
49	3.85-00%	180.35	68.54	98.00	3.729+004	1.514+004	2.047+004	1.061+07

50	3.82-00*	182.21	69.29	100.00	3.709+004	1.492+004	2.065+004	1.067+07
51	3.79-00*	184.07	70.02	102.00	3.689+004	1.470+004	2.082+004	1.073+07
52	3.75-00*	185.93	70.76	104.00	3.669+004	1.448+004	2.100+004	1.079+07
53	3.72-00*	187.79	71.48	106.00	3.649+004	1.426+004	2.118+004	1.085+07
54	3.69-00*	189.66	72.20	108.00	3.630+004	1.405+004	2.136+004	1.092+07
55	3.65-00*	191.52	72.92	110.00	3.610+004	1.383+004	2.153+004	1.098+07
56	3.62-00*	193.38	73.63	112.00	3.591+004	1.362+004	2.171+004	1.104+07
57	3.59-00*	195.27	74.33	114.00	3.572+004	1.341+004	2.189+004	1.110+07
58	3.55-00*	197.14	75.02	116.00	3.553+004	1.320+004	2.206+004	1.116+07
59	3.52-00*	199.02	75.71	118.00	3.534+004	1.299+004	2.224+004	1.122+07
60	3.48-00*	200.90	76.40	120.00	3.516+004	1.278+004	2.241+004	1.128+07
61	3.45-00*	202.78	77.07	122.00	3.497+004	1.258+004	2.259+004	1.134+07
62	3.41-00*	204.67	77.74	124.00	3.479+004	1.237+004	2.277+004	1.141+07
63	3.37-00*	206.55	78.40	126.00	3.461+004	1.217+004	2.294+004	1.147+07
64	3.34-00*	208.44	79.06	128.00	3.443+004	1.196+004	2.312+004	1.153+07
65	3.30-00*	210.34	79.71	130.00	3.425+004	1.176+004	2.330+004	1.159+07
66	3.27-00*	212.23	80.35	132.00	3.407+004	1.156+004	2.347+004	1.165+07
67	3.23-00*	214.13	80.98	134.00	3.390+004	1.137+004	2.365+004	1.172+07
68	3.19-00*	216.03	81.61	136.00	3.373+004	1.117+004	2.383+004	1.178+07
69	3.15-00*	217.93	82.23	138.00	3.356+004	1.097+004	2.400+004	1.184+07
70	3.12-00*	219.83	82.84	140.00	3.339+004	1.078+004	2.418+004	1.190+07
71	3.08-00*	221.76	83.45	142.00	3.322+004	1.058+004	2.435+004	1.196+07
72	3.04-00*	223.64	84.05	144.00	3.305+004	1.039+004	2.453+004	1.203+07
73	3.00-00*	225.56	84.64	146.00	3.289+004	1.020+004	2.470+004	1.209+07
74	2.96-00*	227.47	85.22	148.00	3.273+004	1.001+004	2.488+004	1.215+07
75	2.92-00*	229.38	85.80	150.00	3.257+004	9.824+003	2.505+004	1.221+07
76	2.88-00*	231.30	86.37	152.00	3.241+004	9.637+003	2.522+004	1.228+07
77	2.84-00*	233.22	86.93	154.00	3.225+004	9.451+003	2.540+004	1.234+07
78	2.81-00*	235.14	87.48	156.00	3.210+004	9.267+003	2.557+004	1.240+07
79	2.76-00*	237.07	88.03	158.00	3.194+004	9.083+003	2.574+004	1.246+07
80	2.72-00*	238.99	88.57	160.00	3.179+004	8.901+003	2.591+004	1.252+07
81	2.68-00*	240.92	89.10	162.00	3.164+004	8.728+003	2.608+004	1.258+07
82	2.64-00*	242.85	89.62	164.00	3.150+004	8.541+003	2.625+004	1.265+07
83	2.60-00*	244.78	90.14	166.00	3.135+004	8.362+003	2.641+004	1.271+07
84	2.56-00*	246.72	90.64	168.00	3.121+004	8.185+003	2.658+004	1.277+07
85	2.52-00*	248.66	91.14	170.00	3.107+004	8.009+003	2.674+004	1.282+07

86	2.48-002	250.50	91.63	172.00	3.083+004	7.834+003	2.690+004	1.288+07
87	2.43-002	252.54	92.11	174.00	3.080+004	7.660+003	2.706+004	1.294+07
88	2.39-002	254.48	92.59	176.00	3.066+004	7.488+003	2.722+004	1.300+07
89	2.35-002	256.42	93.05	178.00	3.053+004	7.316+003	2.737+004	1.305+07
90	2.31-002	258.37	93.51	180.00	3.040+004	7.146+003	2.753+004	1.311+07
91	2.26-002	260.32	93.96	182.00	3.028+004	6.977+003	2.768+004	1.316+07
92	2.22-002	262.27	94.40	184.00	3.015+004	6.809+003	2.782+004	1.322+07
93	2.18-002	264.22	94.83	186.00	3.003+004	6.642+003	2.797+004	1.327+07
94	2.13-002	266.18	95.25	188.00	2.991+004	6.476+003	2.811+004	1.332+07
95	2.09-002	268.13	95.67	190.00	2.979+004	6.311+003	2.824+004	1.337+07
96	2.04-002	270.09	96.07	192.00	2.968+004	6.147+003	2.838+004	1.342+07
97	2.00-002	272.05	96.47	194.00	2.956+004	5.984+003	2.850+004	1.347+07
98	1.95-002	274.02	96.86	196.00	2.945+004	5.822+003	2.863+004	1.351+07
99	1.91-002	275.98	97.24	198.00	2.934+004	5.661+003	2.875+004	1.355+07
100	1.86-002	277.94	97.61	200.00	2.924+004	5.501+003	2.886+004	1.360+07
101	1.82-002	279.91	97.97	202.00	2.914+004	5.342+003	2.897+004	1.363+07
102	1.77-002	281.88	98.32	204.00	2.903+004	5.184+003	2.907+004	1.367+07
103	1.73-002	283.85	98.67	206.00	2.894+004	5.027+003	2.917+004	1.371+07
104	1.68-002	285.82	99.00	208.00	2.884+004	4.871+003	2.926+004	1.374+07
105	1.64-002	287.80	99.33	210.00	2.875+004	4.715+003	2.934+004	1.376+07
106	1.59-002	289.77	99.64	212.00	2.866+004	4.561+003	2.942+004	1.379+07
107	1.54-002	291.75	99.95	214.00	2.857+004	4.407+003	2.948+004	1.381+07
108	1.50-002	293.72	100.25	216.00	2.848+004	4.254+003	2.954+004	1.383+07
109	1.45-002	295.70	100.54	218.00	2.840+004	4.102+003	2.959+004	1.385+07
110	1.40-002	297.68	100.82	220.00	2.832+004	3.951+003	2.962+004	1.386+07
111	1.36-002	299.67	101.09	222.00	2.824+004	3.800+003	2.965+004	1.386+07
112	1.31-002	301.65	101.35	224.00	2.817+004	3.650+003	2.966+004	1.386+07
113	1.26-002	303.63	101.60	226.00	2.809+004	3.501+003	2.966+004	1.386+07
114	1.22-002	305.62	101.85	228.00	2.802+004	3.352+003	2.965+004	1.385+07
115	1.17-002	307.60	102.08	230.00	2.796+004	3.204+003	2.962+004	1.383+07
116	1.12-002	309.59	102.30	232.00	2.789+004	3.057+003	2.958+004	1.381+07
117	1.08-002	311.58	102.52	234.00	2.783+004	2.910+003	2.951+004	1.378+07
118	1.03-002	313.57	102.72	236.00	2.777+004	2.764+003	2.943+004	1.374+07
119	9.86-003	315.56	102.92	238.00	2.771+004	2.619+003	2.933+004	1.369+07
120	9.39-003	317.55	103.11	240.00	2.766+004	2.474+003	2.920+004	1.364+07
121	8.94-003	319.54	103.29	242.00	2.761+004	2.329+003	2.905+004	1.357+07

122	8.48-003	321.53	103.46	244.00	2.756+004	2.185+003	2.888+004	1.350+07
123	8.03-003	323.53	103.62	246.00	2.751+004	2.041+003	2.868+004	1.341+07
124	7.58-003	325.52	103.77	248.00	2.747+004	1.898+003	2.844+004	1.331+07
125	7.13-003	327.52	103.91	250.00	2.743+004	1.755+003	2.817+004	1.319+07
126	6.69-003	329.51	104.04	252.00	2.739+004	1.612+003	2.787+004	1.306+07
127	6.25-003	331.51	104.17	254.00	2.735+004	1.470+003	2.753+004	1.292+07
128	5.82-003	333.51	104.29	256.00	2.732+004	1.328+003	2.714+004	1.275+07
129	5.39-003	335.50	104.39	258.00	2.729+004	1.186+003	2.671+004	1.257+07
130	4.97-003	337.50	104.49	260.00	2.726+004	1.045+003	2.623+004	1.237+07
131	4.56-003	339.50	104.58	262.00	2.723+004	9.036+002	2.569+004	1.214+07
132	4.16-003	341.50	104.67	264.00	2.721+004	7.626+002	2.510+004	1.189+07
133	3.76-003	343.50	104.74	266.00	2.719+004	6.218+002	2.443+004	1.161+07
134	3.38-003	345.49	104.81	268.00	2.717+004	4.811+002	2.370+004	1.130+07
135	3.01-003	347.49	104.87	270.00	2.715+004	3.406+002	2.289+004	1.096+07
136	2.65-003	349.49	104.92	272.00	2.713+004	2.002+002	2.199+004	1.059+07
137	2.30-003	351.49	104.97	274.00	2.712+004	5.986+001	2.101+004	1.017+07
138	1.97-003	353.49	105.01	276.00	2.711+004	-8.036+001	1.992+004	9.714+06
139	1.66-003	355.49	105.04	278.00	2.710+004	-2.205+002	1.872+004	9.211+06
140	1.36-003	357.49	105.07	280.00	2.709+004	-3.606+002	1.740+004	8.658+06
141	1.09-003	359.49	105.09	282.00	2.708+004	-5.007+002	1.595+004	8.049+06
142	8.40-004	361.49	105.11	284.00	2.708+004	-6.407+002	1.435+004	7.381+06
143	6.15-004	363.49	105.12	286.00	2.708+004	-7.808+002	1.260+004	6.646+06
144	4.17-004	365.49	105.13	288.00	2.707+004	-9.208+002	1.067+004	5.838+06
145	2.49-004	367.49	105.13	290.00	2.707+004	-1.061+003	8.551+003	4.952+06
146	1.15-004	369.49	105.14	292.00	2.707+004	-1.201+003	6.228+003	3.978+06
147	1.13-004	369.54	105.14	292.05	2.707+004	-1.204+003	6.166+003	3.953+06
148	1.10-004	369.59	105.14	292.10	2.707+004	-1.208+003	6.104+003	3.927+06
149	1.08-004	369.64	105.14	292.15	2.707+004	-1.211+003	6.042+003	3.901+06
150	1.05-004	369.69	105.14	292.20	2.707+004	-1.215+003	5.980+003	3.875+06
151	1.03-004	369.74	105.14	292.25	2.707+004	-1.218+003	5.918+003	3.849+06
152	1.01-004	369.79	105.14	292.30	2.707+004	-1.222+003	5.856+003	3.823+06
153	9.84-005	369.84	105.14	292.35	2.707+004	-1.225+003	5.793+003	3.796+06
154	9.61-005	369.89	105.14	292.40	2.707+004	-1.229+003	5.730+003	3.770+06
155	9.38-005	369.94	105.14	292.45	2.707+004	-1.232+003	5.668+003	3.744+06
156	9.16-005	369.99	105.14	292.50	2.707+004	-1.236+003	5.605+003	3.718+06
157	8.94-005	370.04	105.14	292.55	2.707+004	-1.239+003	5.542+003	3.691+06

158	8.72-004	370.09	105.14	292.60	2.707+004	-1.243+003	5.478+003	3.665+06
159	8.51-004	370.14	105.14	292.65	2.707+004	-1.246+003	5.415+003	3.638+06
160	8.29-004	370.19	105.14	292.70	2.707+004	-1.250+003	5.352+003	3.611+06
161	8.08-004	370.24	105.14	292.75	2.707+004	-1.253+003	5.288+003	3.585+06
162	7.88-004	370.29	105.14	292.80	2.707+004	-1.257+003	5.224+003	3.558+06
163	7.67-004	370.34	105.14	292.85	2.707+004	-1.260+003	5.160+003	3.531+06
164	7.47-004	370.39	105.14	292.90	2.707+004	-1.264+003	5.096+003	3.504+06
165	7.27-004	370.44	105.14	292.95	2.707+004	-1.267+003	5.032+003	3.477+06
166	7.07-004	370.49	105.14	293.00	2.707+004	-1.271+003	4.967+003	3.451+06
167	6.88-004	370.54	105.14	293.05	2.707+004	-1.274+003	4.903+003	3.423+06
168	6.68-004	370.59	105.14	293.10	2.707+004	-1.278+003	4.838+003	3.396+06
169	6.49-004	370.64	105.14	293.15	2.707+004	-1.281+003	4.773+003	3.369+06
170	6.31-004	370.69	105.14	293.20	2.707+004	-1.285+003	4.708+003	3.342+06
171	6.12-004	370.74	105.14	293.25	2.707+004	-1.288+003	4.643+003	3.315+06
172	5.94-004	370.79	105.14	293.30	2.707+004	-1.292+003	4.578+003	3.287+06
173	5.76-004	370.84	105.14	293.35	2.707+004	-1.295+003	4.512+003	3.260+06
174	5.58-004	370.89	105.14	293.40	2.707+004	-1.299+003	4.447+003	3.232+06
175	5.41-004	370.94	105.14	293.45	2.707+004	-1.302+003	4.381+003	3.205+06
176	5.24-004	370.99	105.14	293.50	2.707+004	-1.306+003	4.315+003	3.177+06
177	5.07-004	371.04	105.14	293.55	2.707+004	-1.309+003	4.249+003	3.150+06
178	4.90-004	371.09	105.14	293.60	2.707+004	-1.313+003	4.183+003	3.122+06
179	4.74-004	371.14	105.14	293.65	2.707+004	-1.316+003	4.116+003	3.094+06
180	4.57-004	371.19	105.14	293.70	2.707+004	-1.320+003	4.050+003	3.066+06
181	4.41-004	371.24	105.14	293.75	2.707+004	-1.323+003	3.983+003	3.038+06
182	4.26-004	371.29	105.14	293.80	2.707+004	-1.327+003	3.916+003	3.010+06
183	4.10-004	371.34	105.14	293.85	2.707+004	-1.330+003	3.849+003	2.982+06
184	3.95-004	371.39	105.14	293.90	2.707+004	-1.334+003	3.782+003	2.954+06
185	3.81-004	371.44	105.14	293.95	2.707+004	-1.337+003	3.715+003	2.926+06
186	3.66-004	371.49	105.14	294.00	2.707+004	-1.341+003	3.647+003	2.898+06
187	3.52-004	371.54	105.14	294.05	2.707+004	-1.344+003	3.580+003	2.869+06
188	3.38-004	371.59	105.14	294.10	2.707+004	-1.348+003	3.512+003	2.841+06
189	3.24-004	371.64	105.14	294.15	2.707+004	-1.351+003	3.444+003	2.813+06
190	3.10-004	371.69	105.14	294.20	2.707+004	-1.355+003	3.376+003	2.784+06
191	2.97-004	371.74	105.14	294.25	2.707+004	-1.358+003	3.308+003	2.755+06
192	2.84-004	371.79	105.14	294.30	2.707+004	-1.362+003	3.239+003	2.727+06
193	2.71-004	371.84	105.14	294.35	2.707+004	-1.365+003	3.171+003	2.698+06

194	2.59-004	371.80	105.14	294.40	2.707+004	-1.369+003	3.102+003	2.669+06
195	2.47-004	371.94	105.14	294.45	2.707+004	-1.372+003	3.033+003	2.640+06
196	2.35-004	371.90	105.14	294.50	2.707+004	-1.376+003	2.964+003	2.612+06
197	2.23-004	372.04	105.14	294.55	2.707+004	-1.379+003	2.895+003	2.583+06
198	2.12-004	372.09	105.14	294.60	2.707+004	-1.383+003	2.826+003	2.554+06
199	2.01-004	372.14	185.14	294.65	2.707+004	-1.386+003	2.756+003	2.524+06
200	1.90-004	372.19	105.14	294.70	2.707+004	-1.390+003	2.687+003	2.495+06
201	1.79-004	372.24	105.14	294.75	2.707+004	-1.393+003	2.617+003	2.466+06
202	1.69-004	372.29	105.14	294.80	2.707+004	-1.397+003	2.547+003	2.437+06
203	1.59-004	372.34	105.14	294.85	2.707+004	-1.400+003	2.477+003	2.407+06
204	1.49-004	372.39	105.14	294.90	2.707+004	-1.404+003	2.406+003	2.378+06
205	1.40-004	372.44	105.14	294.95	2.707+004	-1.407+003	2.336+003	2.348+06
206	1.31-004	372.49	105.14	295.00	2.707+004	-1.411+003	2.265+003	2.319+06
207	1.22-004	372.54	105.14	295.05	2.707+004	-1.414+003	2.195+003	2.289+06
208	1.13-004	372.59	105.14	295.10	2.707+004	-1.418+003	2.124+003	2.259+06
209	1.05-004	372.64	105.14	295.15	2.707+004	-1.421+003	2.052+003	2.230+06
210	9.67-005	372.69	105.14	295.20	2.707+004	-1.425+003	1.981+003	2.200+06
211	8.89-005	372.74	105.14	295.25	2.707+004	-1.428+003	1.910+003	2.170+06
212	8.14-005	372.79	105.14	295.30	2.707+004	-1.432+003	1.838+003	2.140+06
213	7.42-005	372.84	105.14	295.35	2.707+004	-1.435+003	1.766+003	2.110+06
214	6.73-005	372.89	105.14	295.40	2.707+004	-1.439+003	1.694+003	2.080+06
215	6.06-005	372.94	105.14	295.45	2.707+004	-1.442+003	1.622+003	2.049+06
216	5.43-005	372.99	105.14	295.50	2.707+004	-1.446+003	1.550+003	2.019+06
217	4.82-005	373.04	105.14	295.55	2.707+004	-1.449+003	1.478+003	1.989+06
218	4.24-005	373.09	105.14	295.60	2.707+004	-1.453+003	1.405+003	1.958+06
219	3.69-005	373.14	105.14	295.65	2.707+004	-1.456+003	1.332+003	1.928+06
220	3.16-005	373.19	105.14	295.70	2.707+004	-1.460+003	1.259+003	1.897+06
221	2.67-005	373.24	105.14	295.75	2.707+004	-1.463+003	1.186+003	1.867+06
222	2.20-005	373.29	105.14	295.80	2.707+004	-1.467+003	1.113+003	1.836+06
223	1.77-005	373.34	105.14	295.85	2.707+004	-1.470+003	1.039+003	1.805+06
224	1.36-005	373.39	105.14	295.90	2.707+004	-1.474+003	9.658+002	1.774+06
225	9.79-006	373.44	105.14	295.95	2.707+004	-1.477+003	8.920+002	1.744+06
226	6.29-006	373.49	105.14	296.00	2.707+004	-1.481+003	8.181+002	1.713+06
227	3.08-006	373.54	105.14	296.05	2.707+004	-1.484+003	7.439+002	1.682+06
228	1.58-007	373.59	105.14	296.10	2.707+004	-1.488+003	6.696+002	1.650+06
229	-2.47-006	373.64	105.14	296.15	2.707+004	-1.491+003	5.952+002	1.619+06

```
001           C
              C     УКЛАДКА ТРУБОПРОВОДА СВОБОДНЫМ
              C      ПОГРУЖЕНИЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ
              C      РАЗГРУЖАЮЩИХ ПОНТОНОВ
                    DOUBLE PRECISION TETA,T,V,DM
002                 COMMON/TXV/TETA(2000),X(2000),V(2000)/TVD/
003                                  T(2000),V(2000),
                   *DM(2000)/PQS/PNS(2000),QS(2000),SIGMA(2000
                                  )/DIAM/D1,D2,D3/
                   *VB/VH,DS,GP,BM/PF/PI,FA,F,F1,FI
                    GP=3.E3
004                 FI=0.0
005                 TETA(1)=0.0
006                 X(1)=0.0
007                 V(1)=0.0
008                 VH=100.
009                 E=2.1E10
010                 EP=2.E-2
011                 RU=5.E4
012                 R0=1.015E3
013                 HP=24.
014                 HL=4.
015                 DS=3.E7
016                 PI=3.141592
017                 D1=.508
018                 D2=.4826
019                 D3=.608
020                 F=PI/4.*(D1**2-D2**2)
021                 F1=PI/4.*D3**2
022                 FA=R0*F1
023                 BM=90.
024                 P=BM*FA
025                 Q=P*PI/4.*D2**2*R0
026                 UM=PI/64.*(D1**4-D2**4)
027                 EJ=UM*E
028                 CALL FS(HP,HL,EJ,P,Q,EP,RU)
029                 END
030
001                 SUBROUTINE FS(PH,HS,PEJ,PU,QW,EPS,PN)
002                 DOUBLE PRECISION TETA,T,V,DM,EL,ER,CAPPA,E
                                  LH,ERH
                    COMMON/TXV/TETA(2000),X(2000),V(2000)/TVD/
003                                  T(2000),V(2000),
                   *DM(2000)/PQS/PNS(2000),QS(2000),SIGMA(2000
                                  )/DIAM/D1,D2,D3/
                   *VB/VH,DS,GP,BM/PF/PI,FA,F,F1,FI
                    G=.45
004                 GDR=25.
005                 GDT=.25
006                 GTP=.1
007                 TD=GDT*1.7453E-2
008                 TP=GTP*1.7453E-2
009                 DV=1.E-3
010                 W=PI/(32.*D1)*(D1**4-D2**4)
011                 AM=W*(DS-PH/F)
012                 CAPPA=1.
013
```

```
014                EL=0.0
015                ELH=0.0
016                A3=HS
017                T(1)=PN*COS(TETA(1))
018                V(1)=GP-BM*PH/2.
019             20 CONTINUE
020                A4=A3
021                IL=0
022                IPS=0
023                KM=0
024                KDR=0
025                NL=0
026                NP=0
027                NM=0
028                L=1
029                DM(L)=-CAPPA*AB
030             999 PNS(L)=T(L)*COS(TETA(L))+V(L)*SIN(TETA(L))
031                HS(L)=V(L)*COS(TETA(L))-T(L)*SIN(TETA(L))
032                SIGMA(L)=PN/F+ABS(DM(L))/W
033              7 CONTINUE
034                I=1
035                PL=0.0
036                NP=NP+1
037                A2=PH/HS
038                KUP=INT(A2)+1
039                IF(NP.EQ.1)GO TO 22
040                V(L)=V(L)+GP
041             22 VZ=0*VM
042              1 CONTINUE
043                IF(KM.EQ.1)GO TO 39
044                GO TO 41
045             39 HS=A5
046                KUP=KUP+1
047                KM=0
048                GO TO 42
049             41 IF(KDR-1)47,48,48
050             47 HS=A3
051                GO TO 42
052             48 HS=A3/CUP
053             42 I=I+1
054                IF(NP.EQ.1)GO TO 33
055                L=NL+I-1
056                GO TO 36
057             33 L=NL+1
058             38 PL=PL+HS
                                          ,F6.2,1X,'T=',D10.3,
                  *1X,'V=',D10.3,1X,'M=',D10.3,1X,'CAPPA=',D3
                                          1.24)
059                TETA(L)=TETA(L-1)-DM(L-1)*HS/PEJ
060                X(L)=X(L-1)+HS*COS(TETA(L-1))
061                V(L)=V(L-1)+HS*SIN(TETA(L-1))
062                IF(ABS(V(L)-VZ).LE.PV)GO TO 5
063                IF(V(L)-VZ)9,9,36
064              8 IF(NM.EQ.0)GO TO 46
065                ELH=V(L)
066                GO TO 35
```

```
      46 ELH=Y(L)
         GO TO 4
      36 IF(IL.EQ.0)GO TO 34
         GO TO 2
      34 NW=1
         ERH=Y(L)
         PL=PL-A4
      35 A4=A4*(VZ-ELH)/(ERH-ELH)
         HS=A4
         GO TO 38
       5 IL=1
         IF(NW.EQ.0)GO TO 4
         A5=A3-A4.
         KW=1
         LW=L
       4 A=P**W
         GO TO 3
       2 A=Q**W
       3 T(L)=T(L-1)-FA*SIN(2.*TETA(L))/2.*HS
         V(L)=V(L-1)+(FA*COS(TETA(L))**2-A)*HS
         V(L)=V(L-1)+(FA*COS(TETA(L))**2-A)*HS
         DM(L)=DM(L-1)+((V(L-1)-HS*(A-FA)/2.)*COS(T
                                ETA(L))-
        *T(L-1)*SIN(TETA(L)))*HS
         IF(DM(L).LT.0.0)GO TO 52
         IPS=IPS*1
         GO TO 10
      52 IF(Y(L)-YH)10,10,13
      10 PNS(L)=Y(L)*COS(TETA(L))+V(L)*SIN(TETA(L))
         QS(L)=V(L)*COS(TETA(L))-T(L)*SIN(TETA(L))
         SIGMA(L)=PNS(L)/F+ABS(DM(L)/W)
         IF(TETA(L)-FI)6,6,8
       8 IF(TETA(L)-PI/2.)12,12,13
      12 IF(TETA(L).LE.TD)GO TO 21
         GO TO 18
      21 IF(IPS-1)1,14,14
      14 KDR=KDR+1
         IF(KDR-1)15,15,18
      15 HS=HS/CDR
         LD=L
         GO TO 18
       6 IF(IPS-1)18,19,19
      19 LK=L
         PER=DM(L)/AM
         IF(ABS(PER).LE.EPS)GO TO 16
         GO TO 11
      18 IF(KDR-1)44,45,45
      45 A1=(PH-PL)/HS
         KUP=I+INT(A1)
      44 IF(I-KUP)1,43,43
      43 NL=L
         GO TO 7
      13 ER=CAPPA
         LZ=L
         PRINT 50,L,TETA(LZ),Y(LZ),T(LZ),V(LZ),DM(L
                                Z),CAPPA
```

```
120             50 FORMAT(1X,'L=',I4,1X,'TETA=',D11.4,1X,'Y=',
121                GO TO 23
122             11 EL=CAPPA
123                PRINT 40,L,TETA(LK),Y(LK),T(LK),V(LK),DM(L
                                  K),CAPPA
124             40 FORMAT(1X,'L=',I4,1X,'TETA=',D11.4,1X,'Y=',
                                  ,F6.2,1X,'T=',D10.3,
                  *1X,'V=',D10.3,1X,'M=',D10.3,1X,'CAPPA=',D3
                                  1.24)
125             23 CAPPA=EL+(ER-EL)/2.
126                IF(HS-A3)24,20,20
127             24 HS=A3
128                GO TO 20
129             16 IF(Y(L)-YZ)11,11,17
130             17 CONTINUE
131                PRINT 26,D1,D2,D3,BM,PEJ,GP,PH,YZ,FI
132             26 FORMAT(//,3X,'ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:  D1=',F5.3,
                                  2X,
                  *'D2=',F5.3,2X,'D3=',F5.3,2X,'P=',E9.3,2X,'
                                  EJ=',E10.4,2X,
                  */,3X,'B=',E9.3,2X,'S=',F5.1,2X,'HW=',F7.2
                                  ,2X,'FI=',F7.4,/)
133                PRINT 27,TETA(1),X(1),Y(1),T(1),V(1),DM(1)
                                  ,CAPPA
134             27 FORMAT(3X,'НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ:  TETA=',D11.
                                  4,2X,'X=',F7.2,2X,
                  *'Y=',F6.2,/,23X,'T=',D10.3,2X,'V=',D10.3,2
                                  X,'M=',D10.3,2X,
                  *'CAPPA=',D14.7,/)
135                PRINT 28
136             28 FORMAT(3X,'РЕШЕНИЕ',/)
137                PRINT 80
138             80 FORMAT(3X,'УЗЕЛ',3X,'TETA',7X,'X',6X,'Y',7
                                  X,'L',8X,
                  *'T',11X,'V',10X,'M',7X,'SIGMA',/)
139                TL=-A3
140                DO 25 M=1,LK
141                IF(M-LH)29,49,37
142             37 IF(M.EQ.LH+1)GO TO 51
143                IF(M-LD)29,29,31
144             29 A=A3
145                GO TO 32
146             49 A=AA
147                GO TO 32
148             51 A=A5
149                GO TO 32
150             31 A=HS
151             32 TL=TL+A
152                PRINT 30,M,TETA(M),X(M),Y(M),TL,T(M),V(M),
                  *DM(M),SIGMA(M)
153             30 FORMAT(2X,I4,1X,D9.2,1X,F7.2,1X,F6.2,1X,F7
                                  .2,1X,D10.3,1X,
                  *D10.3,1X,D10.3,1X,E9.3)
154             25 CONTINUE
155                RETURN
156                END
```

Текст решения

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ: D1=0,508 D2=0,483 D3=0,608 P= 9.000+01 EJ= 1.2734+07
B= 3.000+03 S= 24.? HW= 45.00 FI= 0.0000

НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ: TETA= 0.0000+000 X= 0,00 Y= 0.00
T= 5.000+004 V= 1.920+003 M=-1.880+004 CAPPA= 2.8666244-001

РЕШЕНИЕ

УЗЕЛ	TETA	X	Y	L	T	V	M	SIGMA
1	0.00+000	0.00	0.00	0.00	5.000+004	1.920+003	-1.880+004	1.040+07
2	5.91-003	4.00	0.00	4.00	4.999+004	1.560+003	-1.302+004	7.984+06
3	1.00-002	8.00	0.02	8.00	4.998+004	1.200+003	-9.500+003	6.509+06
4	1.30-002	12.00	0.06	12.00	4.997+004	8.396+002	-8.016+003	5.886+06
5	1.55-002	16.00	0.12	16.00	4.995+004	4.794+002	-8.475+003	6.077+06
6	1.82-002	20.00	0.18	20.00	4.993+004	1.190+002	-1.091+004	7.094+06
7	2.16-002	24.00	0.25	24.00	4.990+004	2.758+003	-1.546+004	9.000+06
8	2.64-002	28.00	0.34	28.00	4.987+004	2.398+003	-1.043+004	6.893+06
9	2.97-002	32.00	0.44	32.00	4.983+004	2.037+003	-7.486+003	5.660+06
10	3.21-002	35.99	0.56	36.00	4.980+004	1.675+003	-6.455+003	5.225+06
11	3.41-002	39.99	0.69	40.00	4.976+004	1.314+003	-7.267+003	5.563+06
12	3.64-002	43.99	0.83	44.00	4.971+004	9.524+002	-9.973+003	6.693+06
13	3.95-002	47.99	0.97	48.00	4.967+004	3.591+003	-1.474+004	8.687+06
14	4.41-002	51.98	1.13	52.00	4.962+004	3.228+003	-9.878+003	6.653+06
15	4.72-002	55.98	1.31	56.00	4.956+004	2.866+003	-7.071+003	5.474+06
16	4.95-002	59.98	1.49	60.00	4.950+004	2.503+003	-6.143+003	5.081+06
17	5.14-002	63.97	1.69	64.00	4.944+004	2.140+003	-7.036+003	5.451+06
18	5.36-002	67.97	1.90	68.00	4.938+004	1.776+003	-9.804+003	6.607+06
19	5.67-002	71.96	2.11	72.00	4.931+004	4.412+003	-1.462+004	8.619+06
20	6.13-002	75.95	2.34	76.00	4.924+004	4.048+003	-9.799+003	6.604+06

21	6.44-002	79.95	2.58	80.00	4.916+004	3.683+003	-7.025+003	5.437+06
22	6.66-002	83.94	2.84	84.00	4.909+004	3.318+003	-6.123+003	5.054+06
23	6.85-002	87.93	3.11	88.00	4.901+004	2.952+003	-7.036+003	5.432+06
24	7.07-002	91.92	3.38	92.00	4.892+004	2.587+003	-9.820+003	8.592+06
25	7.38-002	95.91	3.66	96.00	4.884+004	5.220+003	-1.464+004	8.607+06
26	7.84-002	99.90	3.96	100.00	4.874+004	4.853+003	-9.840+003	6.600+06
27	8.15-002	103.89	4.27	104.00	4.865+004	4.485+003	-7.077+003	5.437+06
28	8.37-002	107.87	4.60	108.00	4.855+004	4.117+003	-6.184+003	5.056+06
29	8.56-002	111.86	4.93	112.00	4.845+004	3.748+003	-7.104+003	5.434+06
30	8.79-002	115.84	5.27	116.00	4.835+004	3.379+003	-9.892+003	8.595+06
31	9.10-002	119.83	5.62	120.00	4.824+004	6.009+003	-1.472+004	8.609+06
32	9.56-002	123.81	5.99	124.00	4.813+004	5.639+003	-9.923+003	6.608+06
33	9.87-002	127.79	6.37	128.00	4.801+004	5.267+003	-7.166+003	5.446+06
34	1.01-001	131.77	6.76	132.00	4.789+004	4.895+003	-6.278+003	5.066+06
35	1.03-001	135.75	7.17	136.00	4.777+004	4.523+003	-7.201+003	5.445+06
36	1.05-001	139.73	7.58	140.00	4.765+004	4.150+003	-9.991+003	6.605+06
37	1.08-001	143.71	8.00	144.00	4.752+004	6.776+003	-1.481+004	8.616+06
38	1.13-001	147.69	8.43	148.00	4.739+004	6.401+003	-1.003+004	6.621+06
39	1.16-001	151.66	8.88	152.00	4.726+004	6.025+003	-7.280+003	5.460+06
40	1.18-001	155.63	9.34	156.00	4.712+004	5.649+003	-6.396+003	5.080+06
41	1.20-001	159.61	9.82	160.00	4.698+004	5.272+003	-7.323+003	5.459+06
42	1.23-001	163.58	10.30	164.00	4.683+004	4.894+003	-1.011+004	6.619+06
43	1.26-001	167.55	10.79	168.00	4.669+004	7.516+003	-1.493+004	8.627+06
44	1.31-001	171.52	11.29	172.00	4.653+004	7.136+003	-1.016+004	6.638+06
45	1.34-001	175.48	11.81	176.00	4.638+004	6.755+003	-7.417+003	5.478+06
46	1.36-001	179.45	12.34	180.00	4.622+004	6.373+003	-6.537+003	5.099+06
47	1.38-001	183.41	12.89	184.00	4.606+004	5.991+003	-7.467+003	5.478+06
48	1.41-001	187.37	13.44	188.00	4.590+004	5.607+003	-1.026+004	6.636+06
49	1.44-001	191.33	14.00	192.00	4.573+004	8.223+003	-1.507+004	8.641+06
50	1.48-001	195.29	14.57	196.00	4.556+004	7.837+003	-1.031+004	6.658+06
51	1.52-001	199.25	15.16	200.00	4.538+004	7.450+003	-7.575+003	5.500+06
52	1.54-001	203.20	15.77	204.00	4.520+004	7.063+003	-6.699+003	5.121+06
53	1.56-001	207.15	16.38	208.00	4.502+004	6.674+003	-7.631+003	5.499+06
54	1.59-001	211.10	17.00	212.00	4.484+004	6.285+003	-1.042+004	6.656+06
55	1.62-001	215.05	17.64	216.00	4.465+004	8.894+003	-1.523+004	8.656+06
56	1.67-001	219.00	18.28	220.00	4.446+004	8.502+003	-1.048+004	6.679+06

57	1.70-001	222.95	18.94	224.00	4.426+004	8.108+003	-7.746+003	5.521+06
58	1.72-001	226.89	19.62	228.00	4.406+004	7.713+003	-6.871+003	5.142+06
59	1.75-001	230.83	20.31	232.00	4.386+004	7.318+003	-7.801+003	5.517+06
60	1.77-001	234.77	21.00	236.00	4.365+004	6.921+003	-1.058+004	8.669+06
61	1.80-001	238.71	21.71	240.00	4.345+004	9.523+003	-1.537+004	8.661+06
62	1.85-001	242.64	22.42	244.00	4.323+004	9.123+003	-1.063+004	8.687+06
63	1.88-001	246.57	23.16	248.00	4.302+004	8.722+003	-7.890+003	5.526+06
64	1.91-001	250.50	23.91	252.00	4.280+004	8.320+003	-7.001+003	5.139+06
65	1.93-001	254.43	24.67	256.00	4.257+004	7.916+003	-7.909+003	5.504+06
66	1.96-001	258.36	25.44	260.00	4.235+004	7.512+003	-1.066+004	6.641+06
67	1.99-001	262.28	26.21	264.00	4.212+004	1.011+004	-1.540+004	8.611+06
68	2.04-001	266.20	27.00	268.00	4.189+004	9.697+003	-1.062+004	6.625+06
69	2.07-001	270.12	27.81	272.00	4.165+004	9.287+003	-7.831+003	5.440+06
70	2.10-001	274.03	28.64	276.00	4.141+004	8.876+003	-6.868+003	5.020+06
71	2.12-001	277.94	29.47	280.00	4.117+004	8.464+003	-7.678+003	5.343+06
72	2.14-001	281.85	30.31	284.00	4.092+004	8.051+003	-1.030+004	6.425+06
73	2.17-001	285.76	31.16	288.00	4.068+004	1.064+004	-1.487+004	8.322+06
74	2.22-001	289.67	32.02	292.00	4.042+004	1.022+004	-9.913+003	6.261+06
75	2.25-001	293.57	32.90	296.00	4.017+004	9.800+003	-6.879+003	4.973+06
76	2.27-001	297.47	33.80	300.00	3.991+004	9.380+003	-5.605+003	4.422+06
77	2.29-001	301.37	34.70	304.00	3.965+004	8.959+003	-6.023+003	4.579+06
78	2.31-001	305.26	35.61	308.00	3.938+004	8.538+003	-8.150+003	5.453+06
79	2.34-001	309.16	36.52	312.00	3.912+004	1.111+004	-1.209+004	7.085+06
80	2.37-001	313.05	37.45	316.00	3.885+004	1.069+004	-6.375+003	4.708+06
81	2.39-001	316.94	38.39	320.00	3.858+004	1.026+004	-2.382+003	3.017+06
82	2.40-001	320.82	39.34	324.00	3.830+004	9.836+003	9.369+001	2.040+06
83	2.40-001	324.71	40.29	328.00	3.803+004	9.410+003	1.175+003	2.475+06
84	2.40-001	328.59	41.24	332.00	3.776+004	8.983+003	9.155+002	2.348+06
85	2.39-001	332.48	42.19	336.00	3.749+004	1.156+004	-6.982+002	2.238+06
86	2.40-001	336.36	43.14	340.00	3.722+004	1.113+004	7.912+003	5.277+06
87	2.37-001	340.25	44.09	344.00	3.695+004	1.071+004	1.551+004	8.441+06
88	2.32-001	344.02	45.00	347.88	3.669+004	1.030+004	2.224+004	1.124+07
89	2.32-001	344.14	45.03	348.00	3.668+004	1.026+004	2.243+004	1.132+07
90	2.25-001	348.03	45.95	352.00	3.643+004	9.099+003	2.752+004	1.343+07
91	2.17-001	351.93	46.84	356.00	3.618+004	7.942+003	2.960+004	1.427+07
92	2.07-001	355.84	47.70	360.00	3.594+004	9.789+003	2.875+004	1.389+07

93	1.98-001	359.75	48.52	364.00	3.571+004	8.641+003	3.667+004	1.722+07
94	1.87-001	363.67	49.31	368.00	3.550+004	7.497+003	4.195+004	1.941+07
95	1.74-001	367.60	50.05	372.00	3.530+004	6.360+003	4.480+004	2.058+07
96	1.59-001	371.54	50.75	376.00	3.511+004	5.227+003	4.531+004	2.078+07
97	1.45-001	375.48	51.38	380.00	3.495+004	4.100+003	4.349+004	2.000+07
98	1.32-001	379.45	51.96	384.00	3.499+004	5.977+003	3.923+004	1.820+07
99	1.19-001	383.41	52.48	388.00	3.465+004	4.858+003	4.422+004	2.029+07
100	1.05-001	387.38	52.96	392.00	3.453+004	3.742+003	4.678+004	2.135+07
101	9.07-002	391.36	53.38	396.00	3.442+004	2.630+003	4.698+004	2.143+07
102	7.59-002	395.35	53.74	400.00	3.433+004	1.520+003	4.483+004	2.052+07
103	6.18-002	399.34	54.05	404.00	3.426+004	4.130+002	4.021+004	1.858+07
104	4.92-002	403.33	54.29	408.00	3.420+004	2.307+003	3.292+004	1.552+07
105	3.88-002	407.32	54.49	412.00	3.416+004	1.203+003	3.463+004	1.623+07
106	2.80-002	411.32	54.65	416.00	3.412+004	9.948+001	3.341+004	1.572+07
107	1.75-002	415.32	54.76	420.00	3.410+004	-1.004+003	2.922+004	1.396+07
108	8.29-003	419.32	54.83	424.00	3.409+004	-2.106+003	2.187+004	1.089+07
109	1.42-003	423.32	54.86	428.00	3.409+004	-3.209+003	1.105+004	6.352+06
110	1.28-003	423.48	54.86	428.16	3.409+004	-3.253+003	1.052+004	6.133+06
111	1.15-003	423.64	54.86	428.32	3.409+004	-3.297+003	9.992+003	5.910+06
112	1.03-003	423.80	54.86	428.48	3.409+004	-3.341+003	9.456+003	5.686+06
113	9.08-004	423.96	54.86	428.64	3.409+004	-3.385+003	8.912+003	5.458+06
114	7.96-004	424.12	54.86	428.80	3.409+004	-3.429+003	8.363+003	5.228+06
115	6.91-004	424.28	54.86	428.96	3.409+004	-3.474+003	7.807+003	4.995+06
116	5.93-004	424.44	54.86	429.12	3.409+004	-3.518+003	7.244+003	4.760+06
117	5.02-004	424.60	54.86	429.28	3.409+004	-3.562+003	6.675+003	4.521+06
118	4.18-004	424.76	54.86	429.44	3.409+004	-3.606+003	6.100+003	4.280+06
119	3.42-004	424.92	54.86	429.60	3.409+004	-3.650+003	5.517+003	4.036+06
120	2.72-004	425.08	54.86	429.76	3.409+004	-3.694+003	4.928+003	3.789+06
121	2.10-004	425.24	54.86	429.92	3.409+004	-3.738+003	4.332+003	3.540+06
122	1.56-004	425.40	54.86	430.08	3.409+004	-3.782+003	3.730+003	3.288+06
123	1.09-004	425.56	54.86	430.24	3.409+004	-3.826+003	3.121+003	3.032+06
124	6.99-005	425.72	54.86	430.40	3.409+004	-3.871+003	2.505+003	2.774+06
125	3.84-005	425.88	54.86	430.56	3.409+004	-3.915+003	1.882+003	2.513+06
126	1.48-005	426.04	54.86	430.72	3.409+004	-3.959+003	1.252+003	2.249+06
127	-9.46-007	426.20	54.86	430.88	3.409+004	-4.003+003	6.147+002	1.983+06

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по строительству подводных переходов магистральных трубопроводов. ВСН 2-II8-80 Миннефтегазстрой. М., I980.

2. С т а р и к о в А. С. Технология работы речных земснарядов. М., Транспорт, I969.

3. Руководство по технологии укладки подводных трубопроводов способом свободного погружения с приложением растягивающего усилия. Р 3I5-78. М., ВНИИСТ, I979.

4. Руководство по укладке подводных трубопроводов с железобетонными покрытиями и грузами. Р 420-8I. М., ВНИИСТ, I982.

5. Рекомендации по проектированию и строительству морских подводных нефтегазопроводов. Р 4I2-8I. М., ВНИИСТ, I98I.

6. Рекомендации по строительству подводных переходов через реки, сложенные легкоразмываемыми грунтами. Р 96-7I. М., ВНИИСТ, I972.

СОДЕРЖАНИЕ

I. Общие положения 3
2. Технология подводных земляных работ 4
3. Укладка подводных трубопроводов способами протаскивания и свободного погружения I3
4. Укладка трубопроводов с трубоукладочной баржи 26
5. Техника безопасности 4I
Приложения 45
Литература III

РУКОВОДСТВО
по технологии укладки и заглубления трубопроводов через водохранилища и крупные реки

Р 537-84

Издание ВНИИСТа

Редактор И.Р.Беляева
Корректор Г.Ф.Меликова
Технический редактор Т.В.Берешева

Л-77189 Подписано в печать 4/XII 1984г. Формат 60x84/I6
Печ.л. 7,25 Уч.-изд.л. 6,0 Бум.л. 3,625
Тираж 450 экз. Цена 60 коп. Заказ I02

Ротапринт ВНИИСТа

gost.e-ecolog.ru