

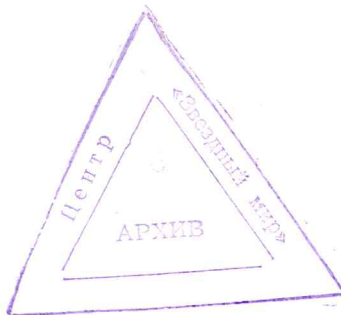
Советский фонд мира
Центр „Звездный мир“

Анализ вариантов
конструкции
эстакады ОТС

Руководитель темы
КРИВКО О.П.

Гомель

1989



"УТВЕРЖДАЮ"

Директор Центра НТТМ
"Звездный мир"

А. А. Юницкий

" " апреля 1989г

О Т Ч Е Т

об изыскательно-конструкторской работе по выпол-
нению договора № 23/ОТС от 17 января 1989 года
"Анализ вариантов конструкции эстакады ОТС и ее
оптимизация"

Руководитель временного
творческого коллектива

Окривко О. П. Кривко

г. Гомель
1989 год

СО Д Е Р Ж А Н И Е

стр.

АННОТАЦИЯ.....	3
ГЛАВА 1. Варианты трассы эстакады в плане, профиле.....	4
- Проектирование трассы эстакады по экватору.....	4
- Наиболее вероятные очаги землетрясений по трассе экватора.....	14
- Факторы воздействия среды на эстакаду (цунами, атмосферные и океанические явления)....	
ГЛАВА 2. Варианты конструкций пролетов, опор эстакады, расчеты на прочность и устойчивость.....	26
- Проектирование пролетов, компоновка сечения с требованием технической эстетики.....	26
- Конструирование пролетных строений.....	29
ГЛАВА 3. Определение объемов работ, расхода материалов, стоимости работ.....	51
- Расчет потребности прокатной стали для изготовления ферм пролетного строения.....	58
- Расчет стоимости строительно-монтажных работ возведения эстакады.....	61
- Проектирование трассы эстакады на широте 52 град. северной широты.....	71
- Проектирование трассы эстакады на широте 57 град. южной широты.....	73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	74
Перечень основных публикаций об ОТС.....	75
Приложение 1. Выбор вариантов пролетных строений, опор и фундаментов трассы. Расчет пролетных строений, опор и фундаментов трассы.	
Приложение 2. Продольные и поперечные профили трассы, листы 1-11.	

А Н Н О Т А Ц И Я

Изыскательно-конструкторская работа "Анализ вариантов конструкции эстакады ОТС и ее оптимизация" выполнена в соответствии с договором № 23/ОТС от 17 января 1989 года между Центром "Звездный мир" и временным творческим коллективом и техническим заданием на проектирование.

Цель настоящей изыскательно-конструкторской работы - проработка возможных трасс проложения эстакады ОТС в плане, профиле по экватору, по северному полярному тропику, по параллели 60° северной широты, конструирование эстакады из опор и пролетных строений, определение стоимости работ по выбранному варианту.

Отчет состоит из 3-х глав:

Глава I - Варианты трассы эстакады в плане, профиле- разработана Кривко О.П.

Глава 2 - Варианты конструкций пролетов, опор эстакады - постановка задачи по вариантам опор, пролетов, комбинировании нагрузок, дизайн, возможные сроки строительства - Кривко О.П., расчет конструкций на прочность и устойчивость - Логвинов Г.Ф.

Глава 3 - Определение объемов работ, расхода материалов, стоимости работ - Кривко О.П.

Общее руководство разработкой, консультации по техническим вопросам осуществлялось А.Э.Юницким.

Руководитель ТК

О.П.Кривко

Г Л А В А I

Варианты трассы эстакады в плане, профиле

Основные технические условия:

1. Минимальный радиус трассы в плане, профиле - 100 км; оптимальный - 6000 км (примерный радиус Земли).

2. Оптимальная высота эстакады 15-20 м. Такая эстакада будет минимально влиять на рост лесов, миграцию животных и т.п.

3. Запроектировать трассу эстакады:

3.1. в районе экватора;

3.2. на широте 52° севернее экватора;

3.3. на широте 57° южнее экватора.

Проектирование трассы эстакады по экватору

Проектирование трассы эстакады производилось камерально по Атласу океанов Главного Управления Геодезии и картографии, 1977 года издания. Начало отсчета трассы принято от Гринвичского меридиана. Точка пересечения последнего с экватором - Атлантический океан (лист № I приложения) 7° восточнее от Гринвича - остров Сан-Томе, 9° - Западный берег Африки (Масштаб вертикальный 1:100 000, горизонтальный - 1:40 000 000). Характерные участки трассы в профиле по Африке - горы до 3000 м перед и за озером Виктория. Около 43° восточной долготы трасса проходит по Индийскому океану. Максимальная глубина океана - 5500 м, уменьшение глубины до 50 м наблюдается в районе Мальдивских островов (73° восточной долготы), у побережья острова Суматра (шельф, глубиной от 5 м до 200 м на протяжении 140-150 км) и восточнее острова Суматра - южная часть Южно-Китайского моря, протяжением около 420 км, где глубины составляют от

9 до 50 м. Далее - 109° восточной долготы - западный берег острова Калимантан, затем Макасерский пролив шириной 180 км (глубина 2100 - 2270 м) с 60 км материковой отмелью (глубина 12 м) восточнее острова Калимантан. Далее трасса пересекает остров Сулавеси (120° восточной долготы), залив Томини, Молуккское море, остров Хальмахера и выходит в Тихий океан. Максимальная глубина океана по трассе около 6000 м (147° восточной долготы). Имеются три выхода материкового дна над поверхностью океана: острова Гильберта (173° восточной долготы), острова Лайн (160° западной долготы), острова Гальпагос (92° западной долготы). Материк Южная Америка (западное побережье) начинается на меридиане 80° западной долготы. Около 77° западной долготы поднимается самая высокая точка профиля материка - 5000 м (горы Кордильеры). Далее по матерiku профиль спокоен до Атлантического океана (47° западной долготы). Максимальная глубина океана 7600 м (17° западной долготы). Общее протяжение трассы 40075 км (I), в том числе: по океанам, морям, заливам, озерам, рекам - 31170 км^{*}, по суше - 8905 км. Материковая отмель составляет около 630 км.

Исходя из минимально допустимого радиуса вертикальных кривых 100 км (в наиболее сложных пересечениях) производим проверку профиля трассы по суше, начиная с материка Африка. Для вписывания (описывания) кривой в профиль использовались шаблоны радиуса 100 км (масштабы: 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000), радиуса 200 км (масштаба 1:100 000). При проектировании трассы в плане использовался метод построения круговой кривой радиусом 6000 км.

* Расстояния подсчитаны по Атласу океанов по картам масштаба 1:12 000 000. Точные расстояния могут быть выданы аэрофотосъемкой и космической съемкой с дальнейшим накладкой трассы на планшеты.

Наиболее характерные участки трассы в профиле для Африки-горы восточнее озера Виктория в пределах $36-38^{\circ}$ восточной долготы. Для проверки трассы на удовлетворение условиям (100 км) были построены профили трех контрольных участков трассы (см. лист № 2).

Контрольный участок № 1. Длина участка - 120 км. Масштабы: вертикальный - 1:100 000, горизонтальный - 1:100 000. При наложении шаблона 200 км участок отвечает требованиям техусловий.

Контрольный участок № 2. Длина - 72 км. Масштабы: вертикальный - 1:100 000, горизонтальный - 1:100 000. Отвечает требованиям техусловий. Вписывается 200 км и более.

Контрольный участок № 3, длина - 72 км. Отвечает требованиям техусловий.

Таким образом, трасса эстакады ОТС по Африке удовлетворяет требованиям техусловий. Минимальные радиусы кривых в профиле в пределах 400-500 км.

Общее протяжение трассы по материка - 2 604 км, в том числе по республикам:

- Габон	-	372 км,
- Конго	-	360 км,
- Заир	-	948 км,
- Уганда	-	288 км,
- Кения	-	492 км,
- Сомали	-	144 км

Материк Южная Америка

При первом взгляде на профиль материка виден один наиболее сложный участок гор Кордильер - $77-78^{\circ}$ западной долготы высотой до 5000 м на коротком протяжении трассы. Для проверки участка

Для проверки участка соответствию техническим условиям построен профиль протяжением 48 км с коэффициентами 77-78° западной долготы. Применялся шаблон радиусом кривой 100 км, масштаб М:100 000 (лист 2). Применяя принцип минимальных затрат при проектировании красной линии, получен результат: на 12 километре участка высота опоры (рабочая отметка) 2100 м. Опустив красную линию до высоты опор примерно 100 м получаем выемку глубиной 2000 м.

Рассмотрим I вариант трассы с обходом пика 5000 м.

При внимательном рассмотрении участка трассы влево-вправо от 78° 42 западной долготы приходим к выводу, что возможен вариант изменения трассы с обходом пика гор высотой 5000 м южнее экватора с удалением 12 км (см. лист 5). Принимается условие: радиус кривых в плане - 6000 км, удаление трассы от экватора на юг - 12 км. Таким образом, на расстоянии 1047,752 км построена горизонтальная кривая с обходом пика высотой 5000 м с удалением к югу от экватора 12 км. На листе № 6 приведен продольный профиль участка 1047,7 км, на котором выделен наиболее характерный участок № I с координатами 80-76° западной долготы. Длина участка - 240 км. На продольном профиле контрольного участка № I намечен контрольный участок № 2 (25 км) и № 3 (25 км). Построены продольные профили участков в масштабах 1:100 000. При наложении шаблонов свободно вписывается кривая радиусом 200 км. Таким образом I вариант изменения трассы в плане (78°42 западной долготы) по Южной Америке удовлетворяет требованиям технических условий.

Общее протяжение трассы по материке Южная Америка составляет 2292 км, в том числе по республикам:

Эквадор - 372 км,

Колумбия - 420 км,

Бразилия - 1500 км

Рассмотрим II вариант перехода трассы через пик 5000 м на этом же участке (лист 2)..

Вписывается круговая кривая радиусом 100 км (М 1:100000) с условием, что в точке А профиля и левее точки А эстакада будет возведена на насыпи от срезки горного массива. Произведем расчет объема грунта при ширине трассы на дне выемки 50 м и раскрытии выемки с уклонами откосов 1:0,5 (в скальных грунтах) см. лист 7. Максимальная глубина выемки - 1800 м, длина выемки 30,5 км, длина выемки расчетная (по средней линии) 14 км. Объем вынутого грунта составит примерно 24 миллиарда кубических метров.

Таким образом, объем сосредоточенных земляных работ по I варианту трассы с обходом пика 5000 м в Южной Америке составляет $1730,75 \times 10^6 \text{ м}^3$; по II варианту с устройством выемки - $25670,75 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ грунта. Исходя из необходимости производства линейных земляных работ по трассе для возведения опор и принимая частоту последних через 80 метров подсчитаем объем линейных земляных работ:

$$W_{\Lambda} = L_{\text{тр}} : 80 \times 100 + L_{\text{тр}} \text{ тр.} \times 100; \text{ где:}$$

$L_{\text{тр}}$ - длина трассы по суше, 8905 км

80 - среднерасчетный шаг опор

100 - объем (м^3) грунта у опоры

100 - объем грунта на 1 м.пог. трассы'

$$W_{\Lambda} = 8905000 : 80 \times 100 + 8905000 \times 100 = 901631250 \text{ м}^3$$

Результаты вычислений сводим в таблицу объемов земляных работ:

№ пп	Варианты трассы	сосредоточенные земляные работы, м ³	линейные земляные работы у опор и по трассе	итого, м ³
1.	I вариант - обход пика 5000 м в Южной Америке км 31503,4	$1730,74 \times 10^6$	$901,63 \times 10^6$	$2632,38 \times 10^6$
2.	II вариант - выемка на км 31503,4	$25670,75 \times 10^6$	$901,63 \times 10^6$	$26572,38 \times 10^6$
		$25,670.750.000$		

Итак, по II варианту объем земработ в 10 раз больше, чем по I варианту.

Исходя из потребности стройки в каменных, щебеночных материалах, принимаем II вариант трассы. Рассмотрим вариант применения каменных материалов, т.е. соизмеримость объема полученного от выемки скального грунта с потребностью объектов стройки.

На строительство опор:

При среднерасчетном шаге опор 80 м количество их будет $8905000 : 80 = 111312$ опор.

Причем, из общего количества опор 20 шт. при приближенном проектировании участка трассы в горах Южной Америки, количество опор распределилось следующим образом:

опоры высотой до 15 м	10 шт	или 50%
"- до 30 м	5 шт	"- 25%
"- до 50 м	3 шт	"- 15%
"- до 100 м	2 шт	"- 10%

Общий вид опор и объемы бетона приведены на листе

* В объем 284.979.107 м³ входит объем опор мостов.

Таблица объемов опор по типам

№ ПП	высота опор, м	к-во опор шт	объем бетона, м ³			всего бе- тона, м ³
			тело опоры	свайный ростверх	буриабив- ные сваи	
1	15	55656	30054240	8348400	-	38402640
2	30	27828	40072320	7513560	445248	48031128
3	50	16697	50091000	5610192	801456	56502648
4	100	11131	124667200	15026850	2348641	142042691
		111312	244864760	36499002	3595345	284979107

Исходя из условия равенства объемов насыпей и выемок (грунт выемок перемещается в насыпь) произведем расчет потребности каменного материала для дорожной одежды. Прикинем ширину проезжей части 15 м (для полосы с односторонним движением), в обе стороны - 30 м. Предположим условно, что 100% объема дорожной одежды состоит из каменного материала (щебня разных фракций крупности, каменного отсева) и приняв толщину расчетного слоя 1 метр, рассчитаем объем каменного материала:

$$32576000 \times 30 \times 1 = 977\ 280\ 000 \text{ м}^3$$

Предположив, что бетон и дорожная одежда на 100% состоит из каменных материалов, подсчитаем весь объем каменного материала для строительства опор, пролетного строения эстакады, автомобильных дорог и мостов:

Предположим, что пролетное строение эстакады будет выполнено целиком из армированного железобетона (рис. 6) тогда объем бетона будет равен $W = S \times L$, где:

S - площадь сечения балки,

L - длина эстакады по экватору.

Исходя из размеров блока балки 3x3 м, принимая 4 блока в сечении и толщину стенки блока 0,2 м $S = 8 \text{ м}^2$.

$$W = 8 \times 40075000 = 320600000 \text{ м}^3 \text{ бетона}$$

Для строительства автомобильной дороги на сухопутном участке трассы объемы работ будут следующие:

- длина автомобильной дороги I технической категории^ж вдоль трассы эстакады $8905 \times 1,3 = 11576 \text{ км}$, где:

1,3 - коэффициент развития трассы

Длина участков автомобильной дороги от основной к линейным сосредоточенным населенным пунктам 21000 км (лист 10)

Всего дорог - 32576 км

$$= 284979107 + 320600000 + 977280000 = 1582859107 \text{ м}^3,$$

где: 284979107 - объем опор

320600000 - объем пролетного строения

977280000 - объем материала дорожной одежды

Таким образом, для строительства искусственных сооружений трассы необходимо примерно полтора миллиарда кубических метров каменного материала или всего 6% объема выемки при срезке пика 5000 м в Южной Америке. Остальной материал предполагается использовать при строительстве жилых комплексов линейного города, при обустройстве автомобильных дорог (АЗС, станции техобслуживания, кемпинги и т.п.), для строительства заводов, аэродромов, портов, электростанций, эстакад скоростных дорог и т.д., то есть полного блока инфраструктуры линейного региона вдоль эстакады ОТС.

^ж Технические параметры автомобильных дорог приняты в соответствии со СНиП 2.05.02-85 "Автомобильные дороги"

Просчитаем, насколько велик объем работ по строительству автомобильных дорог на примере структуры Министерств строительства и эксплуатации автомобильных дорог союзных республик СССР.

Среднее дорожно-строительное управление с программой 5,0 млн.руб. строительно-монтажных работ в год вводит в эксплуатацию примерно 30 км автомобильных дорог III-IV технической категории. Учитывая параметры автомобильной дороги I технической категории прием соотношение дорог 3:1, т.е. управление за I год введет в эксплуатацию 10 км автомобильной дороги I технической категории.

Приводим расчет:

$$10 \times 3 \times 6 \times 15 = 7200, \text{ км, где:}$$

10 - объем ввода в течение года дорог в эксплуатацию, км

3 - количество управлений в тресте

6 - количество трестов в республике

15 - количество республик

Итак, в нашем примере в течение года силами управлений Союза ССР можно построить 7200 км автомобильных дорог I технической категории, или в течение $32576 : 7200 = 4,5$ лет построить 32576 км дорог.

Для выполнения работ по строительству опор и пролетного строения эстакады необходим иной расчет. Принимая условие, что срок строительства сооружения должен быть не более 10 лет (с течением времени снижается эффективность и целесообразность работ), имеем следующее:

- общее протяжение сооружения 40075 км,
- темп строительства в год- 4007,5 км (10 лет)
- темп строительства в сутки - 13,4 км (300 дней),
- темп строительства одного завода в день - 134 метра

(100 заводов)

- темп строительства в час - 5,6 метра (24 часа)
- темп строительства в минуту - 0,1 метра (60 мин)

Темп 10 см железобетонных конструкций в минуту немалый, учитывая, что в это же время необходимо и возводить опоры.

Для решения поставленной задачи необходима как индустриализация возведения опор и пролетных строений, так и решение ускорения процессов твердения бетона. В разделе "организация строительства" даны некоторые соображения по решению технологических задач строительства. Естественно, что объемы работ требуют неординарного подхода к их выполнению, тем не менее по срокам строительства и мощности обычных строительных подразделений выполнение работ реально возможно в настоящее время.

Данные расчета сведены в таблицу:

№ пп	темпы строительства эстакады, м.п.		условия строительства	примечание
	период	количество		
1	2	3	4	5
1	год	4007500	10 лет	
2	сутки	13400	300 дней в году	
3	сутки	134	300 дней в году, 100 заводов по трассе	
4	час	5,6	24 часа/сут	
5	минута	0,1	60 мин/час	

Таким образом для ввода объекта в эксплуатацию по истечении 10 лет темп строительства должен быть 10 см в минуту.

Наиболее вероятные очаги землетрясений
по трассе экватора

Первый зафиксированный сейсмостанциями очаг землетрясений от Гринвического меридиана на восток - 32°20' восточной долготы (3341,6 км) и расположен по трассе на западном берегу озера Виктория в Африке. Магнитуда землетрясения, определенная по данным сейсмостанций находится в пределах 7,0-7,7 при глубине эпицентра до 60 км. Ниже в таблице приводится примерное соотношение между магнитудой M и силой землетрясения на поверхности в зависимости от глубины очага H в км (по двенадцатибалльной шкале, принятой в СССР в 1957 году).

H	M	!	5	!	6	!	7	!	8
10			7		8-9		10		11-12
20			6		7-8		9		10-11
40			5		6-7		8		9-10
80			4-5		6		7-8		9
150			3-4		5		6-7		8
300			-		4		5-6		7
600			-		-		4-5		6

Цифры в таблице - сила в баллах

Далее в районе 40-60 км севернее км 4007,5 трассы находятся два очага с силой землетрясения 6-8 баллов. В Индийском океане в 80 км севернее трассы на км 9460 зафиксированы 2 очага мощностью до 8 баллов.

С км 10798 по км 11132 трасса пересекает цепь вулканов на острове Суматра. Максимально зафиксированная сила землетрясений до 9 баллов. Далее, с км 13358 по км 15028 трасса пересекает вторую цепь вулканов на Филиппинских островах с зафиксированной силой землетрясения до 9 баллов. Примечательно, что очагов землетрясений в Тихом океане по экватору с км 15584 по км 30612 не зафиксировано. Сравнительно редкая цепь вулканов находится на западном побережье Южной Америки (до 10 баллов) по обе стороны трассы с удалением от эпицентра до 120 км. И последняя зафиксированная сейсмостанциями цепь землетрясений до 10 баллов расположена в Атлантическом океане по трассе с км 36735 по км 39518. Таким образом, при проектировании эстакады ОТС, наземных, подземных сооружений и устройств трассы необходимо предусмотреть мероприятия по обеспечению устойчивости, сохранности и живучести сооружений от воздействия землетрясений силой до 10 баллов.

Особого внимания заслуживают результаты работ последних лет Японских специалистов в области защиты зданий и сооружений от землетрясений.

На рис. 13 изображены возможные принципиальные решения проблемы обеспечения устойчивости опор. Кроме того, в сейсмических районах шаг опор следует уменьшить до предела, обеспечивающего устойчивость пролетного строения при провале одной опоры (в 2 раза). Учтем это обстоятельство при составлении ведомости объемов работ: общее протяжение участка трассы с уменьшением шага опор в 2 раза составляет 1500 км.

Вулканы

Первый район действующих вулканов^ж суши расположен восточ-
 ж На восток от Гринвического меридиана

нее озера Виктория с км 3896 по км 4119. Далее по суше цепь вулканов и очагов землетрясений совпадает.

Для сохранения эстакады необходимо предусмотреть меры защиты от выброса кусков породы из кратеров вулканов и от раскаленной лавы. Общее протяжение защитных сооружений составляет 50 км.

На рис. 14 изображены возможные типы защитных устройств и сооружений в зонах действующих вулканов. Итак, при составлении ведомости объемов работ учтем, что защитные сооружения эстакады расположены на протяжении 50 км.

Вулканы подводные

Подводные вулканы относительно равномерно встречаются по всей трассе. Их деятельность косвенно будет влиять на эстакаду в море аналогично действию волн. Защита от действия волн — уменьшение площади соприкосновения волн с эстакадой, т.е. заглубление основной несущей платформы эстакады до 15 м с выносом пролетного строения выше волн. Стабилизация эстакады контролируется, например, лазерной установкой и управляется мощными водяными насосами. Однако, далее будут рассмотрены все факторы, воздействующие на эстакаду в море и исходя из их суммарного воздействия принято техническое решение. Возможно, что количественный фактор воздействий должен породить качественный, т.е. конструктивное изменение эстакады на море.

Цунами

По силе воздействия цунами характеризуется 5-ю видами^ж:

- ж Во воздействие на ближайшее побережье:
1. Слабое — подъем воды 1 м, всплеск до 2 м,
 2. Умеренное — подъем воды 1-2 м, всплеск до 3 м,
 3. Сильное — подъем воды 2-4 м, всплеск 3-8 м,
 4. Очень сильное — подъем воды 4-8 м, всплеск 8-20 м,
 5. Катастрофическое — подъем воды более 8 м, всплески свыше 20 м

Нумерация присвоена авторами для сокращения описания в дальнейшем тексте

По происхождению цунами подразделяются на:

- а) Цунами, вызванные землетрясениями;
- б) Цунами, вызванные вулканическими извержениями;
- в) Цунами от подвижки рельефа дна океана;
- г) Цунами от обрушения горных пород.

Анализируя трассу ОТС по экватору, приходим к выводу, что зарегистрированные станциями цунами в большинстве вызваны землетрясениями и по силе распределяются от умеренных до очень сильных. Наиболее сильные цунами: типа 4-в произошло в 1888 году восточнее о. Новая Гвинея; типа 5-в - в 1883 году у южного побережья о. Сумарта.

Таким образом, при проектировании эстакады ОТС на море, следует учесть, что от воздействия цунами высота всплеска волны достигает 20 и более метров.

Тепловой режим атмосферы по трассе

Температура воздуха у поверхности океана приведена в таблице (выше 0°C)

месяц	температура
январь	26-28
февраль	26-28
март	26-28
апрель	27-28
май	26-28
июнь	27-28
июль	27-28
август	26-28
сентябрь	26-28
октябрь	26-28
ноябрь	26-28
декабрь	25-28

Колебание температуры воздуха у поверхности океана в течение года находятся в пределах 25-28°C

Исходя из незначительных величин колебаний температуры воздуха в течение года, дополнительных затрат на компенсацию температурного воздействия на эстакаду не требуется (кроме постоянно действующей системы термостатирования и теплоизоляционной защиты пролетного строения).

О с а д к и

Количество осадков, выпадающих по трассе крайне неравномерно. Однако, вырисовывается закономерность: на суше количество осадков меньше, чем в море. Район максимального количества осадков у о. Суматра, восточнее о. Сулавеси - более 3000 мм осадков в год. Это обстоятельство необходимо учесть при проектировании объекта для обеспечения герметичности сооружения, видимости объекта в дождь.

Г р о з ы

Максимальное количество гроз составляет 4 и более (до 5) процента в год от общего числа наблюдений за погодой и находится в районе о. Суматра (Индонезия), менее 0,1% - район Тихого океана - 157° - 110° западной долготы.

Ожидаемое количество поражений молнией в год сооружения, не оборудованного молниезащитой, определяется по формуле:

$$N = (S + 6h)(L + 6h) \pi \cdot 10^{-6},$$

где: S - ширина сооружения, м;

L - длина сооружения, м;

h - наибольшая высота сооружения, м;

π - среднегодовое число ударов молнии в 1 км² земной поверхности

79

Для района экватора число поражений эстакады молнией ориентировочно 51000 в год.*

Считая, что зона защиты сооружения типа А обладает степенью надежности 99,5% и выше, принимаем молниезащиту I категории тросовым молниестовом вдоль пролетного строения. При проектировании молниезащиты необходимо кроме таких факторов, как прямой удар молнии, электростатическая индукция, электромагнитная индукция особо выделить фактор заноса высоких потенциалов - перенесение наведенных молнией высоких электрических потенциалов в защищаемое сооружение (особенно металлические эстакады).

На участках суши при возведении опор, необходимо предусматривать устройство заземлителей, на море - токоотводы от тросового молниестова до подводных сооружений эстакады.

Туман

Возникновение и повторяемость туманов по трассе экватора незначительно. Особых мер защиты сооружения не требуется.

Видимость

Видимость по трассе экватора менее 2 миль (при повторяемости 5) зафиксирована в Тихом океане в районе Маршалловых островов, западнее Африки (Гвинейская котловина), восточнее Африки (Сомалийская котловина). При проектировании защитных сооружений вдоль эстакады необходимо предусматривать меры, обеспечивающие возможность заблаговременного оповещения судов^{жж} о приближении к зоне эстакады.

ж Для широты Гомеля - до 30000 поражений в год

жж Морских и воздушных

В е т е р

Одним из значительных факторов воздействия на эстакаду в море является ветер. Рассмотрим розу ветров Атлантического и Индийского океанов. Преобладающее направление ветра - под углом $30-45^{\circ}$ к трассе по экватору слева и справа от оси трассы. Причем преобладающее направление ветра имеет скорость $6-10$ м/сек. Имеют место порывы до 15 м/сек (до 10%). В районе о. Суматра и о. Калимантан направление ветра в январе-феврале месяцах преобладает юго-западное, устойчивое (более 75%), скорость более 7 м/сек. В апреле-сентябре направление преобладающего ветра - противоположное - юго-восточное. Преобладающая скорость ветра в Тихом океане - $5-7$ м/сек, особых аномалий нет.

Таким образом за расчетный принимаем ветер, скорость которого 15 м/сек, направление к трассе - самое невыгодное - 90° .

Необходимо отметить, что струйные течения воздуха направлены параллельно экватору на восток и в районе экватора скорость ветра менее 16 м/сек.

Гидрология океанов

Температура воды на поверхности океана (по экватору) в средних числах приведена ниже.

месяц	!	$^{\circ}\text{C}$
январь		27-29
февраль		27-29
март		27-29
апрель		27-29
май		27-29
июнь		27-29
июль		27-29
август		27-29

сентябрь	27-29
октябрь	27-29
ноябрь	27-29
декабрь	27-29

В районе островов Галанагос температура заметно ниже: 23-25°C.

Колебание температуры воды на поверхности океанов в течение года составляет в среднем 26,5°C - 29°C, за исключением района островов Галангос: 24-27°C.

Температура воды на глубине 25 м составляет в среднем 25-29°C, за исключением участков экватора восточнее и западнее островов Галанагос (17-25°C) западнее Африки (17-25°C).

Соленость воды

Наличие соли в морской воде на поверхности океана составляет 34-35 промилле^ж, на глубине 25 м - то же значение. При проектировании подводных объектов необходимо предусмотреть изоляцию бетонных, стальных поверхностей вспененной эпоксидной смолой с покрытием стеклотканью. (Указанная изоляция применяется при строительстве приливных электростанций, проектируемых институтом "Гидропроект" в г.Москве).

Границы плавучего льда

Льды Антарктиды опасности объекту на экваторе не представляют: граница плавучих льдов поднимается до 57° южной широты.

Скорость звука в воде

Скорость звука в воде на поверхности океана в пределах 1520-1540 м/сек, на глубине 25 м - в тех же пределах.

ж промилле - ‰, одна тысячная часть числа

Динамика вод

Преобладающее направление течения вод на поверхности Тихого океана - вдоль экватора на запад. Скорость течения - до 1.0 узла*. В Атлантическом и Индийском океанах преобладающее направление течений - западное, юго-западное от о. Суматра к Африке и устойчивое западное от Африки к Южной Америке. Скорость - до 1 узла, восточней Южной Америки - до 1,5 узлов (южно-пассатное течение).

Средняя высота волн в океанах по экватору 1,5 м и менее. Периодичность волн - 3-6 сек. Максимальная высота волн - 7,5 метра.

Морские сообщения

В Тихом океане экватор пересекают 26 морских путей, в Атлантическом и Индийском океанах - 31 морской путь. Пересечение пути с эстакадой ОТС - одна из технических проблем, решение которой возможно четырьмя способами: первый - понижение подводной части эстакады и повышение надводной** (в пределах вертикальной кривой радиуса не менее 100 км) для пропуска судов, второй - понижение подводной части эстакады и провоз судов в специальном судне-шлюзе глубиной посадки с понижением уровня воды в судне-шлюзе*** (рис. 9), третий - понижение подводной части эстакады и устройство разводной (телескопической) надводной части пролетного строения ****, четвертый - перегрузка судов без пересечения ими экватора.

* 1 морской узел - скорость - 1 морская миля в час - 1,852 км/час - 0,5144 м/сек.

** Наиболее громоздкий способ, но позволяет пропускать суда без ограничений работы ротора

*** Сложный способ; выполняет те же функции, как и в первом способе

**** Возможен до сборки ротора или после его подъема

Все первые три способа имеют общий недостаток – или увеличение размеров (утяжеление конструкции) или ослабление конструкции. Наиболее приемлемым способом является четвертый.

Если морские пути увязать таким образом, чтобы максимально сократить количество точек пересечения с эстакадой (например, до 10), то в этих точках запроектировав мощные плавающие порты с обеих сторон эстакады можно решить вопросы переброски грузов с судов на суда по обе стороны экватора.

Приняв во внимание всю совокупность факторов воздействия на эстакаду на море и стоимость защитных мероприятий по обеспечению прочности, устойчивости и живучести конструкции, приходим к выводу, что необходимо новое решение конструкции эстакады в океане, например, подводное расположение эстакады на глубине 15–20 м (см. рис. 15). Конструкция представляет собой неразрезную балку коробчатого сечения (4–5 блоков размером 3х3 м), например из железобетона.

Пролетное строение контролируется лазерным нивелиром и стабилизируется водометами. Такое решение эстакады на море позволяет:

1. Исключить громоздкую и неустойчивую эстакаду с подводной и надводной частью, которая подвержена колебаниям в вертикальной плоскости от ветра и в горизонтальной – от волн.
2. Уменьшить затраты на термостатирование конструкции, т.к. она будет находиться в практически одинаковой температурной среде.
3. Уменьшить затраты на защитные сооружения от ударов молний, морских судов.
4. Практически без дополнительных затрат решить вопрос пересечения эстакады с морскими трассами судов путем погружения

или всплытия эстакады при помощи штатных ведометов.

5. Значительно упростить строительство эстакады имея практически один тип конструкции на протяжении морского участка трассы и ряд других преимуществ.

Соответственно заармировав железобетонную балку коробчатого сечения и установив ее на опоры получим аналогичное на море пролетное строение на суше. Чем это выгодно? Тем, что конструкция (структура) пролетного строения становится универсальной и сверхиндустриальной. Возникает задача изготовления "плоской трубки с перегородками", которая состоит из армированного бетона. Но чтобы исключить затраты по монтажу балок такого типа предстоит решить вторую задачу - сделать эту трубку неразрезной, т.е. изготовить "бесконечную" плоскую железобетонную трубку с перегородками". Рождается решение: завод по изготовлению пролетного строения устанавливается на опоры и, выпуская, как паутину, конструкцию пролета, движется горизонтально со скоростью 10 см в минуту от опоры к опоре. Доставка бетона, арматуры и др. материалов может осуществляться по готовому пролету или с земли. Возможен вариант подачи материалов с воздуха, например, дирижаблями большой грузоподъемности (в горной местности).

Для изготовления пролетного строения на море предлагается два варианта: первый - завод неподвижно монтируется на суше у моря и по стапелям "выпускает" пролетное строение на воду; второй вариант - завод представляет собой плавучий блок, насыщенный оборудованием и материалами и отталкиваясь от готового пролета плывет в океане (рис. 16) "выпуская" готовое изделие.

Возможна комбинация обоих вариантов изготовления пролета. Констатируем, что приведенные в разработке различные способы

решения технических задач обладают признаками новизны и требуют детальной проработки и защиты во ВНИИГПЭ.

Возведение опор производится традиционным способом. Опоры высотой до 15 (устанавливаются на массивном фундаменте, выше 15 м - на свайном ростверке. При возведении массивных опор возможно применение скользящей опалубки с подачей бетона с земли или с летательных аппаратов большой грузоподъемности (например - дирижаблей).

Г Л А В А 2

Варианты конструкций пролетов, опор эстакады, расчеты на прочность и устойчивость.

Основные технические условия:

1. Нагрузка от ротора ОТС - 2 т/м.пог
2. Нагрузка от подвижного состава электропоезда на магнитной подвеске - 0,5 т/м.пог. на каждый блок пути.
3. Нагрузка от оборудования, кабелей связи, управления и т.п. - 1 т/м.пог.
4. Материал пролетов, опор: сталь, алюминий, железобетон.
5. Обеспечение требований технической эстетики.

Проектирование пролетов, компоновка сечения пролетов с требованием технической эстетики

Требования технической эстетики охватывают потребительские (эксплуатационные) свойства промышленного изделия (сооружения), всевозможные формы их связи с человеком в процессе эксплуатации сооружения.

Единый комплекс требований технической эстетики делится на группы: социальные, функциональные, технические (технологические), эргономические, эстетические.

Социальные требования определяют соответствие сооружения общественно необходимым потребностям. Считаем, что будущий проект сооружения будет удовлетворять социальным требованиям.

Под функциональными требованиями подразумевается степень соответствия сооружения потребностям человека.

Важнейшей частью функциональных требований к сооружению является выполнение им полезных для людей дополнительных функций. Применительно к эстакаде ОТС сооружение дает возможность людям

осуществлять трансконтинентальные грузовые и пассажирские перевозки с большой скоростью и пропускной способностью, возможностью осуществления мероприятий спутниковой и кабельной связи, энергообеспечения регионов, морских, наземных судов, добычи нефти, газа, полезных ископаемых, строительство линейных городов в благоприятных климатических условиях, строительство зон отдыха на суше, на море, под водой и бесконечное множество иных мероприятий, направленных на благо человека.

Требования эргономики — науки о труде, развивающейся на основе достижений психологии, физиологии, анатомии, медицины, гигиены предусматривают создание оптимальных условий при эксплуатации сооружения и вспомогательных сооружений комплекса ОТС.

Первостепенное значение имеет соответствие функции, формы и конструкции сооружения специфическим эргономическим свойствам человека. Эргономические свойства человека подразделяются на антропометрические, психофизиологические, психологические и гигиенические.

Оптимальный учет антропометрических данных обуславливает органическую связь сооружения с человеком, способствует формированию правильной масштабности конструкций, сооружений, которая является одной из важнейших категорий красоты.

Требования и рекомендации эргономики необходимо учитывать при проектировании рабочих мест, будь то кресло оператора ротора ОТС, или кабина лифта в опоре эстакады, кресло пассажира в скоростном поезде или мини-радиостанция в руке монтажника.

Эстетические требования предполагают соответствие форм сооружений, конструкций, изделий духовным потребностям человека, идеалам, вкусам, демократической моде.

Самым важным требованием технической эстетики к промышленным изделиям и сооружениям является необходимость соответствия содержания и формы, пользы и красоты. Форма предметов требует целостности, единства функции и материальной основы — в этом мера проявления полезности, целесообразности и красоты.

Только технически совершенные, удобные в эксплуатации, экономичные изделия имеют предпосылки для того, чтобы стать эстетически полноценными. Они могут считаться красивыми лишь в том случае, если их гармоничная форма соответствует конкретной функции, а не является придатком, надуманным внешним оформлением.

Прекрасно иллюстрирует вышеприведенная форма скоростного поезда на магнитной подушке, форма, соответствующая назначению поезда — скорость, стремительность линий, комфорт и еще раз скорость. Или скоростная автомобильная дорога, вписанная в ландшафт по особым законам проектирования, так называемая "клотоидная трасса".

Суммируя сказанное, можно сформулировать комплекс обобщенной оценки эстетики сооружения. Такими достоинствами будут являться рациональная красота сооружения, соответствие пластики свойствам материалов и прогрессивной технологии производства, высокое качество обработки видимых поверхностей формы, органическая взаимосвязь пропорционального, масштабного и ритмического строя композиции изделия с системой унификации его узлов и деталей. Обратим внимание, что для эстакады особенно важно выполнение условия эстетики "масштабного и ритмического строя композиции изделия с системой унификации его узлов". По мнению авторов, проектирование эстакады на стадии технико-экономического обоснования и далее будет производиться компьютером по закону эстетики, изложенному выше.

Сегодня, прорабатывая конструкцию, ее возможность жизни, ее форму, прочность, мы невольно подчиняемся законам эстетики, проявляя элементы творчества, как средства построения красивой формы. Для нашей конструкции особое значение имеет пропорционирование, т.к. линейная конструкция пролетного строения с определенной частотой делится опорами разной высоты. Одним из методов унификации и модульной координации, а следовательно, и гармонизации комплекса сооружения является метод числовых рядов. Авторами предлагается пропорция вида $a:v=v:(a+v)$, или $a:v=0,617$. Этот коэффициент мы рекомендуем применять при определении соотношений длин, высот и др. размеров.

Конструирование пролетных строений

Основные условия для конструирования пролетных строений — максимальная длина пролета, обеспечение сохранности блока, в котором монтируется ротор с оболочкой, магнитный подвес и линейный двигатель, обеспечение безопасного передвижения скоростных поездов на магнитном подвесе с большими скоростями в двух направлениях, возможность размещения коммуникаций обслуживания комплекса.

Исходя из вышеперечисленных условий, сконструировано первое сечение эстакады (рис. 1), где блок 1 предназначен для размещения ротора, подвеса и двигателя, блоки 2 — для скоростных поездов, блок 3 — для выхода пассажиров, размещения магистральных кабелей связи, управление, обслуживание и т.п.

Всю нагрузку от веса конструкции и подвижного состава воспринимают две фермы высотой 6 м^{*}. В связи с тем, что блок 1 разрезан сверху (раскрывается для выхода ротора), возникла необходимость стабилизировать верхние сжатые пояса ферм в вертикальной плоскости путем установки подкосов 5.

* Здесь и далее размеры и величины расчетные

Пролет утяжеляется, но появляются продольные полости 4 для размещения продольных магистралей термостатирования, кабелей питания магнитных подвесов, двигателя, средств управления и т.п. Наиболее тяжелое оборудование предлагается сосредотачивать в теле опор.

Для уменьшения ветрового напора на конструкцию предлагается применять легкие лонжероны 5 (рис. 3) для закругления формы пролетного строения. Между лонжеронами необходимо уложить теплоизоляционный материал, например, пенопласт для уменьшения теплопотерь при термостатировании конструкции.

Достоинство конструкции: возможность быстрой замены блоков 2 при аварии скоростных поездов; возможность переброски через препятствия всего комплекса эстакады: ротора с оборудованием и скоростной дороги в двух направлениях на общих опорах. Недостаток - малый расчетный пролет - 84 метра, удлинение которого (при постоянной полезной нагрузке) ведет к резкому возрастанию собственного веса фермы, т.е. при пролете более 84 метра ферма, в основном, будет нести самое себя.

На рис. 4 представлен новый вариант компоновки сечения пролета. Достоинства конструкции: уменьшена ветровая нагрузка на фермы, возрасла эстетика сечения. Недостаток - смежное расположение блоков 2 и блока I, т.е. опасность аварии от скоростной дороги; относительно короткий пролет в связи с отсутствием подкосов (их заменяет блок-коробка 2).

Однако, следует иметь в виду, что протяжение эстакады огромно и необходим вариант универсальный, экономичный, приемлемый как для суши, так и для океана.

В связи с этим предлагается новый вариант пролетного строения - железобетонная неразрезная балка коробчатого сечения с

четырьмя или пятью коробками (блоками) в сечении. Сразу же необходимо оговориться, что с точки зрения изготовления пролетного строения оно должно быть неразрезным (тем более, что вакуумные блоки для движения скоростных поездов не должны иметь швов).

На рис. 5 и 6 изображен проект такого пролетного строения с блоками сечением 3 x 3 с использованием верхней части коробки для движения автотранспорта.

На рис. 7 изображены соотношения длин пролетов с высотой опор, которые необходимо соблюдать при проектировании эстакады в населенных пунктах.

При переходе эстакадой водных преград, с целью экономии средств на возведение опор, рекомендуется применить арочные пролетные строения (рис. 8) для увеличения пролетов и для исключения монотонности эстакады, особенно в населенных пунктах.

Тип опор эстакады проработан на листе 9. Опоры подразделяются на 4 типа: опора 15 м, опора 30 м, опора 50 м, опора 100 м.

Опора 15 м (и менее 15 м) представляет собой монолитный блок толщиной до 3 м, шириной 12 м на плоском массивном фундаменте.

Опора 30 м может быть как монолитной, так и сборной на свайном фундаменте, состоящем из 4-х буронабивных свай.

Опора 50 м - сборная, из нескольких блоков с соединением пучками преднапряженной арматуры, на свайном основании.

Опора 100 м - тело опоры - сборное из блоков, фундамент - свайный.

При проектировании условного ландшафта принято, что от общего количества опор 50% составляют опоры 15 м, 25% - опоры 30 м, 15% - опоры 50 м, 10% - опоры 100 м.

Большой объем опор типа 50 и 100 м вызвал необходимость

проектирования более экономичной опоры. На рис. 13 изображена мачтовая опора с растяжками в середине и наверху опоры. Предлагается принять этот тип опор при высоте эстакады от 50 м и выше (при необходимости и возможности - с 30 м).

Мачтовые опоры следует монтировать в районе землетрясений, где частота опор увеличивается в два раза. На рис. 13 приведен вариант опоры на железобетонной плите диаметром около 30 м, которая должна удерживать опору в случае трещины или просадки грунта под плитой. Для гашения колебаний пята опоры установлена на верхней железобетонной плите, которая опирается на нижнюю через упругую прокладку. Пролетное строение опирается на опору через упругую амортизирующую прокладку под фермой.

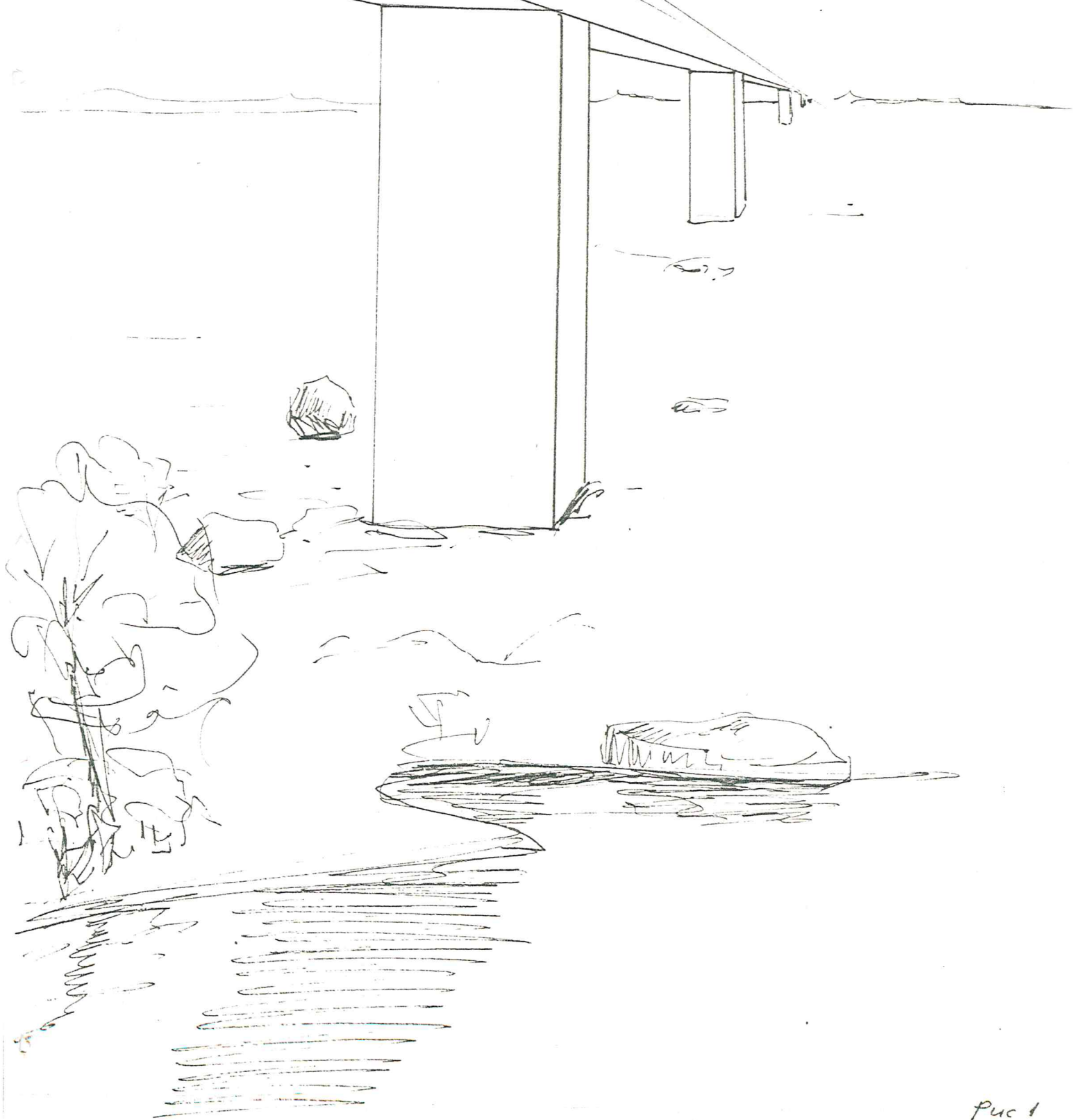
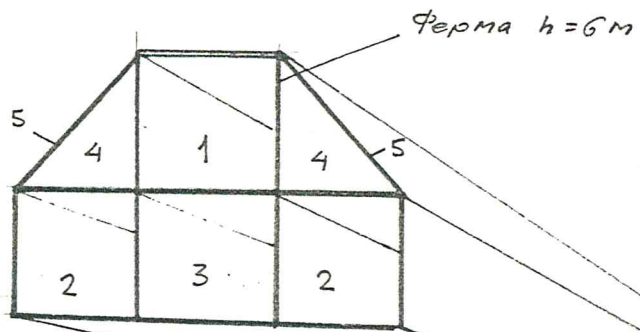
При прохождении эстакады вблизи действующих вулканов для предохранения опор устраиваются подпорные стенки, направляющие потоки лавы между опорами. Высота подпорных стенок принята до 3 м (зависит от расстояния до кратера, ландшафта, массы лавы и др.).

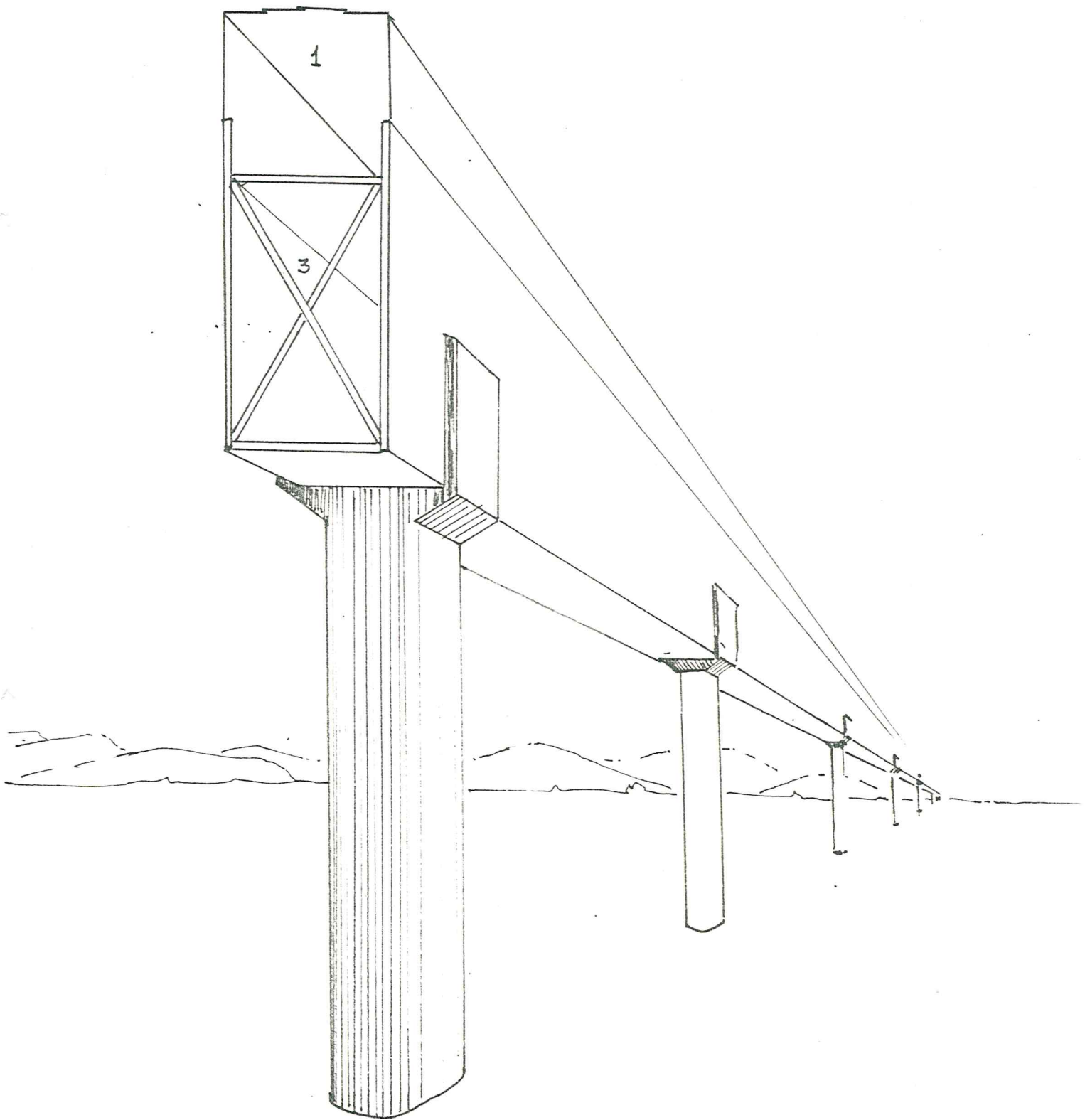
Для предохранения фермы от ударов выбрасываемой породы, необходимо предусмотреть амортизирующее покрытие, например, из композиционного материала, такого как алюминиевые пластины с минераловатными плитами.

При необходимости возведения опор из монолитного бетона предлагается использовать скользящий блок-опалубку или скользящий завод-опалубку (рис. 10). Подача бетона или составляющих может производиться с земли или с дирижаблей высокой грузоподъемности.

Как уже описывалось ранее, для промышленного изготовления пролетного строения предлагается использовать установленный на 3-4-х опорах завод, передвигающийся вдоль трассы и изготов-

ливающий неразрезное пролетное строение из железобетона с большой скоростью твердения (рис. II, I2). Передвижение завода осуществляется следующим образом: п-образные рамы крепятся за выступающие из опоры кронштейны и с помощью двигателя в рамах протаскивают корпус завода со скоростью около 10 см в минуту по направляющим пазам в корпусе. Затем поочередно первая, вторая и третья п-образная рамы отцепляются от опоры и скользя по корпусу завода переезжают на I пролет вперед и закрепляются на опорах, протаскивая вперед корпус завода. В образовавшийся просвет между опорой и пролетным строением вставляется опорная часть, например, из резинометаллической прокладки, которую монтирует робот, закрепленный на задней площадке завода.





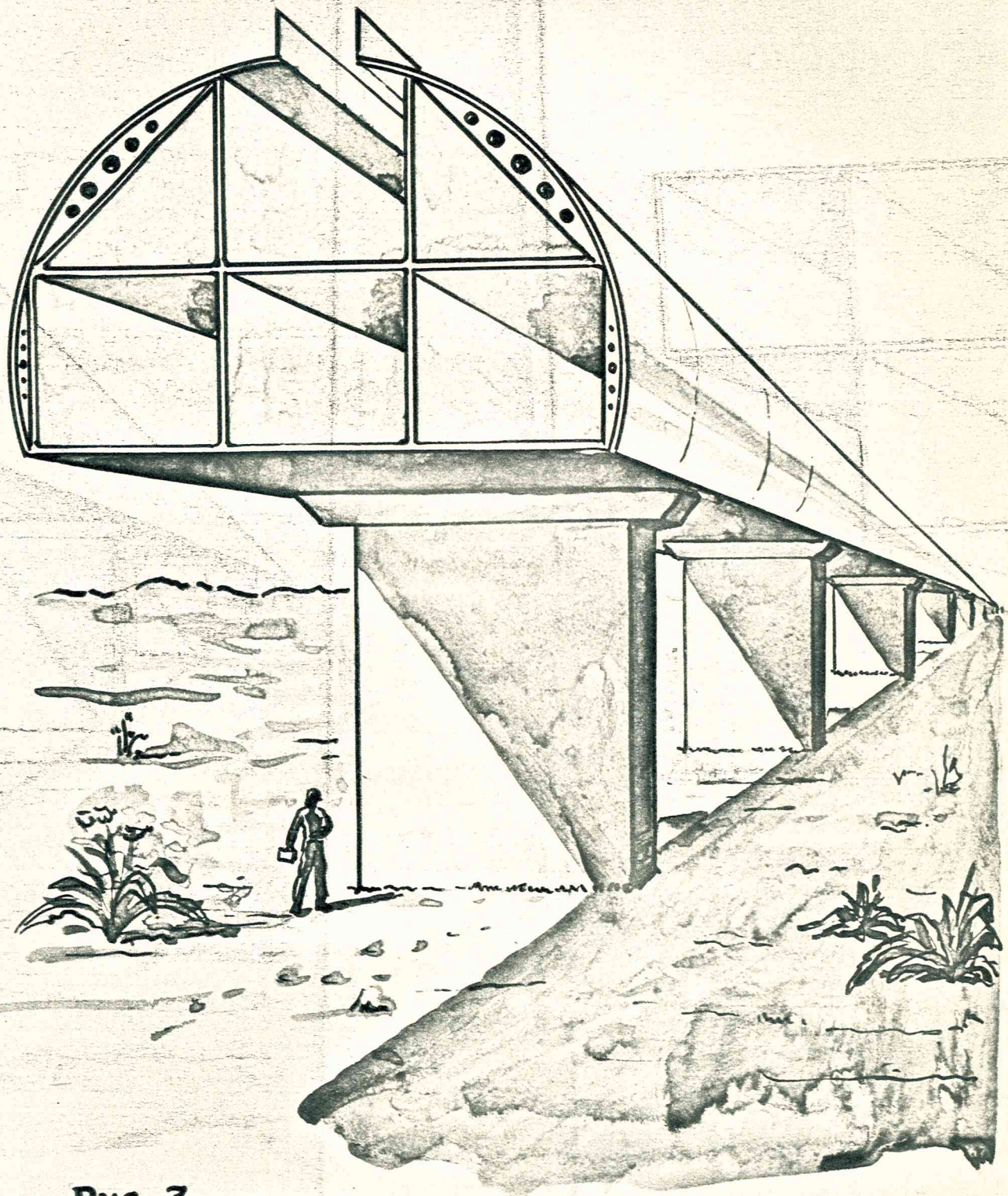


Рис. 3

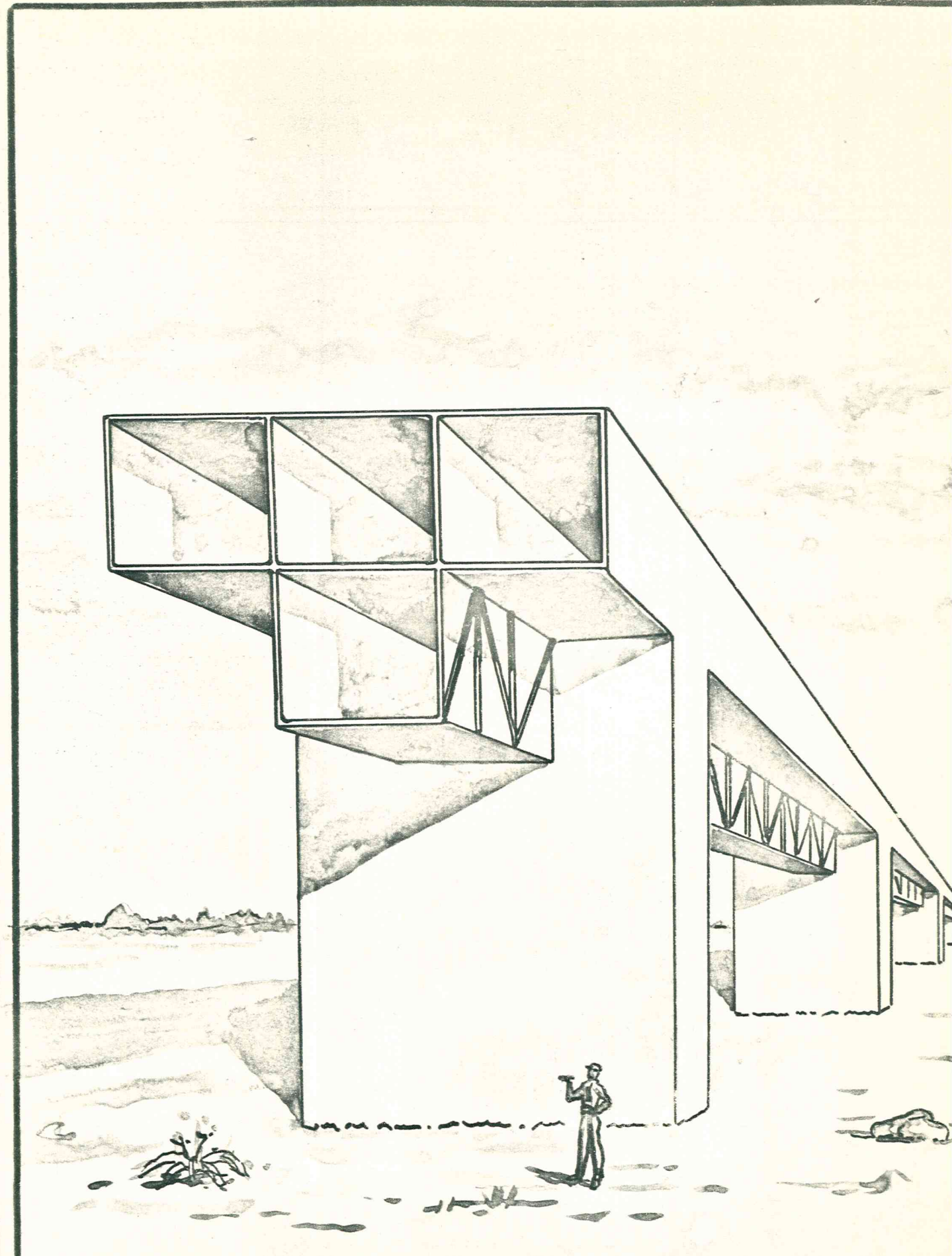
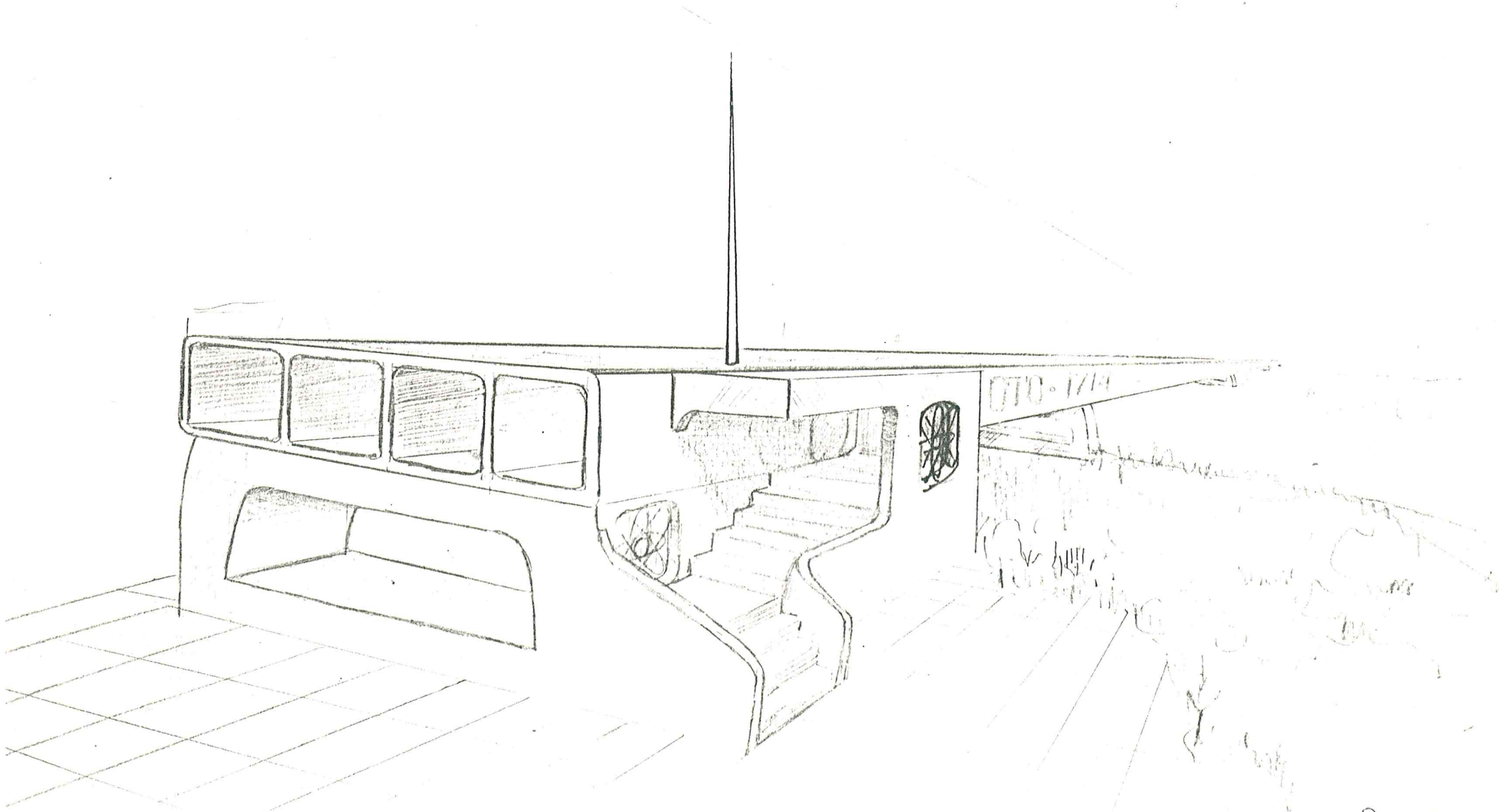
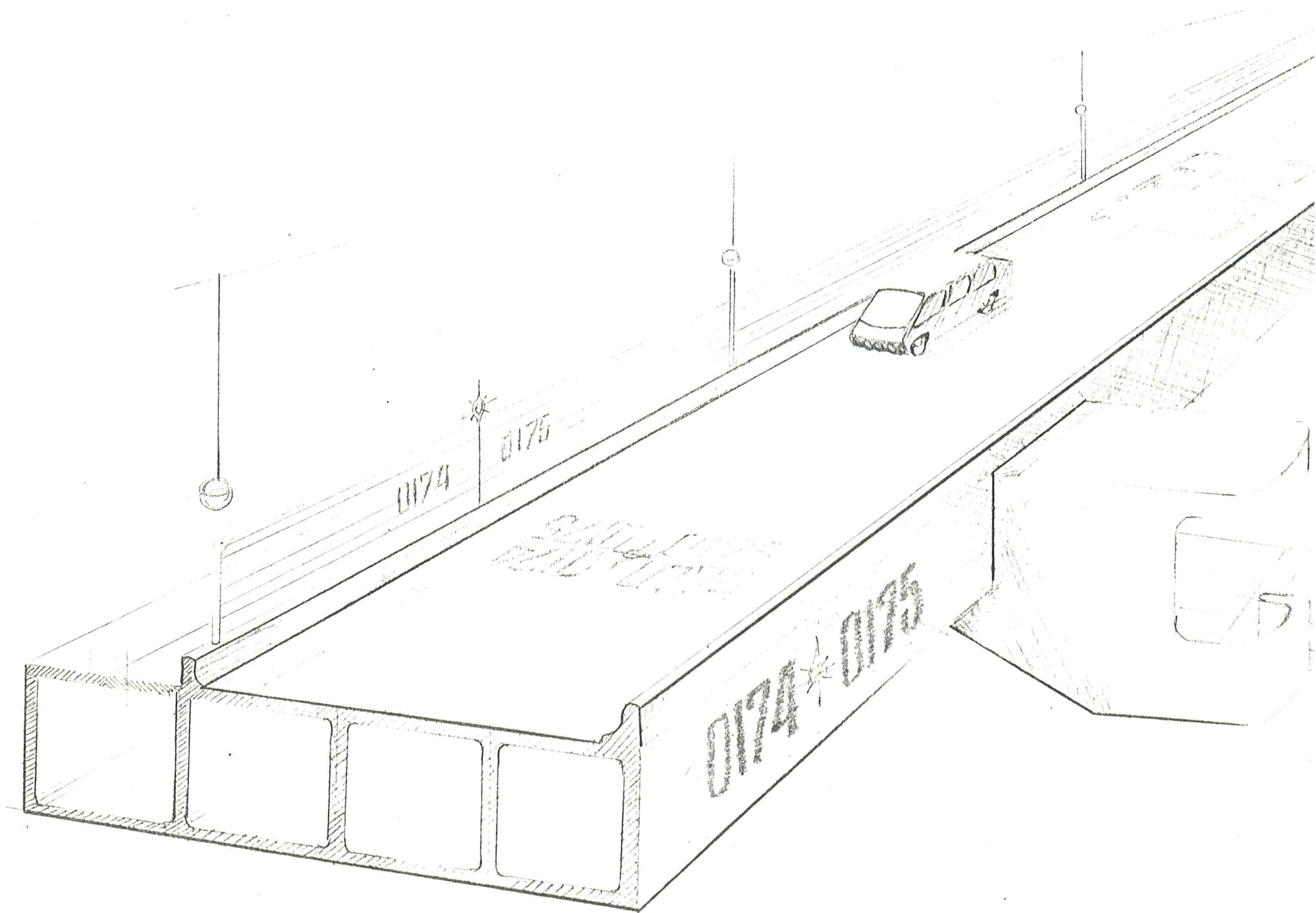
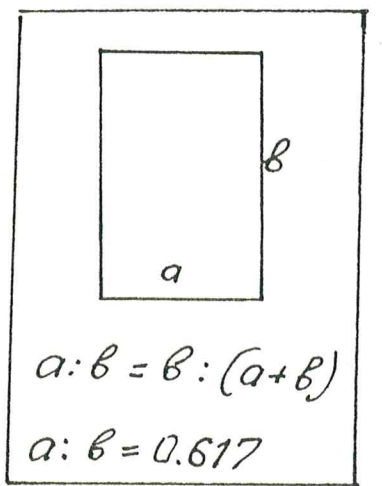
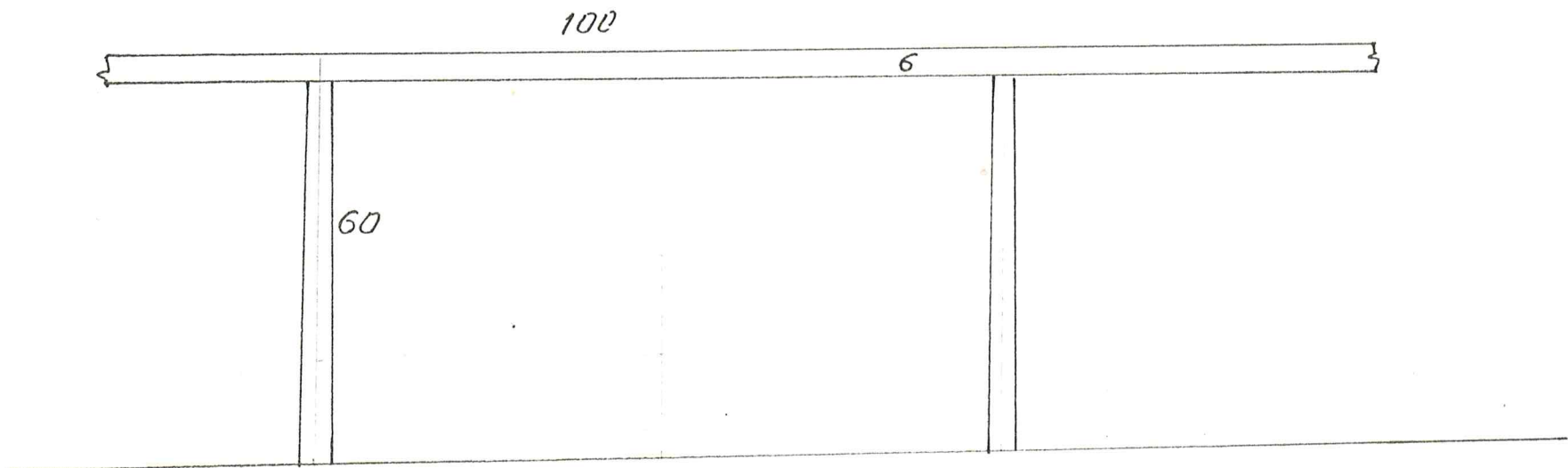
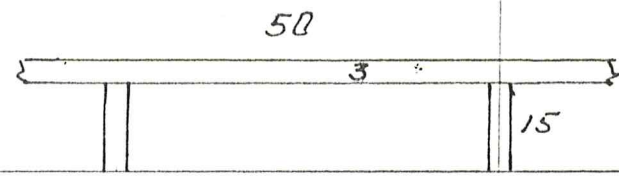
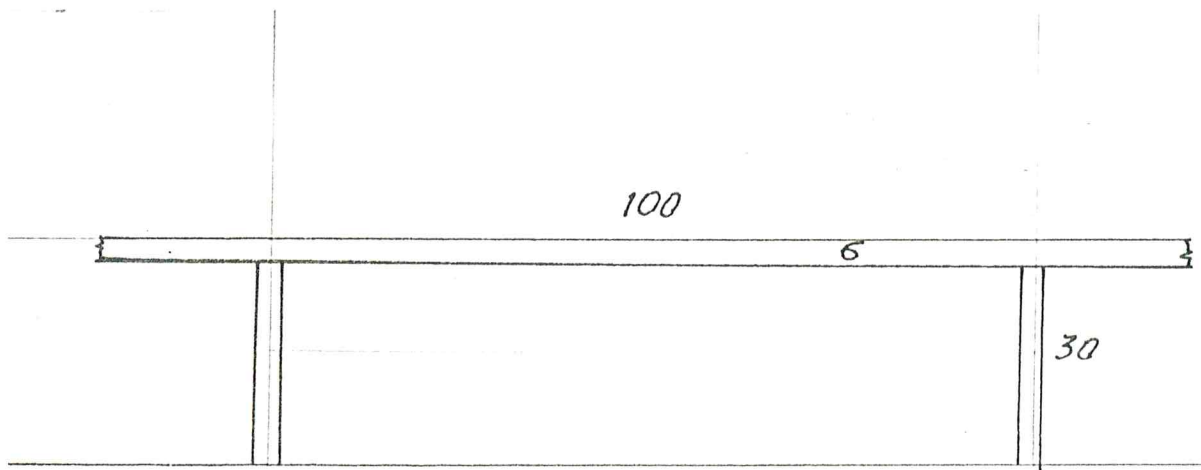


Рис. 4



OTO-1714





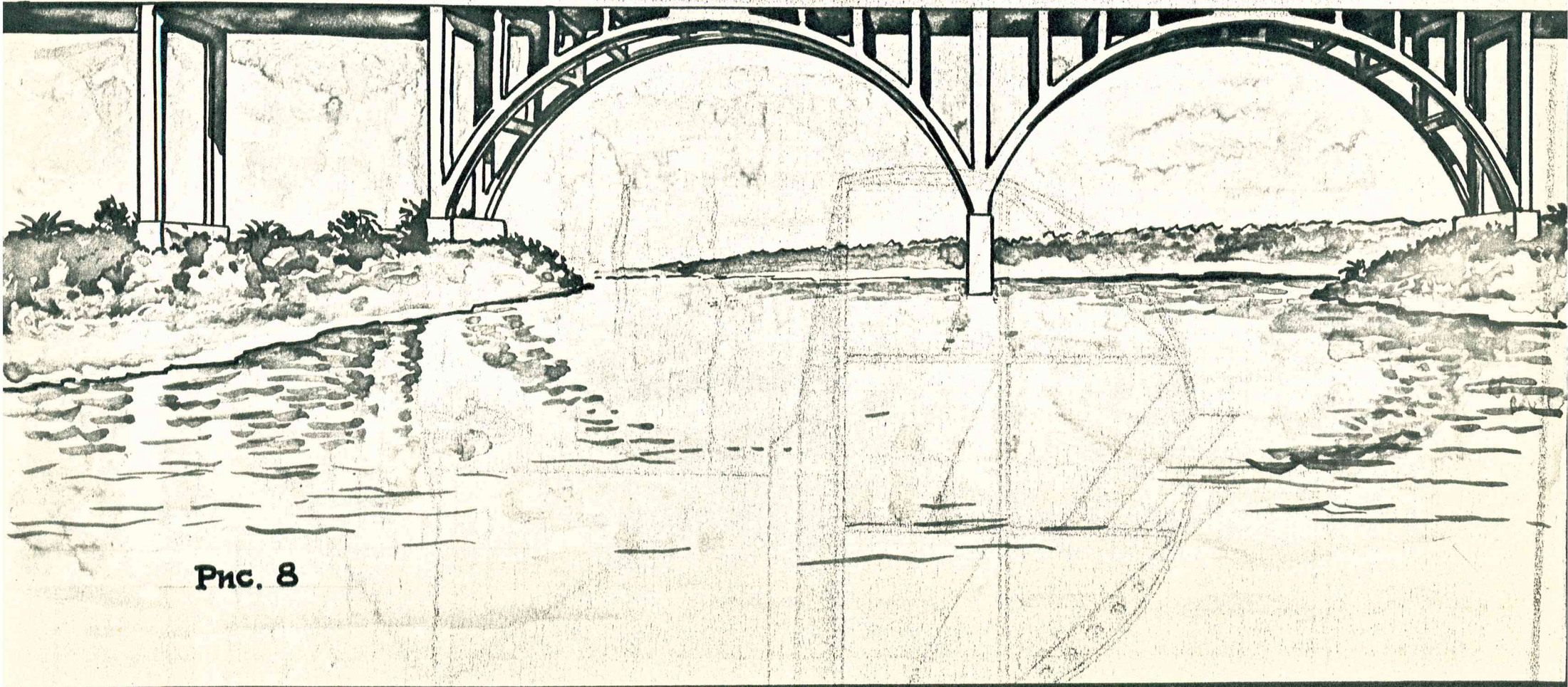
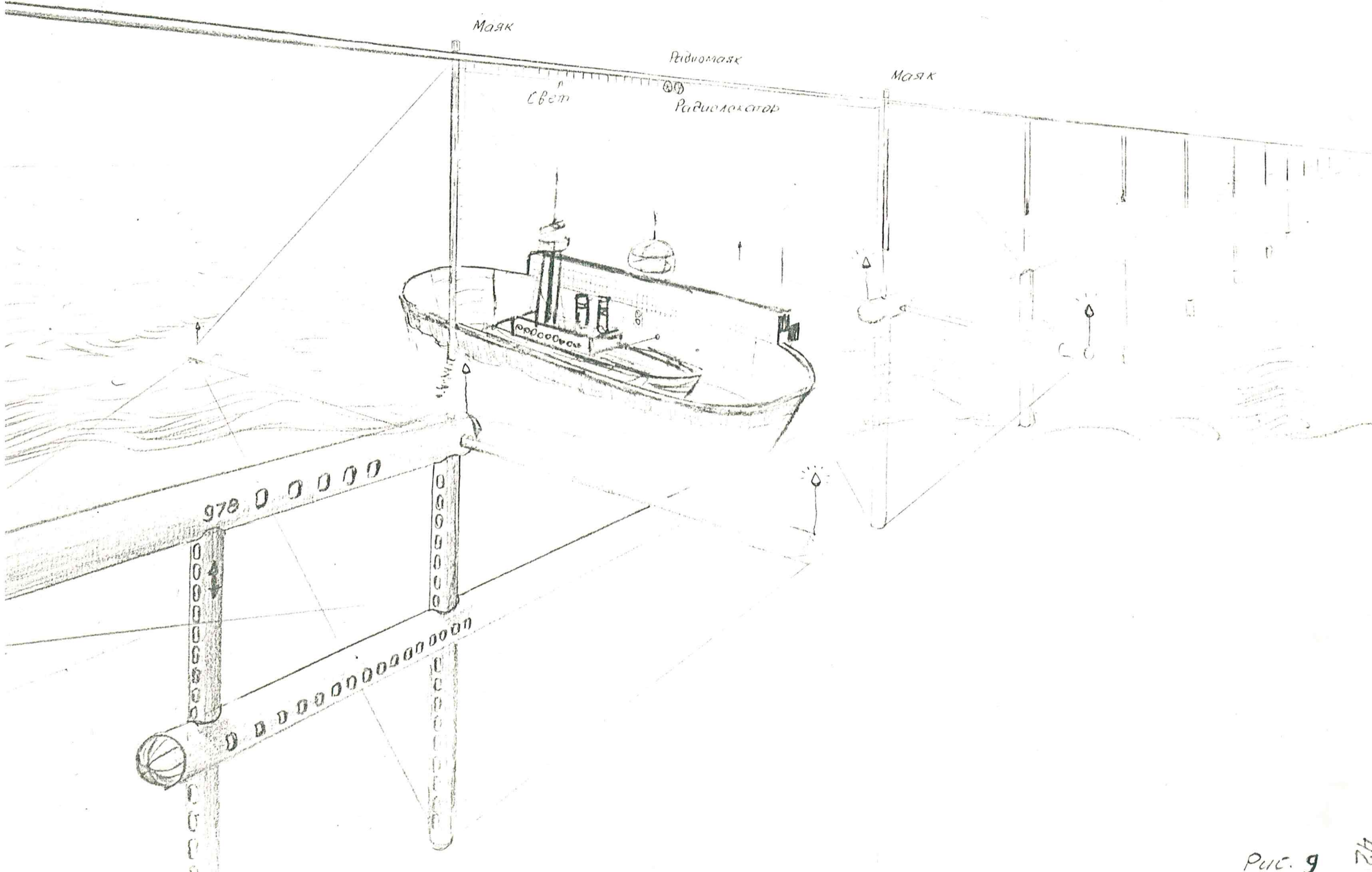
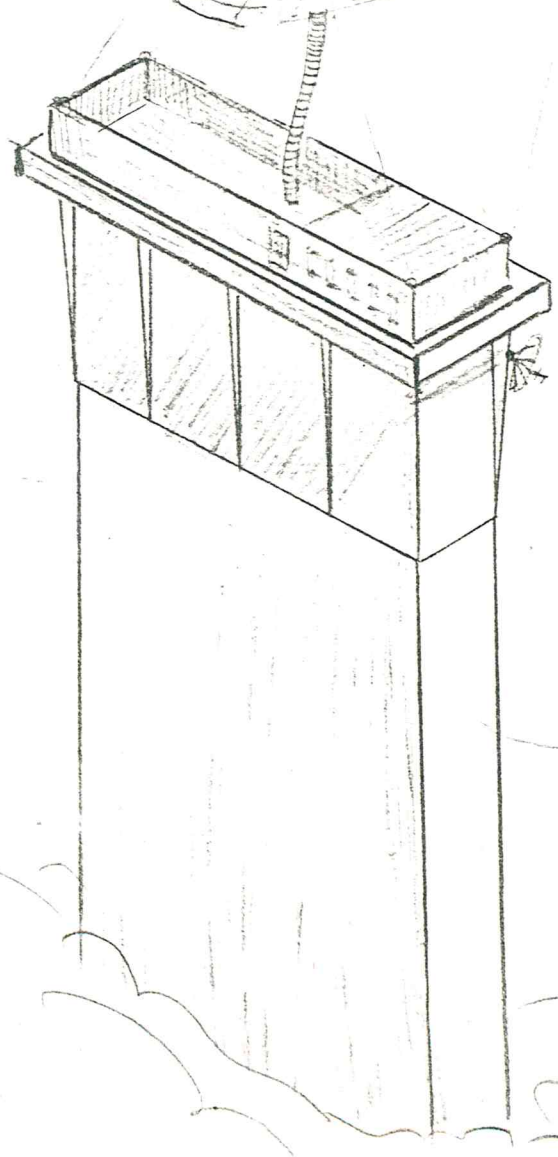
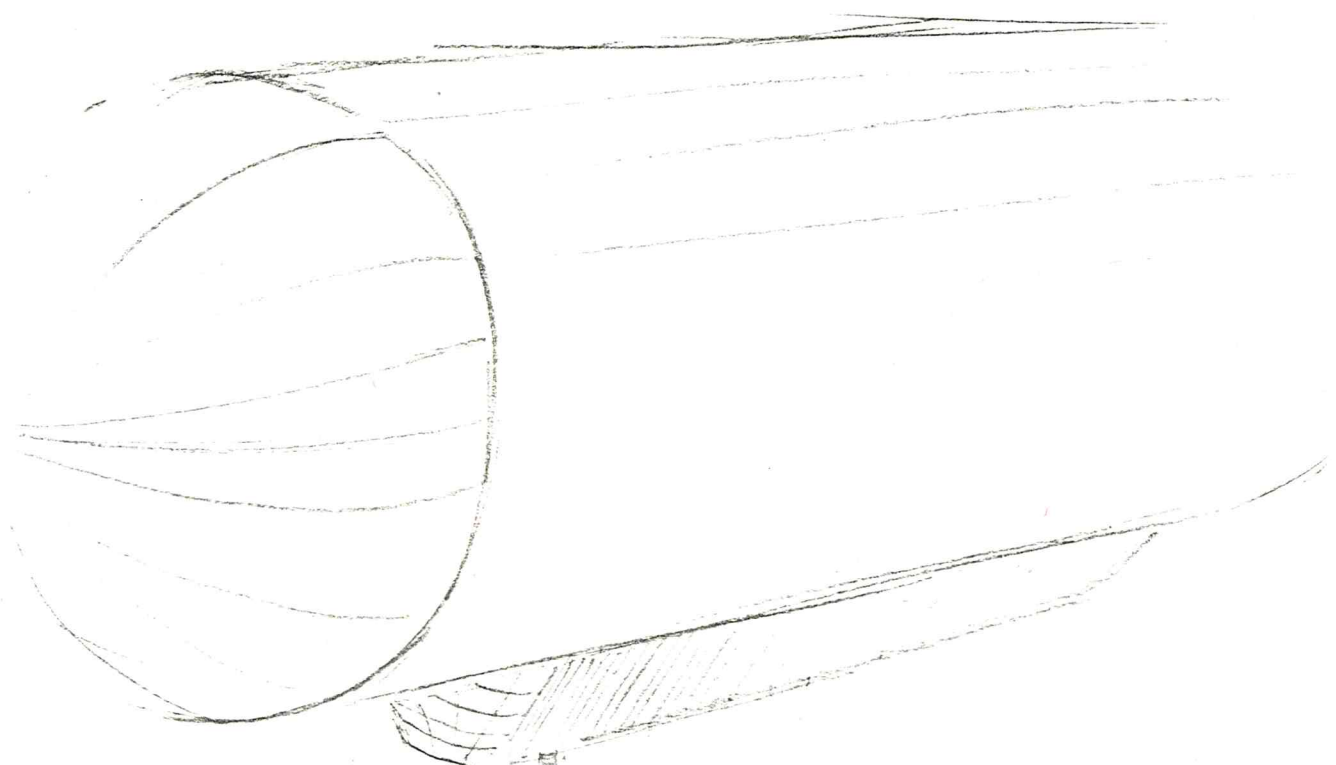


Рис. 8





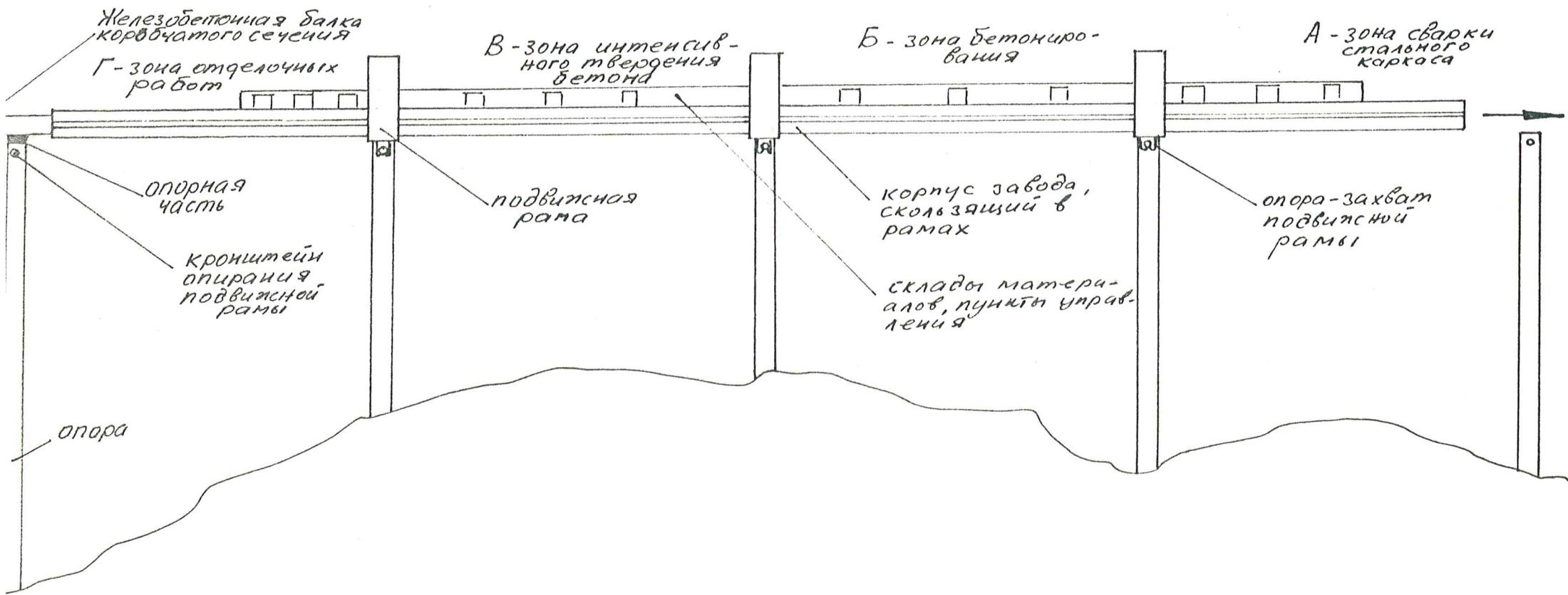
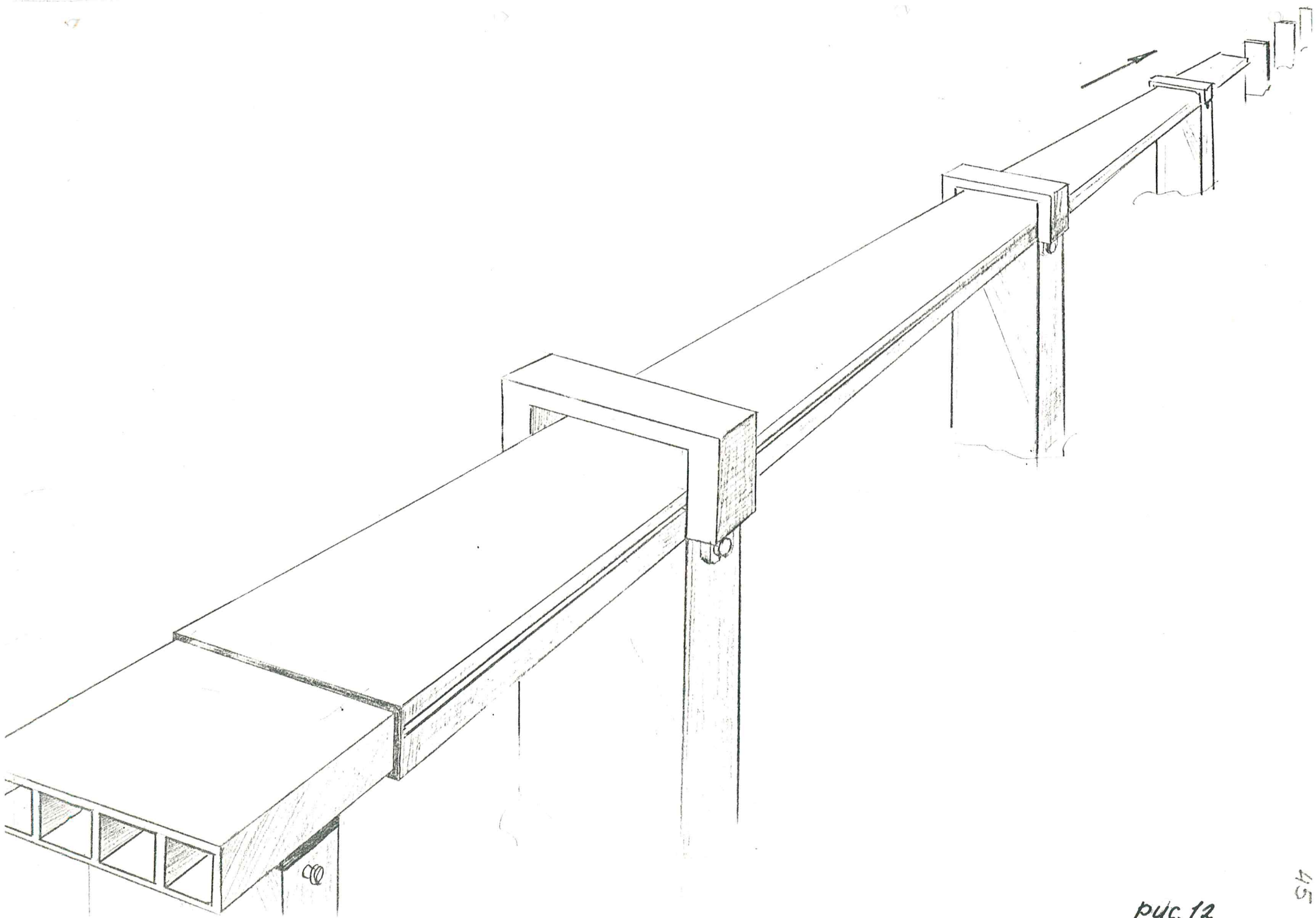
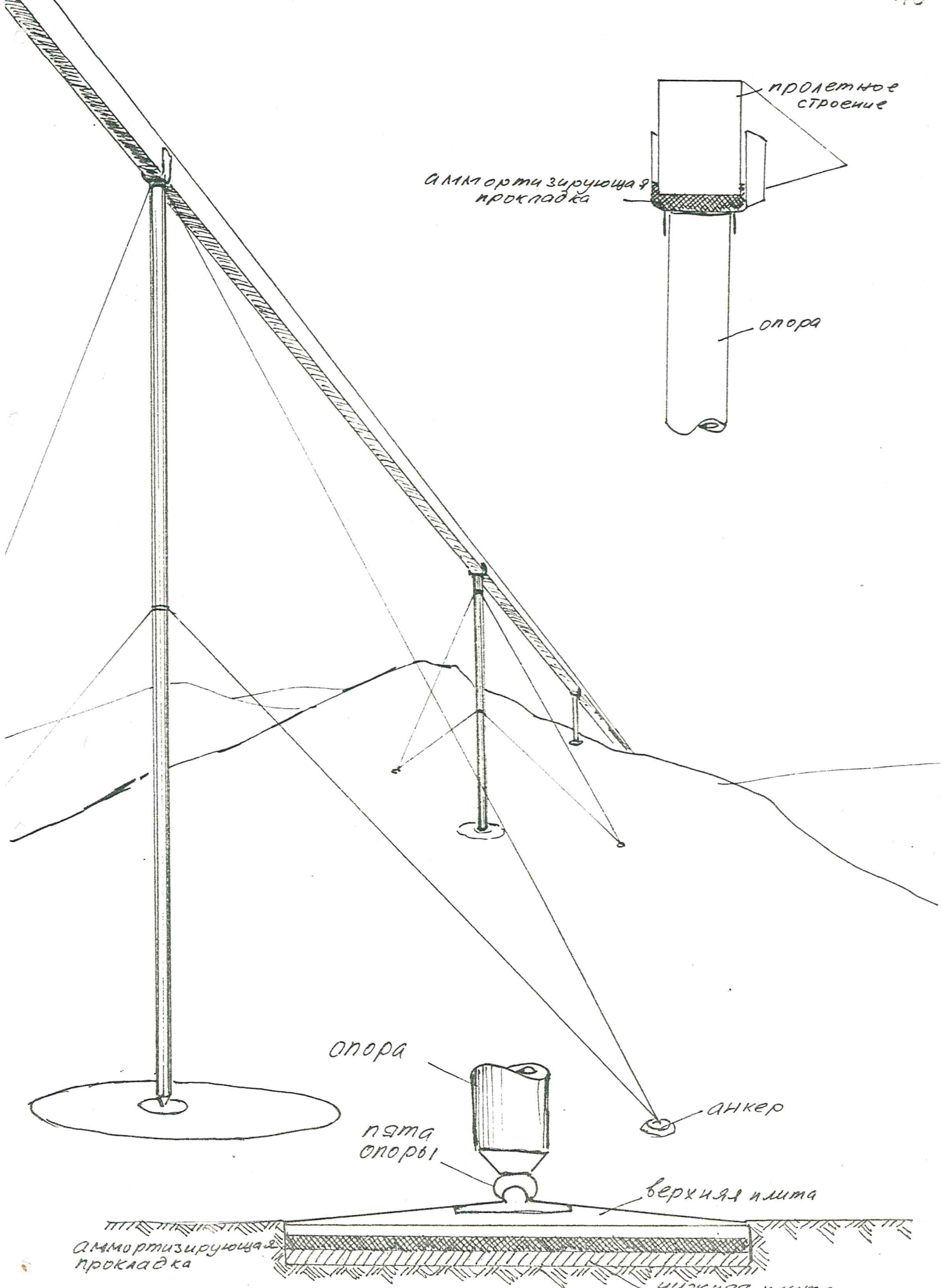
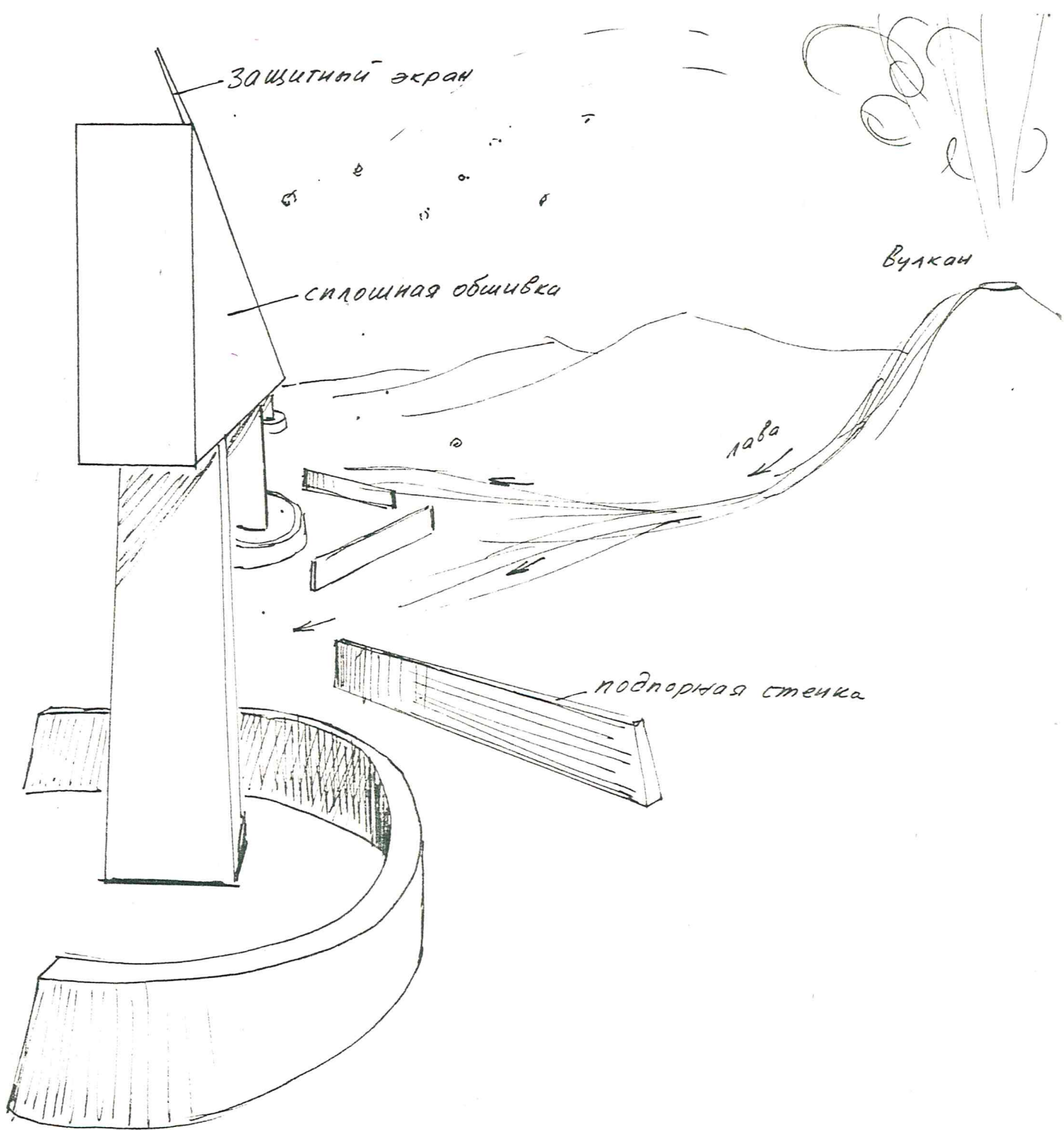


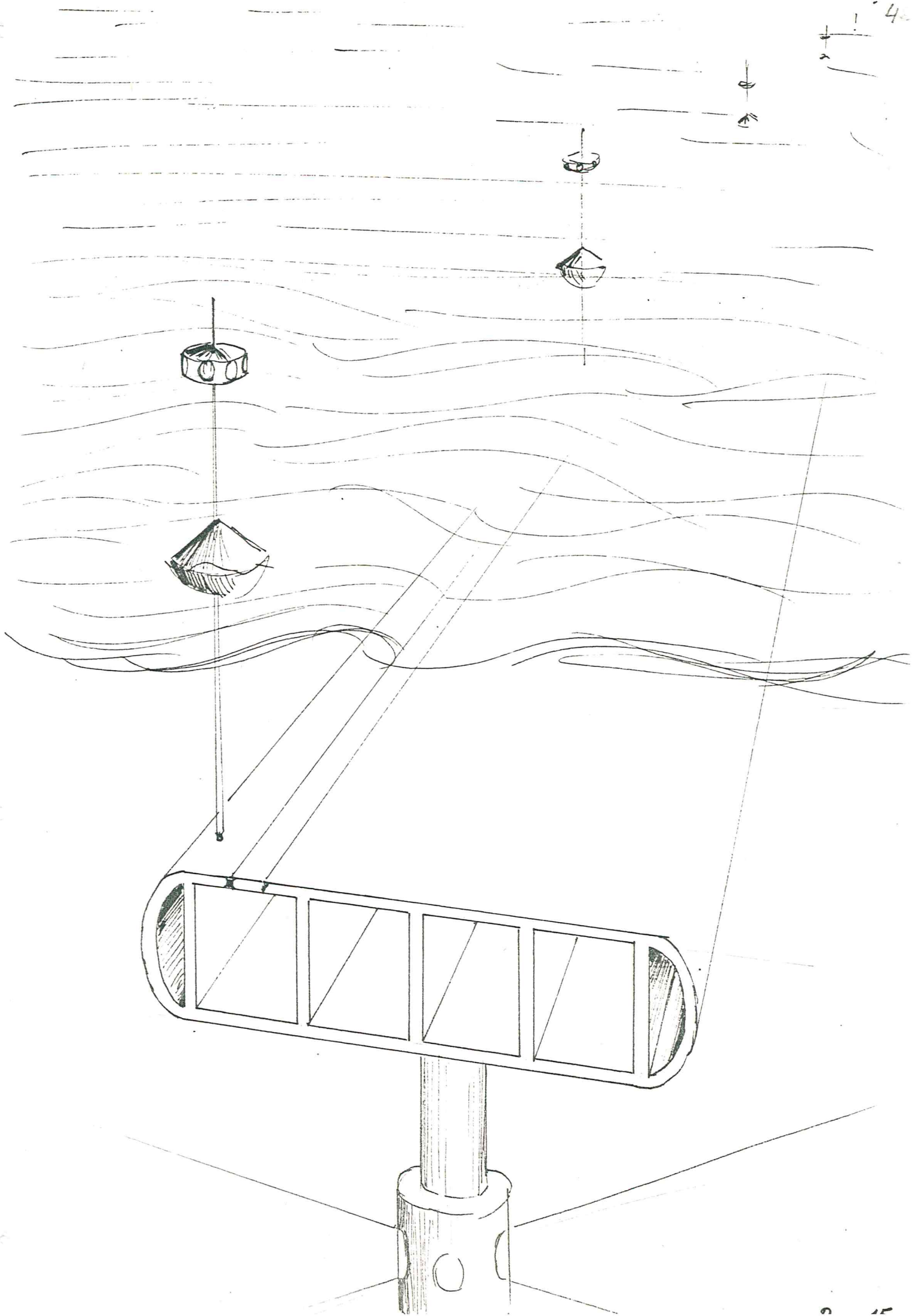
Рис. 11



pic. 12







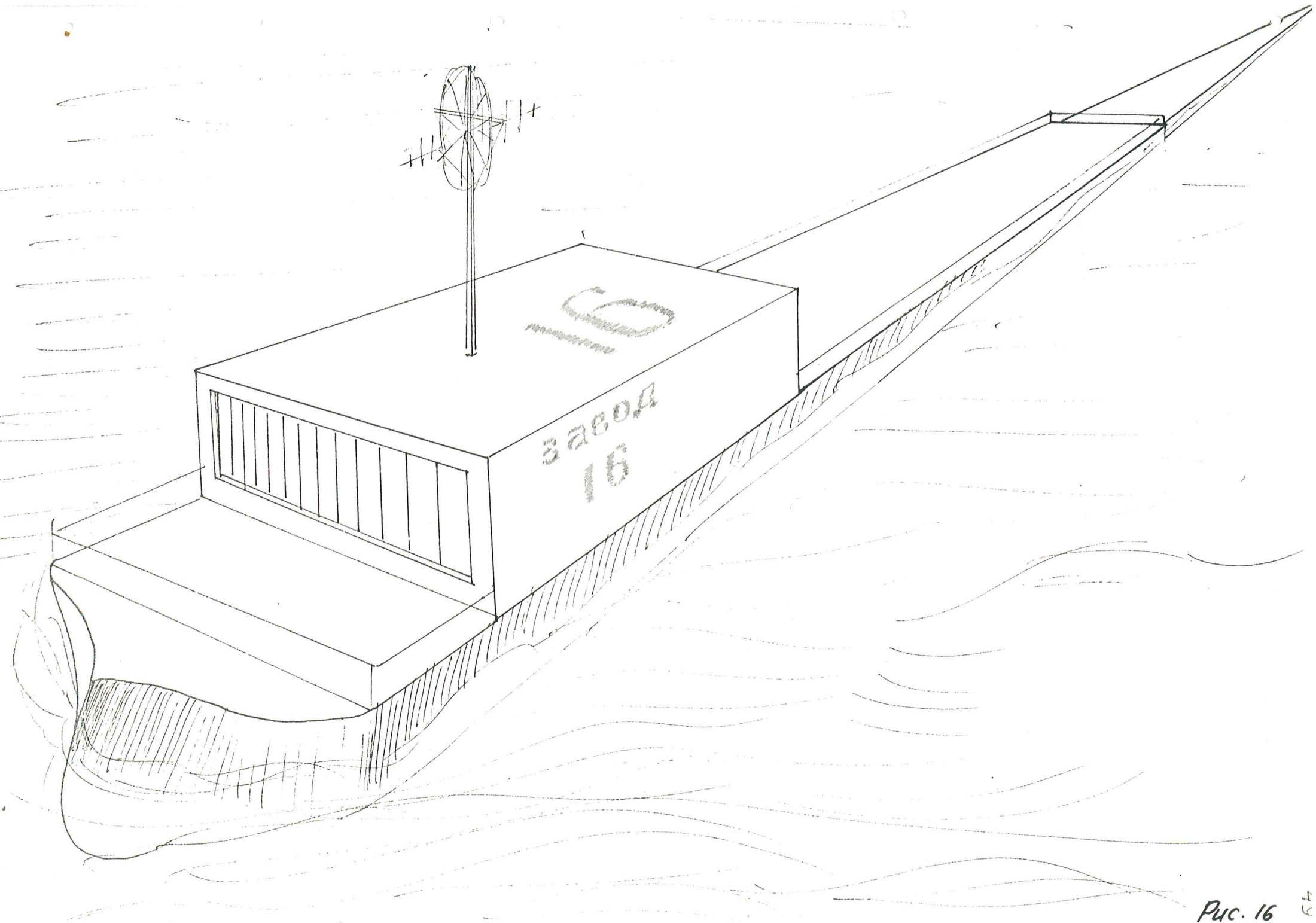
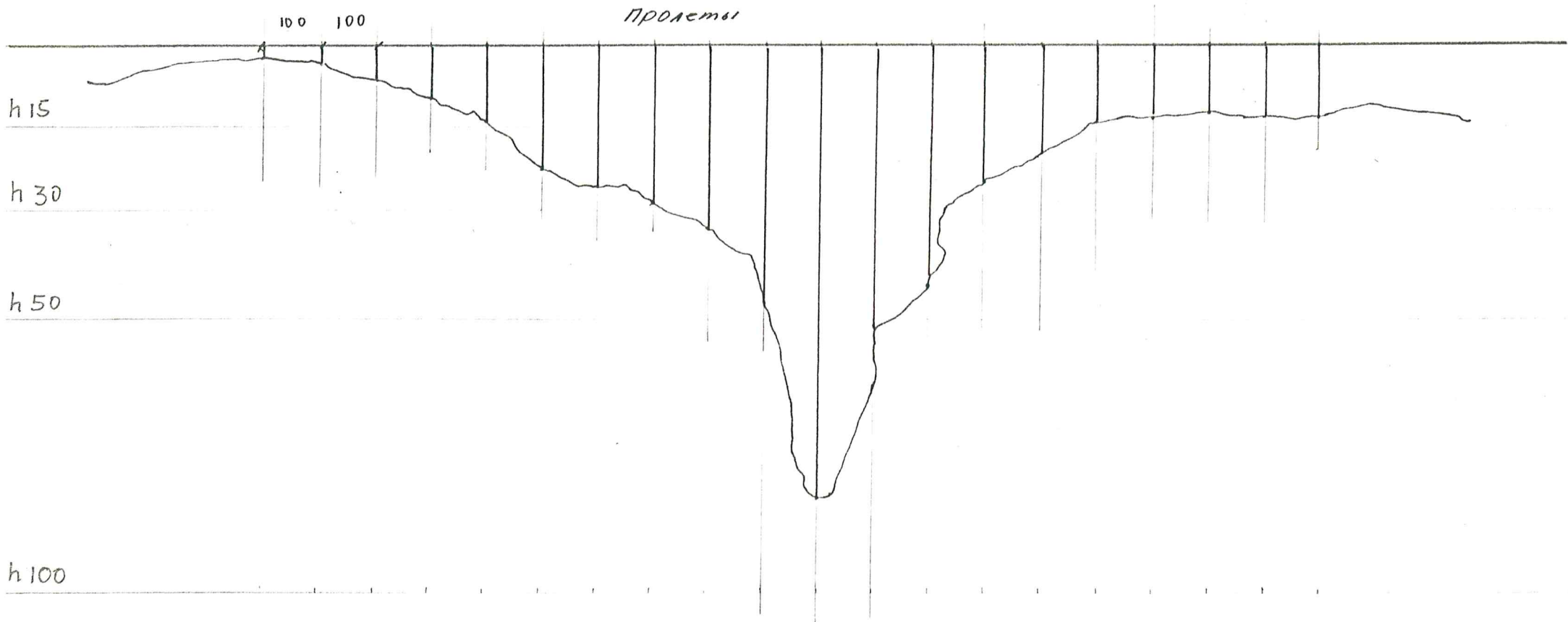


Рис. 16 К4



Размерн - в метрах

Всего опор	- 20 шп	%
опор h 15 (до 15 м)	- 10 -"	50
h 30	- 5 -"	25
h 50	- 3 -"	15
h 100	- 2 -"	10

ГЛАВА 3

Определение объемов работ, расходы материалов, стоимости работ.

Спираясь на произведенные выше изыскания, расчеты, проектно-конструкторские работы и обоснования, подводим итог работы по конструированию эстакады ОТС на экваторе Земли:

1. Длина трассы около 40075 км.

2. Длина трассы по океанам, морям, заливам, озерам, рекам - 31170 км, по суше - 8905 км. Материковая отмель - около 630 км (глубиной 100-200 м).

3. Минимальный радиус вертикальных кривых в профиле - 100 км, минимальный радиус кривых в плане - 6000 км (I вариант обхода пика 5000 м Кордильер в Южной Америке).

4. Трасса на суше проходит по следующим республикам:

В Африке:

Габон	-	372 км,
Конго	-	360 км,
Заир	-	948 км,
Уганда	-	288 км,
Кения	-	492 км,
Сомали	-	144 км.

В Южной Америке:

Эквадор	-	372 км,
Колумбия	-	420 км,
Бразилия	-	1500 км.

В Индонезии:

Длина трассы по о. Суматра, о. Калимантан и о. Сулавеси составляет 934 км.

5. I вариант трассы - обход пика 5000 м Кордильер в Южной Америке:

5.1. Объем сосредоточенных земляных работ - $1730,75 \times 10^6 \text{ м}^3$.

5.2. Объем линейных земляных работ по трассе и у опор - $901,63 \times 10^6 \text{ м}^3$.

Общий объем - $2632,38 \times 10^6 \text{ м}^3$.

6. II вариант трассы - раскрытие выемки на км 31503,4 (пик 5000):

6.1. Объем сосредоточенных земляных работ - $25670,75 \times 10^6 \text{ м}^3$

6.2. Объем линейных земляных работ по трассе и у опор - $901,63 \text{ м}^3$.

Общий объем - $26572,4 \times 10^6 \text{ м}^3$.

7. Объем бетона для строительства опор эстакады - $284,9 \times 10^6 \text{ м}^3$ ж.

8. Объем бетона для строительства пролетного строения непрерывным способом составляет $320,6 \cdot 10^6 \text{ м}^3$.

9. Общее протяжение автомобильных дорог I технической категории - 32,6 тыс. км.

10. Продолжительность строительства эстакады и дорог - 10 лет.

11. Темп строительства эстакады - 10 см в минуту.

12. Мероприятия по защите эстакады от вулканических выбросов и лавы:

12.1. Объем подпорных стенок составляет $1 \times 10^6 \text{ м}^3$.

12.2. Площадь щитов, защищающих эстакаду от выбросов вулканов составляет 500000 м².

13. Мероприятия по сохранению эстакады от землетрясений:

13.1. Увеличение шага опор в 2 раза в районе землетрясений на расстоянии 1500 км, дополнительный объем бетона опор равен:

$$284,9 \cdot 10^6 : IIII3I2 = 2559,5 \text{ м}^3 \times 18750 = 47,990 \times 10^6 \text{ м}^3, \text{ где}$$

ж Объем бетона опор принят с учетом нагрузки от подвижного завода по изготовлению железобетонного пролетного строения

284,9 x 10⁶ - объем всех опор эстакады,
III3I2 - количество всех опор эстакады,
2559,5 - средний объем одной опоры.

14. Молниезащита сооружена на протяжении 40075 км^ж.

15. Защита подводной части эстакады от воздействия солей воды - на протяжении 31170 тыс.км.

16. Количество устройств для шлюзования судов (грузов) -10.

17. Защитные мероприятия в океанах в виде ограждения в 1 км слева и справа от оси эстакады - на протяжении 31170 тыс.км.

18. Уменьшение объема бетона опор высотой от 50 м.п. выше применением мачтовых железобетонных опор-оболочек с растяжками:

- всего опор высотой более 50 м - 27823 штук, их объем - 198,5 · 10⁶ м³;

- средний объем опоры - 7133 м³;

- объем мачтовой опоры средней высотой 75 м - 450 м³;

- объем всех мачтовых опор: 27823x450=12,5x10⁶ м³

Итак, объем опор после замены на более рациональные составит:

$$284,9 \times 10^6 - 198,5 \times 10^6 + 12,5 \times 10^6 = 98 \times 10^6 \text{ м}^3$$

19. Увеличение объема бетона опор при увеличении шага мачтовых опор в два раза в районе землетрясений на протяжении 750 км (50% от 1500 км):

$$750000 : 40 \times 450 = 8,4 \times 10^6 \text{ м}^3$$

20. Уменьшение затрат по молниезащите эстакады при расположении пролетного строения под водой - на протяжении 31170 тыс.км

ж При условии, что на море пролетное строение эстакады расположено над водой.

2I. Исключение из объемов работ устройств для шлюзования судов при расположении пролетного строения под водой - 10 шт.

Для расчета стоимости строительства эстакады и автомобильных дорог объемы работ по вышеизложенному 2I пункту необходимо группировать в соответствии с вариантами эстакады.

В Е Д О М О С Т Ь

объемов работ по строительству эстакады по экватору Земли

№ п/п	Наименование работ и затрат	ед. изм.								
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

1. Длина трассы	км	40078,0	40075							
2. Длина трассы по суше	"	8908	8905							
3. Длина трассы по океанам, рекам и т.п.	"					31170				
4. <u>Земляные работы</u>										
4.1. Объем сосредоточенных земляных работ	м ³	1730,7х	25670х							
		х 10 ³	х 10 ⁶							
4.2. Объем линейных земляных работ по трассе и у опор	м ³	901,6х	901,6х							
		х 10 ⁶	х 10 ⁶							

I	2	3	4	5	6	7'	8	9	10	11
4.3. Общий объем земляных работ		м ³	2632,4 x 10 ⁶	26572,4 x 10 ⁶				0,004		
5. Автомобильная дорога I технической категории		км			32600			1200		щебня 977,3 x 10 ⁶ м
6. Объем железобетонных опор на суше										
6.1. Массивных		м ³			86,4 x 10 ⁶					
6.2. Мачтовых (с учетом защиты от землетрясений)		"			20,9 x 10 ⁶					
6.3. Общий объем опор		"			107,3 x 10 ⁶			0,2		не осмечивается, щебня 107 x 10 ⁶ м ³
7. Расход прокатной стали		т				59,49 · 10 ⁶		0,400		
8. Арматура, приведенная к классу АI (150 кг/м ³)		т			опоры на суше 10,1 x 10 ⁶	37,41 x 10 ⁶	48,1 x 10 ⁶	0,300		не осмечивается
9. Железобетон пролетного строения и "пошлавка" в океане при расположении пролетного строения над водой		м ³				249,4 x 10 ⁶	320,6 x 10 ⁶	0,450		щебень 249 x 10 ⁶ м ³ 320 x 10 ⁶ м ³

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
10.	Объем железобетонных подпорных стенок защиты опор от лавы вулканов	м ³				1×10^6			0,15		1×10^6 м ³ щебня
11.	Площадь щитов защиты эстакады от выбросов вулканов	м ²				$0,5 \times 10^6$			0,010		
12.	Защита подводных элементов эстакады и пролетного строения от воздействия солей воды	м ²					$1246,8 \times 10^6$				эпоксидная смола 1,5 кг/м ²
	- в том числе площадь стоек эстакады в океане	м ²				$1321,6 \times 10^6$			0,015		
						$74,8 \times 10^6$					не осмечивается
13.	Молниезащита эстакады	км				40075	8905		3,0		
14.	Строительство шлюзов для пропуска судов	шт				10	-		10000,0		методом подма эстакады над морем и опусканием подводной части эстакады
15.	Строительство защитных сооружений вдоль оси экватора в океане слева и справа	км								20,0	

РАСЧЕТ

потребности прокатной стали для изготовления
ферм пролетного строения

1. Ферма, несущая ротор с оболочкой, скоростную дорогу, на суше:
вес 1 м.п. - 1,9 т

2. Ферма, несущая ротор с оболочкой, на море: вес 1 м.п. - 1,3 т

3. $8905000 \times 1,9 = 8,9 \times 10^6 \times 1,9 = 16,91 \times 10^6$ т - расход
стали на суше

4. $31170000 \times 1,3 = 31,17 \times 10^6 \times 1,3 = 40,52 \times 10^6$ т - расход
стали на море (без стоек)

5. Стойки длиной 30 м, диаметром 30 м, толщина стенки 30 мм;
шаг опор 100 м;

$$\frac{31170000}{100} \times 30 = \frac{31,17 \times 10^6 \times 30}{100} = 9,35 \times 10^6 \text{ м.п.}$$

Ширина развертки трубы: $2PR = 6,28 \times 1,5 = 9,42$ м

Площадь металла $9,35 \times 10^6 \times 9,42 = 88,1 \times 10^6$ м²

Вес стоек: $88,1 \times 10^6 \times 0,003 \times 7,8 = 2,06 \times 10^6$ тонн

Итак: вес фермы на суше - $16,91 \times 10^6$ т

вес фермы на море - $42,58 \times 10^6$ т

Итого: $59,49 \times 10^6$ т

ВЕДОМОСТЬ

объемов работ на I км эстакады на экваторе Земли

№ пп	Наименование работ	ед. изм.	I вариант:	II вариант:	пролетное строение		общие объемы работ для всех ва- риантов	сметная стоимость ед.измер. т.руб.
			обход пика 5000 м на км 3I503,4, трассы	выемка на км 3I503,4 трассы	стальная железобе- ферма на суше и океане	тонное на суше и океане		
I	2	3	4	5	6	7	8	9
<u>I объемы работ на суше - 8905 км трассы</u>								
1.	Земляные работы	м ³	0,29x10 ⁶	2,98x10 ⁶				
2.	Строительство автомобиль- ных дорог I технической категории	км					3,7	
3.	Опоры эстакады	м3					12049	
4.	Расход прокатной стали	т			1899	100		
5.	Расход арматуры AI	т					1808	
6.	Железобетонное пролетное строение	м3				8000		
7.	Защитные сооружения:							
	- подпорные стенки	"					112,3	
	- щиты	м2					56	
	- молниезащита	км					1,0	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	- от воздействия солей воды рек, озер (1% длины трассы составляют водные преграды)	м2					40	
	Итого:	т.р.	-	-	-	-	-	
	<u>П. объемы работ в океане - 31170 км</u>							
1.	Расход прокатной стали	т			1366		100	
2.	Арматура, приведенная к классу А1 (150 кг/м3)	"			1200 "поплавок"		1200	
3.	Железобетон "поплавка" и пролетного строения	м3			8000 "поплавок"		8000	
4.	Защитные сооружения							
	- молниезащита	км			1		-	
	- от воздействия солей воды	м2			43000		40000	
5.	Строительство шлюзов	т.р.						
6.	Строительство защитных сооружений вдоль оси эстакады слева и справа	т.р.			50,0		50,0	50,0
	Итого:	т.р.	-	-	-	-	-	-

РАСЧЕТ

стоимости строительно-монтажных работ возведения
эстакады

I ВАРИАНТ :

- обход пика 5000 м на км 31503,4;
- ферма на суше - несущая ротор с оболочкой, обстройку ротора, скоростную дорогу; шаг опор около 84 м на суше;
- на море - железобетонный "поплавок" со скоростной дорогой, эстакада в виде стальной фермы, несущей ротор с оболочкой, на стальных стойках (шаг - 100 м)

Цены 1984г.

№ пп	Наименование работ и затрат	ед. изм.	кол-во работ	СТОИМОСТЬ единицы руб.	сумма т.р.
1	2	3	4	5	6
I.	Изыскания трассы: космическая съемка, аэрофотосъемка, местные изыскания (на суше)	км	8908	1000,0	$8,9 \times 10^6$
2.	Компенсация за использование земель (ширина полосы - 110,0 м)	га	100000	5,0	$0,5 \times 10^6$
3.	Земляные работы	м ³	$2632,4 \times 10^6$	0,004	$10,5 \times 10^6$
4.	Автомобильная дорога	км	32600	1200	$39,12 \times 10^6$
5.	Опоры	м ³	$107,3 \times 10^6$	0,2	$21,46 \times 10^6$
6.	Ферма стальная и стойки	т	$59,49 \times 10^6$	0,4	$23,79 \times 10^6$
7.	Железобетонный "поплавок"	м ³	$249,4 \times 10^6$	0,45	$112,23 \times 10^6$
8.	Защита эстакады от лавы	"	1×10^6	0,15	$0,15 \times 10^6$
9.	Защита фермы от выброса вулканов	м ²	$0,5 \times 10^6$	0,01	$0,005 \times 10^6$
10.	Защита "поплавка" и стоек от солей воды	м ²	$1321,6 \times 10^6$	0,015	$19,8 \times 10^6$
11.	Молниезащита	км	40075	3,0	$0,12 \times 10^6$

I	2	3	4	5	6
12. Затраты по обеспечению шт. шлюзования судов	шт. шлюзов		10	10000	$0,1 \times 10^6$
13. Защитные сооружения в океане вдоль эстакады	км		31170	20	$0,6 \times 10^6$
Итого:		т.р.			$237,27 \times 10^6$
Непредвиденные затраты-30%					$71,18 \times 10^6$
Всего:		т.р.			$308,45 \times 10^6$

Триста восемь миллиардов четыреста пятьдесят миллионов руб.

II ВАРИАНТ

- выемка скалы на км 31503,4
- ферма на суше - несущая ротор с оболочкой, обстройку ротора, скоростную дорогу; шаг опор около 84 м (на суше),
- на море - железобетонный "поплавок" со скоростной дорогой, эстакада в виде стальной фермы, несущей ротор с оболочкой, на стальных стойках (шаг - 100 м)

Стоимость работ по I варианту без непредвиденных затрат:
 $237,27 \times 10^6$ тыс.руб.

Снимаем стоимость земляных работ $10,50 \times 10^6$ т.р.

Добавляем стоимость земляных работ по II варианту:
 $26572,4 \times 10^6 \text{ м}^3 \times 0,004 = 106,29 \times 10^6$ т.руб.

Итого: $333,06 \times 10^6$ т.р.

Непредвиденные работы - 30% - $99,92 \times 10^6$ т.р.

Всего: $432,98 \times 10^6$ т.р.

Четыреста тридцать два миллиарда девятьсот восемьдесят миллионов

III ВАРИАНТ

- выемка скалы на км 31503,4 для обеспечения потребности щебня;
- пролетное строение - железобетонная неразрезная балка коробчатого сечения на суше;
- железобетонный "поплавок" на море со стальной фермой над морем.

№ пп	Наименование работ и затрат	ед. изм.	кол-во работ	стоимость единицы, т.р.	сумма т.р.
I	2	3	4	5	6
I.	Изыскания трассы, отвод земель	т.р.			$9,4 \times 10^6$
2.	Земляные работы	м ³	$26572,4 \times 10^6$	0,004	$106,29 \times 10^6$
3.	Автомобильные дороги	км	32600	1200	$39,12 \times 10^6$
4.	Опоры	м3	$107,3 \times 10^6$	0,2	$21,46 \times 10^6$
5.	Железобетонное пролетное строение на суше и железобетонный "поплавок" в океане	м3	$320,6 \times 10^6$	0,45	$144,27 \times 10^6$
6.	Ферма в океане с опорами	т	$42,53 \times 10^6$	0,4	$17,03 \times 10^6$
7.	Защита эстакады от лавы	м3	1×10^6	0,15	$0,15 \times 10^6$
8.	Защита эстакады от выброса вулканов	м2	$0,5 \times 10^6$	0,01	$0,005 \times 10^6$
9.	Защита "поплавка" и сток от солей воды	м2	$1321,6 \times 10^6$	0,015	$19,8 \times 10^6$
10.	Молниезащита	км	40075	3,0	$0,12 \times 10^6$
II.	Затраты по обеспечению шлюзования судов	шт шлюзов	10	10000	$0,1 \times 10^6$
I2.	Защита сооружения в океане вдоль эстакады	км	31170	20	$0,6 \times 10^6$
	Итого:	т.р.			$353,34 \times 10^6$
	Непредвиденные затраты 30%				$107,5 \times 10^6$
	Всего:	т.р.			$465,84 \times 10^6$

Четыреста шестьдесят пять миллиардов восемьсот миллионов руб.

IV ВАРИАНТ

- железобетонное пролетное строение в виде неразрезной балки коробчатого сечения на суше и на море

- выемка скалы на км 31503,4 для обеспечения потребности щебня

№ пп	Наименование работ	ед. !изм.!	к-во !работ	стоимость !единицы т.р.	сумма !т.р.
1	2	3	4	5	6
1.	Изыскания трассы, отвод земель				9,4x10 ⁶
2.	Земляные работы	м3	26572,4x10 ⁶	0,004	
3.	Автомобильные дороги	км	32600	1200	39,12x10 ⁶
4.	Опоры	м3	107,3x10 ⁶	0,2	21,46x10 ⁶
5.	Железобетонное пролетное строение на суше и на море	м3	320,6x10 ⁶	0,45	144,27x10 ⁶
6.	Защита эстакады от лавы	м3	1x10 ⁶	0,15	0,15x10 ⁶
7.	Защита эстакады от выброса вулканов	м2	0,5x10 ⁶	0,01	0,005x10 ⁶
8.	Защита пролетного строения от солей воды	"	1246x10 ⁶	0,015	18,69x10 ⁶
9.	Молниезащита	км	6905	3,0	0,027x10 ⁶
10.	Защита сооружения в океане вдоль эстакады	км	31170	20	0,6x10 ⁶
	Итого:				340,0x10 ⁶
	Непредвиденные работы, 30%				102,0x10 ⁶
	Всего:				442,0x10 ⁶

Четыреста сорок два миллиарда рублей

ТАБЛИЦА СТОИМОСТИ ВАРИАНТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА ЭСТАКАДЫ

№ пп	Наименование и расшифровки варианта	СТОИМОСТЬ, т.р.
I.	I вариант: обход пика 5000 м на км 3I503,4; эстакада на суше в виде стальной фермы, несущей ротор с обстройкой и скоростную дорогу; на море - железобетонный "поплавок" и стальная эстакада в виде фермы, несущей ротор с обстройкой	303,45 x 10 ⁶
2.	II вариант: выемка скального грунта на км 3I503,4. Конструкция эстакады - аналогична варианту I	432,98 x 10 ⁶
3.	III вариант: выемка скального грунта на км 3I503,4. Пролетное строение - железобетонная неразрезная балка коробчатого сечения на суше и железобетонный "поплавок" на море со стальной фермой для ротора	465,84 x 10 ⁶
4.	IV вариант: выемка скального грунта на км 3I503,4. Пролетное строение - железобетонная неразрезная балка коробчатого сечения на суше и на море	442,0 x 10 ⁶

В стоимость строительства представленных выше вариантов входит определенная инфраструктура вдоль эстакады: скоростная дорога в двух направлениях движения, сеть автомобильных дорог, другими словами - это комплекс сооружений, несущих определенную нагрузку.

При решении вопроса строительства эстакады для запуска ротора стоимость работ будет определена ниже. Произведем этот расчет:

№ пп	Наименование работ и затрат	ед. изм.	кол-во работ	стоимость единицы в т.р.	сумма т.р.
1	2	3	4	5	6
I.	Изыскания трассы	км	40075	125	5×10^6
2.	Компенсация за использование земель	га	26724	5,0	$0,13 \times 10^6$
3.	Земляные работы	м3	$2632,4 \times 10^6$	0,004	$10,5 \times 10^6$
4.	Опоры	м3	54×10^6	0,2	$10,8 \times 10^6$
5.	Ферма стальная на суше (1,3 т на 1 м.п.)	т	$11,6 \times 10^6$	0,4	$4,64 \times 10^6$
6.	"Поплавок" на море - железобетонная неразрезная балка коробчатого типа (2 блока)	м3	160×10^6	0,45	72×10^6
7.	Защита эстакады от лавы	м3	1×10^6	0,15	$0,15 \times 10^6$
8.	Защита фермы от выброса вулканов	м2	$0,5 \times 10^6$	0,01	$0,005 \times 10^6$
9.	Защита "поплавка" от солей воды	м2	$661,6 \times 10^6$	0,015	$9,9 \times 10^6$
10.	Молниезащита	км	8908	3,0	$0,33 \times 10^6$
II.	Защитные сооружения в океане	км	31170	20	$0,6 \times 10^6$
	Итого:	т.р.			$113,76 \times 10^6$
	Непредвиденные затраты 30%	т.р.			$34,1 \times 10^6$
	Всего:	т.р.			$147,9 \times 10^6$

МНЕНИЕ АВТОРОВ О ВЪБОРЕ ВАРИАНТА

Стоимость вариантов при сравнении конструкций не является исчерпывающим критерием их оценки.

Наиболее дешевый - первый - с обходом пика 5000 м (на км 31503,4). Казалось бы, при обходе пика экономим на земляных работах $95,76 \times 10^6$ тыс.руб. Однако, мы теряем возможность иметь строительный материал: щебень, каменный отсев, песок, так необходимый для строительства опор, "поплавка", автомобильных дорог, поселков, городов, заводов, кемпингов, автостанций и т.п. сооружений.

Варианты II и III имеют недостаток: ферма над океаном. Это вопросы устойчивости сооружения, шлюзования, когда эстакаду необходимо поднимать на высоту более 30 м над водой, что ведет к удлинению и утолщению стоек, удлинению растяжек, огромного момента от парусности фермы и ряду усложнений конструкции.

Наиболее приемлемым является IV вариант с затопленным железобетонным пролетным строением (со стартом ротора из-под воды).

Недостатки предыдущих вариантов исключаются. Уменьшаются затраты на молниезащиту; шлюзование решается штатно: погружением пролета - "поплавка" и всплытием.

Но главное - это индустриальность в изготовлении конструкции и унификация ее на море и на суше.

В связи с тем, что по наибольшей стоимости IV вариант занимает III место, при оценке эстакад в других районах Земли можно пользоваться стоимостью I км эстакады на суше и море, по IV варианту.

№ пп	Показатели эстакады по IУ варианту	СТОИМОСТЬ ! I км, т.р.
---------	---------------------------------------	---------------------------

- | | | |
|----|--|---------|
| 1. | Стоимость строительства эстакады на
суше - $270,0 \times 10^6$ т.р. | 30320,0 |
| 2. | То же, на море - $172,0 \times 10^6$ т.руб | 5518,1 |

РАСХОД ОСНОВНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ЭСТАКАДУ

№ вариантов!	сталь тыс. тонн	цемент тыс. тонн	щебень тыс. м	смола эпоксид- ная, тыс. т.	стоимость строи- тельства, т.р.
I	138140	423350	1334980	1982,4	303,45 x 10 ⁶
II	138140	423350	1334980	1982,4	432,98 x 10 ⁶
III	139100	458950	1406180	1982,4	465,84 x 10 ⁶
IV	96450	458950	1406180	1869,0	442,0 x 10 ⁶

Примечание: производство стали за 1965-1967г.г. 477105 тыс. тонн
 производство цемента за 1965-67г.г. 403295 тыс. т.
 Расход цемента для строительства автомобильной дороги - $244,5 \cdot 10^8$ т для всех вариантов
 Объем разработки выемки на км 31503,4 примерно 24 миллиарда кубометров
 Расход щебня для строительства автомобильной дороги - $977,280 \cdot 10^6$ м³ для всех вариантов
 Расход: 1,5 кг/м²

Удельный расход основных строительных материалов
на I км эстакады

№ вари- антов эстакады	сталь ! тыс.т.	цемент ! тыс.т.	щебень ! тыс.м ³	стоимость I км эстакады, т.р.
I	3,447	10,564	33,312	7696,82
II	3,447	10,564	33,312	10804,24
III	3,471	11,452	35,089	11624,20
IV	2,407	11,452	35,089	11029,30

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАССЫ ЭСТАКАДЫ НА ШИРОТЕ
52° СЕВЕРНОЙ ШИРОТЫ

КРАТКИЙ АНАЛИЗ

Общая длина трассы	-	28350 км,
в т.ч. по суше	-	11000 км,
по океанам, морям, рекам	-	17350 км

Начало трассы - остров Великобритания, Гринвичский меридиан и далее, на восток - Северное море и на км 325 - побережье Западной Европы. Основные ориентиры трассы в Европе и Азии: 40 км южнее Варшавы, 40 км южнее Гомеля, 5 км южнее Балаково, 10 км севернее Павлодара, 40 км севернее Улан-Уде, 4 км севернее Шимановска, пересекает озеро Убыль в нижнем течении Амура, южнее Петропавловска-Камчатского в 230 км, далее по северной части Тихого океана, в Северной Америке севернее Ванкувера 625 км, южная часть залива Джемс, 250 км южнее города Гус-Бей, далее по океану (северная часть Атлантического океана), пересекает южную часть острова Ирландия и далее - севернее Лондона 100 км. Протяжение трассы по СССР около 10650 км.

На основе технико-экономических показателей IV варианта конструкции эстакады просчитаем ориентировочную стоимость проекта трассы эстакады на 52° северной широты.

Стоимость эстакады на суше - $30320 \times 11000 = 333,52 \times 10^6$ т.р.

Стоимость эстакады на море - $5518,1 \times 17350 = 95,74 \times 10^6$ т.р.

Общая стоимость: 429,26 т.р., т.е. несмотря на то, что трасса короче трассы на экваторе в 1,4 раза, стоимость ее ориентировочно равна стоимости II варианта эстакады на экваторе (61% длины трассы - по суше).

Ориентировочный расход основных материалов для
строительства эстакады

Материал	р а с х о д	
	! на I км эстакады	! на всю эстакаду
Сталь, тыс.т.	2,407	68238,5
Цемент, тыс.т.	11,452	324664,2
Щебень, тыс.м3	35,089	994773,1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАССЫ ЭСТАКАДЫ НА ШИРОТЕ 57°
ЮЖНОЙ ШИРОТЫ

КРАТКИЙ АНАЛИЗ

Общая длина трассы - 22400 км, трасса проходит исключительно по океану.

Ориентировочная стоимость эстакады по океану - $22400 \times 11029,3 \text{ т.р.} = 247,0 \times 10^6 \text{ т.р.}$ (самый дешевый вариант, однако следует учесть доставку строительных материалов к мысу Горн).

Ориентировочный расход основных материалов для плавучей эстакады:

Материал	расход	
	на 1 км эстакады	на всю эстакаду
Сталь, тыс.т.	2,407	53916,8
Цемент, тыс.т.	11,452	256524,8
Щебень, тыс.м ³	35,089	785993,8

Таким образом, для проектирования эстакады представлены разные варианты соответственно разной стоимости и разного расхода материалов. Далее в процессе осуществления программы "Экомир" после проработки вопросов размещения эстакады будет принято соответствующее решение. Каждый вариант (по расположению относительно экватора) может быть принят исходя из поставленной задачи, которую будет необходимо решить.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа над проектом эстакады была необычной. Кажущиеся вначале глобальными размеры, объемы, темпы в процессе их осмысления и сопоставления с возможностями развитых стран, постепенно становились "земными" и к завершению работы у авторов выработалась уверенность в возможности осуществления проекта в ближайшие годы.

ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ОБ ОТС

- ✓ 1. Юницкий А.Э. Пересадочная, космическая, кольцевая. "Изобретатель и рационализатор", № 4, 1982.
- ✓ 2. Юницкий А.Э. В космос ... на колесе. "Техника молодежи" № 6, 1982.
- ✓ 3. Юницкий А.Э. В космос - без ракеты. "Техника и наука", № 4, 1987.
- ✓ 4. Юницкий А.Э. "Спасательный круг планеты", "Век XX и мир", № 4, 1987.
- ✓ 5. Юницкий А.Э. "Озоновый слой: щит - сегодня, саван - завтра?" "Новости науки и техники". Приложение к вестнику АПН "Советская панорама", № 13 (156), 1988.
- 6. Силин А.А. Трение и мы. М., Наука (Библиотечка "Квант", 1987.
- 7. Сборник "Эврика 83-84" М., Молодая гвардия, 1984.
- 8. "Комсомольская правда", 28.11.1987.
- 9. "Неделя", № 52, 1986.
- 10. "Московские новости", № 4, 1983.
- 11. "Советская Белоруссия", 14.12.1986г
- 12. "Знамя юности", 19.12.1986
- 13. "Голас радзімы", 28.02.1987.
- 14. "Звезда", 14.11.1987.
- 15. "Чырвоная змена", 16.07.1983, 30.01.1988.

ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ОБ ОТС

- ✓ 1. Юницкий А.Э. Пересадочная, космическая, кольцевая. "Изобретатель и рационализатор", № 4, 1982.
- ✓ 2. Юницкий А.Э. В космос ... на колесе. "Техника молодежи" № 6, 1982.
- ✓ 3. Юницкий А.Э. В космос - без ракеты. "Техника и наука", № 4, 1987.
- ✓ 4. Юницкий А.Э. "Спасательный круг планеты", "Век XX и мир", № 4, 1987.
- ✓ 5. Юницкий А.Э. "Озоновый слой: щит - сегодня, саван - завтра?" "Новости науки и техники". Приложение к вестнику АПН "Советская панорама", № 13 (156), 1988.
- 6. Силин А.А. Трение и мы. М., Наука (Библиотечка "Квант", 1987.
- 7. Сборник "Эврика 83-84" М., Молодая гвардия, 1984.
- 8. "Комсомольская правда", 28.П.1987.
- 9. "Неделя", № 52, 1986.
- 10. "Московские новости", № 4, 1983.
- 11. "Советская Белоруссия", 14.12.1986г
- 12. "Знамя юности", 19.12.1986
- 13. "Голас радзімы", 28.02.1987.
- 14. "Звезда", 14.11.1987.
- 15. "Чырвоная змена", 16.07.1983, 30.01.1988.

ВЫБОР ВАРИАНТОВ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ОПОР
И ФУНДАМЕНТОВ ТРАССЫ. РАСЧЕТ ПРОЛЕТНЫХ
СТРОЕНИЙ ОПОР И ФУНДАМЕНТОВ ТРАССЫ.

Выполнил: инженер ЛОГВИНОВ

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
I. Общие данные.....	3
2. Расчет стального пролетного строения длиной 84 м (вариант I).....	5
3. Расчет стального пролетного строения длиной 98 м (вариант II).....	11
4. Расчет железобетонного проектного строения (вариант III).....	14
5. Соображения по расчету подводного тоннеля.....	17
6. Опоры и фундаменты под пролетные строения.....	20
7. Рисунки 1,2. Варианты I,II пролетных строений.....	
8. Рисунки 3,4. Варианты III,IV пролетных строений.....	
9. Рисунки 5÷7. К расчету фермы пролетом 84 м.....	
10. Рисунки 8÷10. К расчету фермы пролетом 98 м.....	
11. Рисунки 11,12. Принципиальные конструктив- ные решения опор высотой 15,30, 30÷100 и более метров и фундаментов.....	
12. Список литературы.....	24

I. ОБЩИЕ ДАННЫЕ

В настоящем разделе ТЭО (ТЭР) рассматриваются четыре варианта пролетных строений и железобетонные опоры под них.

I.1. ВАРИАНТ I

Стальное пролетное строение $L = 84$ м с параллельными поясами, треугольной решеткой и ездой понизу. Поперечное сечение и нагрузки на I км пролетного строения приведены на рис. I.

Пролетное строение имеет высоту 6 метров и состоит из 14 шестиметровых панелей. Нижний, верхний пояса ферм и наиболее загруженные раскосы приняты из прогрессивных широкополочных двутавров, что позволяет значительно уменьшить трудоемкость изготовления ферм и повысить их долговечность. Отличительной особенностью рассматриваемого пролетного строения является использование в уровне верхних поясов ферм вместо традиционных горизонтальных связей, уменьшающих свободную длину сжатых стержней и воспринимающих ветровую нагрузку, конструктивных наклонных стержней. Ветровая нагрузка воспринимается горизонтальными связями, располагаемыми в уровне нижних поясов ферм и посередине ферм. Пространственная жесткость обеспечивается за счет постановки конструктивных стержней (см. рис. I).

I.2. Вариант II

Во 2-м варианте рассмотрено стальное пролетное строение $L = 98$ м с параллельными поясами, треугольной решеткой с ездой поверху. Поперечное сечение пролетного строения и нагрузки на I км его длины показаны на рис. 2.

Пролетное строение состоит из 14 семиметровых панелей. Высота пролетного строения 7 метров. Нижний, верхний пояса фермы

и наиболее загруженные раскосы как и в I-м варианте состоят из прогрессивных широкополочных двутавров. В уровне нижнего и верхнего поясов ферм предусматриваются горизонтальные связи.

I.3. Вариант III

III вариант предусматривает 40 метровое железобетонное пролетное строение высотой 3,4 м и шириной 12,8 м, состоящее из 4-х трехметровых продольных отсеков. Поперечное сечение пролета и нагрузки на I п.м. длины приведены на рис. 3. Отличительной особенностью представленного пролетного строения является использование предварительно-напряженной арматуры из высокопрочных канатов в растянутом нижнем поясе.

I.4. Вариант IV.

В IV варианте рассмотрен подводный железобетонный тоннель, поперечное сечение которого показано на рис. 4. Тоннель расположен за пределами колебаний волн на глубине 15 метров (верх тоннеля).

На тоннель с шагом 84-98 м устанавливаются железобетонные опоры на которые в свою очередь устанавливаются надводные стальные пролетные строения. Вес тоннеля с балластом подобран таким образом, что тоннель находится все время в состоянии равновесия. Силы всплытия компенсируются весом тоннеля с балластом плюс вес опор и надводных пролетных строений.

Кроме пролетных строений рассматриваются железобетонные опоры под пролетные строения. Рассматриваются опоры высотой 15 м, 30 м и более 30 м.

2. РАСЧЕТ СТАЛЬНОГО ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ ДЛИНОЙ 84 м (ВАРИАНТ I)

2.1. Расчет усилий в стержнях

Расчетная схема пролетного строения, узловые нагрузки и опорные реакции приведены на рис. 5.

Усилия в стержнях фермы производим известным в строительной механике способом вырезания узлов. Вырезанные узлы приведены на рис. 6.

УЗЕЛ I.

Составляем уравнения равновесия по оси X и по оси Y и определяем внутренние усилия в стержнях.

$$\Sigma Y = 0$$

$$-7,5 + 105 + \frac{N_{12'}}{\sin 45^\circ} = 0;$$

$$N_{12}' = 137,9 \text{ т}$$

$$\Sigma X = 0$$

$$N_{12} + N_{12}' \cdot \cos 45^\circ = 0$$

$$N_{12} = - N_{12}' \cdot \cos 45^\circ = 137,9 \cdot \cos 45^\circ = 97,5 \text{ т}$$

УЗЕЛ 2'

$$\Sigma Y = 0$$

$$-137,9 \cdot \cos 45^\circ + 15 + N_{2'3} \cos 45^\circ = 0$$

$$N_{2'3} = \frac{137,9 \cdot \cos 45^\circ - 15}{\cos 45^\circ} = 116,7 \text{ т}$$

$$\Sigma X = 0$$

$$137,9 \cdot \cos 45^\circ + N_{2'3} \cdot \cos 45^\circ - N_{2'3}' = 0$$

$$N_{2'3}' = 137,9 \cdot \cos 45^\circ + N_{2'3} \cdot \cos 45^\circ = 180 \text{ т}$$

УЗЕЛ 3

$$\Sigma Y = 0$$

$$116,7 \cdot \cos 45 - N_{34}' \cdot \cos 45 - 15 = 0$$

$$N_{34} = - \frac{116,7 \cdot \cos 45 - 15}{\cos 45} = - 95,5 \text{ т}$$

Знак (-) говорит о том, что направление усилия в стержне на рис. 6 необходимо изменить на противоположное.

$$\Sigma X = 0$$

$$- 97,5 - 116,7 \cdot \sin 45 - 95,5 \cdot \sin 45 + N_{34} = 0$$

$$N_{34} = 97,5 + 116,7 \cdot \sin 45 + 95,5 \cdot \sin 45 = 247,5 \text{ т}$$

УЗЕЛ 4'

$$\Sigma Y = 0$$

$$- 95,5 \cdot \cos 45 + 15 + N_{45}' \cdot \cos 45 = 0$$

$$N_{45}' = \frac{95,5 \cdot \cos 45 - 15}{\cos 45} = 74,3 \text{ т}$$

$$\Sigma X = 0$$

$$180 + 95,5 \cdot \cos 45 + 74,3 \cdot \cos 45 - N_{45}' = 0$$

$$N_{45}' = 180 + 95,5 \cdot \cos 45 + 74,3 \cdot \cos 45 = 300 \text{ т}$$

УЗЕЛ 5

$$\Sigma Y = 0$$

$$74,3 \sin 45 - 15 - N_{56}' \sin 45 = 0$$

$$N_{56}' = \frac{74,3 \cdot \sin 45 - 15}{\sin 45} = 53 \text{ т}$$

$$\Sigma X = 0$$

$$-247,5 - 74,3 \cos 45 - 53 \cdot \cos 45 + N_{56} = 0$$

$$N_{56} = 247,5 + 74,3 \cos 45 + 53 \cos 45 = 337,5 \text{ т}$$

УЗЕЛ 6'

$$\Sigma Y = 0$$

$$-53 \cdot \sin 45 + 15 + N_{6'7'} \cdot \sin 45 = 0$$

$$N_{6'7'} = \frac{53 \cdot \sin 45 - 15}{\sin 45} = 31,8 \text{ т}$$

$$\Sigma X = 0$$

$$300 + 53 \cdot \cos 45 + 31,8 \cdot \cos 45 - N_{6'7'} = 0$$

$$N_{6'7'} = 300 + 53 \cdot \cos 45 + 31,8 \cdot \cos 45 = 360 \text{ т}$$

УЗЕЛ 7

$$\Sigma Y = 0$$

$$-31,8 \cdot \sin 45 + 15 + N_{78'} \cdot \sin 45 = 0$$

$$N_{78'} = \frac{31,8 \cdot \sin 45 - 15}{\sin 45} = 10,6 \text{ т}$$

$$\Sigma X = 0$$

$$-337,5 - 31,8 \cdot \cos 45 - 10,6 \cdot \cos 45 + N_{78} = 0$$

$$N_{78} = 337,5 + 31,8 \cdot \cos 45 + 10,6 \cdot \cos 45 = 367,5 \text{ т}$$

Полученные усилия в стержнях приведены на расчетной схеме (рис. 5)

2.2. Подбор стержней фермы

Подбор сжатых стержней фермы производим по формуле:

$$A_{\text{тр}} = N / \varphi \cdot R_y \cdot \gamma \quad [I]$$

где: $A_{\text{тр}}$ - требуемая площадь стержня;

γ - коэффициент условий работы, $\gamma = 1,0$

N - усилие в стержне, кг

R_y - расчетное сопротивление стали по пределу текучести;

φ - коэффициент продольного изгиба, который является функцией гибкости $\lambda = l_0 / i$

где: l_0 - расчетная длина стержня;
 i - радиус инерции стержня

Наиболее загруженными являются стержни 6'-7'; 7'-8'

В плоскости фермы имеем:

$$N = 360 \text{ т}$$

$$l_0 = l = 300 \text{ см (табл. II [2])}$$

где: l - геометрическая длина элемента (расстояние между центрами узлов)

Расчетная длина сжатых стержней верхнего пояса уменьшается в 2 раза за счет введения шпренгельной решетки.

$R_s = 2750 \text{ кг/см}^2$ (сталь ВСт 3 сп 5-2 по ТУ 14-1-3023-80 - табл. 5I [2])

тогда для широкополочного двутавра

35KI по ГОСТ 26020-83 имеем:

$$A = 139,7 \text{ см}^2$$

$i_y = 8,76$ (профиль располагается полками в вертикальной плоскости)

$$\lambda = \frac{300}{8,76} = 34,2$$

$$\varphi = 0,908$$

$$A_{tr} = \frac{360000}{0,908 \cdot 2750 \cdot 1,0} = 144,2 \text{ см}^2$$

Из плоскости фермы $l_0 = 600 \text{ см}$

$$i_x = 15,04 \text{ см}$$

$$\lambda = \frac{600}{15,04} = 39,9$$

$$\varphi = 0,883$$

$$A_{tr} = \frac{360000}{0,883 \cdot 2750 \cdot 1,0} = 146,6 \text{ см}^2$$

Окончательно принимаем наиболее нагруженные стержни верхнего сжатого пояса из двутавра 35 К.2 ($A = 160,4 \text{ см}^2$) с дальнейшим переходом для стержней 4'5' и 5'6' на профиль 35 К1 и далее на 30К1.

Для сжатых раскосов имеем:

Наиболее загруженным раскосом является опорный раскос 12' с усилием $N = 137,9 \text{ т} = 137900 \text{ кг}$;

Согласно табл. II [2]

$$l_0 = l = 850 \text{ см}$$

Тогда для двутавра 30К1 имеем: $i_y = 7,5 \text{ см}$ (меньший радиус инерции сечения)

$$\lambda = \frac{850}{7,5} = 113,3$$

$\lambda = 113,3 < 120$ - требование по гибкости табл. 19 [2] выполняется;

$$\varphi = 0,420$$

$$A_{тр} = \frac{137900}{0,420 \cdot 2750 \cdot 1,0} = 119,39$$

Окончательно принимаем стержень из двутавра 30К2 площадью 122,7 см²; остальные сжатые стержни раскосов принимаем из профилей 30К1, 26К1, 23К1.

Требуемая площадь нетто сечения растянутого стержня фермы определяется по формуле:

$$A_{тр} = \frac{N}{R \cdot \gamma}$$

Усилие в наиболее растянутых стержнях 78 составляет

$$N_{78} = 367,5 \text{ т}$$

тогда:

$$A_{тр} = \frac{367500}{3750 \cdot \gamma} = 98 \text{ см}^2$$

С учетом ослаблений принимаем широкополочный двутавр ЗОКІ площадью 108 см². Остальные, менее нагруженные стержни нижнего пояса и раскосов принимаем из менее материалоемких профилей прямо пропорционально усилиям. Конструктивные стержни, стержни горизонтальных связей принимаются по гибкости, регламентированной в табл. 19 [2] .

Ориентировочный вес 1 км пролетного строения с учетом горизонтальных связей, конструктивных стержней уменьшающих свободную длину стержней верхнего пояса ферм, главных и второстепенных несущих балок для восприятия полезной нагрузки и передачи ее на узлы ферм составляет 1,9 т /км.

При этом несущие балки по нижнему поясу и посередине приняты с шагом 6,0 м, второстепенные балки соединены с главными балками в одном уровне. Передача вертикальных нагрузок с уровня середины ферм на нижние узлы ферм происходит через вертикальные стойки.

3. РАСЧЕТ СТАЛЬНОГО ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ ДЛИНСИ 98 м. (ВАРИАНТ П)

3.1. Расчет усилий в стержнях

Расчетная схема пролетного строения длиной 98 м и узловые нагрузки приведены на рис. 8.

Расчет выполнен методом вырезания узлов. Узлы приведены на рис. 9.

УЗЕЛ I

$$\sum Y = 0$$

$$-7 + 105 - N_{I2}' \cdot \sin 45^\circ = 0$$

$$N_{I2}' = \frac{98}{\sin 45^\circ} = 138,6 \text{ т}$$

$$\sum X = 0$$

$$-138,6 \cdot \cos 45 + N_{I2} = 0$$

$$N_{I2} = 138,6 \cdot \cos 45 = 98 \text{ т}$$

УЗЕЛ 2

$$\sum Y = 0$$

$$-138,6 \cdot \sin 45 + 14 + N_{2'3}' \cdot \sin 45 = 0$$

$$N_{2'3}' = \frac{138,6 \cdot \sin 45 - 14}{\sin 45} = 118,8 \text{ т}$$

$$\sum X = 0$$

$$138,6 \cdot \cos 45 + 118,8 \cdot \cos 45 + N_{2'3}' = 0$$

$$N_{2'3}' = -138,6 \cdot \cos 45 - 118,8 \cdot \cos 45 = -182 \text{ т}$$

Знак минус означает, что направление усилия на узле необходимо изменить на противоположеное.

УЗЕЛ 3

$$\sum Y = 0$$

$$118,8 \cdot \sin 45 - 14 + N_{34}' \cdot \sin 45 = 0$$

$$N_{34}' = \frac{-118,8 \cdot \sin 45 + 14}{\sin 45} = -99 \text{ T}$$

$$\sum X = 0$$

$$-98 - 118,8 \cdot \cos 45 - 99 \cdot \cos 45 + N_{34} = 0$$

$$N_{34} = 98 + 118,8 \cdot \cos 45 + 99 \cdot \cos 45 = 252 \text{ T}$$

УЗЕЛ 4

$$\sum Y = 0$$

$$14 - 99 \cdot \sin 45 + N_{4'5}' \cdot \sin 45 = 0$$

$$N_{4'5}' = \frac{99 \cdot \sin 45 - 14}{\sin 45} = 79,2 \text{ T}$$

$$\sum X = 0$$

$$182 + 99 \cdot \cos 45 + 79,2 \cdot \cos 45 - N_{4'5}' = 0$$

$$N_{4'5}' = 182 + 99 \cdot \cos 45 + 79,2 \cdot \cos 45 = 322 \text{ T}$$

УЗЕЛ 5

$$\sum Y = 0$$

$$-79,2 \cdot \sin 45 + 14 + N_{5'6}' \cdot \sin 45 = 0$$

$$N_{5'6}' = \frac{79,2 \cdot \sin 45 - 14}{\sin 45} = 59,4 \text{ T}$$

$$\sum X = 0$$

$$-252 - 79,2 \cdot \cos 45 - 59,4 \cdot \cos 45 + N_{56} = 0$$

$$N_{56} = 252 + 79,2 \cdot \cos 45 + 59,4 \cdot \cos 45 = 348 \text{ T}$$

УЗЕЛ 6

$$\sum Y = 0$$

$$14 - 59,4 \cdot \sin 45 + N_{6'7}' \cdot \sin 45 = 0$$

$$N_{6'7}' = \frac{59,4 \cdot \sin 45 - 14}{\sin 45} = 39,6 \text{ T}$$

$$\sum X = 0$$

$$322,5 + 59,4 \cdot \cos 45 + 39,6 \cos 45 - N_{6'7'} = 0$$

$$N_{6'7'} = 322,5 + 59,4 \cdot \cos 45 + 39,6 \cdot \cos 45 = 392,5 \text{ т}$$

УЗЕЛ 7

$$\sum Y = 0$$

$$-39,6 \cdot \sin 45 + 14 + N_{78} \cdot \sin 45 = 0$$

$$N_{78} = \frac{39,6 \cdot \sin 45 - 14}{\sin 45} = 19,8 \text{ т}$$

$$\sum X = 0$$

$$-348 - 39,6 \cdot \cos 45 - 19,8 \cdot \cos 45 + N_{78} = 0$$

$$N_{78} = 348 + 39,6 \cdot \cos 45 + 19,8 \cdot \cos 45 = 390 \text{ т}$$

Полученные усилия в стержнях фермы приведены на рис. 8

3.2. Подбор стержней фермы

Усилия и расчетные длины стержней фермы длиной 98 м (вариант II) идентичны усилиям и расчетным длинам фермы длиной 84 м. Стержни поясов раскосов, связей и т.д. приняты такими же как и для фермы длиной 84 м по варианту I.

Для уменьшения расчетной длины сжатых стержней верхнего пояса предусматривается шпренгельная решетка, а широкополочные двутавры располагаются полками в вертикальной плоскости.

Схема решетки фермы приведена на рис. 10. Пространственную жесткость пролетных строений и восприятие ветровых нагрузок обеспечивают вертикальные и горизонтальные связи.

Ориентировочный вес I п.м пролетного строения составляет 1,3 т/пм.

4. РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ (ВАРИАНТ Ш)

Поперечное сечение пролетного строения и нагрузки приведены на рис. 3.

4.1. Исходные данные

Бетон В35, $R_B = 199 \text{ кг/см}^2$ (19,5 мпа)

Ненапрягаемая арматура выполняется из стали класса АIII.

$$R_s = R_{sc} = 3750 \text{ кг/см}^2 \text{ (365 мпа)}$$

Напрягаемая арматура принята из канатов К 7 диаметром $\emptyset 15 \text{ мм}$.

$$R_s = 11000 \text{ кг/см}^2 \text{ (1080 мпа)}$$

где: R_s - расчетные сопротивления растяжению арматуры для предельных состояний первой группы [3]

R_{sc} - то же для сжатия

4.2. Нагрузки и внутренние усилия

Расчетные нагрузки от собственного веса на один продольный отсек составляют:

$$6 \cdot 0,16 \cdot 2,5 \cdot 1,1 + 0,2 \cdot 3 \cdot 2,5 \cdot 1,1 = 4,29 \text{ т/пм}$$

Расчетные нагрузки от оборудования составляют 2 т/пм отсека;

Расчетные нагрузки от снега составляют

$$q_{сн} = 3 \cdot 250 \cdot 1,4 \cdot 1,0 = 1050 \text{ кг/пм} = 1,05 \text{ т/пм}$$

где: 3 - ширина отсека в м;

250 - нормативное значение веса снегового покрова на 1 м² горизонтальной поверхности для VI снегового района [4]

1,4 - коэффициент надежности по нагрузке;

1,0 - коэффициент μ [4]

Суммарная нагрузка составит:

$$4,29 + 2,0 + 1,05 = 7,34 \text{ т/м}$$

Поперечное сечение пролетного строения, состоящего из 4-х коробок, для расчета представлено в виде трех двутавровых балок (средние ребра) и двух балок швелерного сечения (крайние ребра).

Пролет балок 40 м.

Ширина полок балки согласно п.3.16 [3] составляет

$$6 h_x' = 6 \cdot 20 = 120 \text{ см.}$$

где: h_x' - высота нижней сжатой полки.

Наиболее опасным усилием для ж.б. балки является пролетный момент в середине пролета

$$M = \frac{q l^2}{8} = \frac{7,34 \cdot 40^2}{8} = 1468 \text{ т/м}$$

4.3. Расчет прочности нормального сечения

Сечение двутавровой балки имеет размеры

$$h = 336 \text{ см}; \quad a = 8 \text{ см}; \quad a' = 3 \text{ см}$$

тогда $h_0 = 336 - 8 = 328 \text{ см}$

$$z_a = 328 - 3 = 325 \text{ см}$$

По формуле 25 [3] определяется значение относительной высоты сжатой зоны бетона

$$\xi = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_{sr}}{\sigma_{sc,u}} \left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)}$$

где: ω - характеристика сжатой зоны бетона, определяемая по формуле:

$$\omega = \alpha - 0,008 R_b = 0,85 - 0,008 \cdot 19,5 = 0,70$$

где: α - коэффициент, принимаемый равным 0,85 для тяжелого бетона

σ_{sr} - напряжение в арматуре МПа для канатов

$$\sigma_{sr} = R_{sr} + 400 - \sigma_{sr}' = 1175 + 400 - 1004 = 571 \text{ МПа}$$

где: R_{sr} - расчетное сопротивление арматуры для предельного состояния I-й группы

σ_{sr} - предварительные напряжения в напрягаемой арматуре до обжатия бетона

$$\sigma_{sr} = 0,9 R_{sr} (1 - 0,05) = 1004 \text{ МПа}$$

$\sigma_{sc,u}$ - предельное напряжение в арматуре сжатой зоны

$$\sigma_{sc,u} = 500 \text{ МПа, тогда}$$

$$\xi_R = \frac{0,70}{1 + \frac{571}{500} \left(1 - \frac{0,70}{1,1}\right)} = 0,494$$

$$A_R = \xi_R (1 - 0,5 \xi_R) = 0,494 (1 - 0,5 \cdot 0,494) = 0,372$$

Момент воспринимаемый сжатой полкой

$$\begin{aligned} M_p &= R_b \cdot b_n \cdot h_x' (h_0 - 0,5 h_x') + R_{sa} \cdot A_s' \cdot Z_a = \\ &= 199 \cdot 120 : 20 (328 - 0,5 \cdot 20) + 3750 \cdot 6,79 \cdot 316 = \\ &= 1601,4 \cdot 10^5 \text{ кг см} = 1601,4 \text{ тм}; \end{aligned}$$

1601,4 тм > 1468 тм - нейтральная ось проходит в полке, сечение рассчитываем как прямоугольное шириной $b_n' = 120$ см

По формуле 1,34 [5] определяем A_0

$$\begin{aligned} A_0 &= \frac{M - R_{sa} \cdot A_s' \cdot Z_a}{b \cdot h_0^2 \cdot R_b} = \\ &= \frac{1468 \cdot 105 - 3750 \cdot 6,79 \cdot 316}{120 \cdot 328 \cdot 199} = 0,056 \end{aligned}$$

По таблице 1.1 [5] $\xi = 0,060$;

Коэффициент условий работы напрягаемой арматуры

$$\begin{aligned} m_{ay} &= \bar{m}_{ay} - (\bar{m}_{ay} - 1) \frac{\xi}{\xi_R} = \\ &= 1,15 - (1,15 - 1) \frac{0,06}{0,494} = 1,130 \end{aligned}$$

где: \bar{m}_{ay} - максимальное значение коэффициента

$$X = \xi \cdot h_0 = 0,060 \cdot 328 = 19,6 \text{ см} \quad 2 = 2 \cdot 3 = 6 \text{ см}$$

Площадь напрягаемой арматуры определяем с учетом сжатой арматуры по формуле

$$1,35 [5] \quad \text{при } A'_{сж} = 0$$

$$A_{сж} = \frac{I}{m_{сж} \cdot R_{сж}} (R_b \xi_b h_0 + R_{сж} \cdot A_{сж}') =$$

$$= \frac{I}{1,130 \cdot 10600} (199 \cdot 0,060 \cdot 120 \cdot 328 + 3750 \cdot 6,79) =$$

$$= 41,36 \text{ см}^2$$

Принимаем 24 \emptyset I5 K7

Расход материалов на I пм пролетного строения составит:

Бетон марки В 35 - 8,4 м³/пм

Ненапрягаемая арматура класса А III - 700 кг/пм

Ненапрягаемая арматура K7 - 170 кг/пм

5. СООБРАЖЕНИЯ ПО РАСЧЕТУ ПОДВОДНОГО ТОННЕЛЯ

5.1. Общие данные

Поперечное сечение тоннеля и давление воды на глубине 15 метров приведены на рис. 4. Расчет тоннеля по предельным состояниям первой группы (по прочности) рассматривается для следующих загрузок:

1. Расчет наружной железобетонной оболочки на местную нагрузку от давления воды;
2. Расчет тоннеля на воздействие сил всплытия, приложенных на участках между надводными опорами.

5.2. Исходные данные

Бетон В35, $R_b = 199 \text{ кг/см}^2$ (19,5 МПа)

Ненапрягаемая арматура выполняется из стали класса АIII,
 $R_s = R_{сж} = 3750 \text{ кг/см}^2$ (355 МПа)

70

Напрягаемая арматура принята из канатов К7 диаметром \emptyset 15 мм,

$$R_s = 11000 \text{ кг/см}^2 \text{ (1080 МПа)}$$

5.2. Расчет наружной железобетонной оболочки на местную нагрузку

Давление воды на днище тоннеля на глубине 18,6 метров составляет 18,6 т/м².

Вырезаем полосу днища тоннеля длиной 1 м и представляем его в виде четырехпролетной неразрезной балки с пролетами 3,0 м и нагрузкой 18,6 т/м.

Согласно табл. 8.1.3 6 опорный момент составляет

$$\begin{aligned} M_{оп} &= 0,071 q l^2 = 0,071 \cdot 18,6 \cdot 3,3^2 = \\ &= 14,38 \text{ тм} \end{aligned}$$

Для прямоугольного сечения высотой 40 см требуемую площадь арматуры определяем по упрощенной формуле:

$$A_{тр} = \frac{M}{0,9 \cdot h_0 \cdot R_s} = \frac{14,38 \cdot 10^5}{0,9 \cdot 26 \cdot 3750} = 16,39 \text{ см}^2$$

Принимаем 5 \emptyset 22 А Ш на 1 м

Пролетный момент согласно табл. 8.18 [6]

составит:

$$M_{пр} = 0,037 q l^2 = 0,037 \cdot 18,6 \cdot 3,3^2 = 7,49 \text{ тм}$$

$$A_{тр} = \frac{7,49 \cdot 10^5}{0,9 \cdot 26 \cdot 3750} = 8,54 \text{ см}^2$$

Принимаем 5 \emptyset 16 А Ш на 1 м

5.3. Расчет тоннеля на воздействие сил всплытия

Вес 1 погонного метра составляет:

$$13 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,3 \cdot 2,5 \cdot 1,0 + 5 \cdot 3 \cdot 0,3 \cdot 2,5 \cdot 1,0 + 3,14 \cdot 3,3 \cdot 0,3 \cdot 2,5 \cdot 1,0 = 38,80$$

Силы всплытия на 1 пм тоннеля составляют:

$$13,2 \cdot 3,6 \cdot 1,0 + \frac{3,14 \cdot 3,67 \cdot 1,0}{4} = 57,70 \text{ т}$$

Для того, чтобы тоннель находился в состоянии равновесия необходимо пригрузить каждый погонный метр тоннеля нагрузкой:

$$57,70 - 38,80 = 18,9 \text{ т/пм}$$

Эта нагрузка складывается из полезной равномерно-распределенной нагрузки 8 т/пм и нагрузки от веса надводного пролетного строения и одной опоры. При погонной нагрузке на надводное пролетное строение 5 т/пм из оставшихся 18,9 т/пм сил всплытия на восприятие веса опоры останется

$$18,9 - 8,0 - 5,0 = 5,9 \text{ т/пм}$$

При 84 метровом пролете надводного пролетного строения вес опоры не должен превышать:

$$84 \cdot 5,9 = 495,6 \text{ т или } 198 \text{ м}^3 \text{ железобетона}$$

Этой кубатуры может оказаться недостаточно. Поэтому целесообразно увеличить высоту тоннеля в свету до 3,6 м при сохранении той же толщины и тем самым увеличить силу всплытия на 10 т/пм тоннеля и тем самым дать возможность повысить вес опоры до 1335,6 (534 м³).

Пролетное железобетонное строение тоннеля при расчете на силы всплытия разбивается на 5 двутавровых балок высотой 4,2 м; с шириной полки 1,8 м; толщиной полки и стенки 300 мм. Длина двутавровых балок принимается равной расстоянию между опорами надводных пролетных строений и рассчитывается как разрезная балка свободно опертая на опоры.

Такое решение осуществляется конструктивно посредством стыковки участков тоннеля между собой через условно гибкие компенсаторы. Тогда для 84 метрового надводного пролетного строения

получим следующий пролетный момент на I двутавровую балку:

$$\frac{(\frac{15,9 + 5}{5}) \cdot 84^2}{8} = 3686 \text{ тм}$$

где: 15,9 т/пм - силы всплытия воспринимаемые весом опоры;
5 - вес I пм надводного пролетного строения;
5 в знаменателе - количество двутавровых балок на кото-
рые разбивается тоннель при расчете

Тогда по аналогии с расчетом надземного железобетонного пролетного строения, площадь напрягаемой арматуры составит:

$$A_{ан} = \frac{M_{ан}}{m_{ан} \cdot R_{ан}} \cdot \frac{1}{R_{ан}} (R_B \cdot \xi \cdot b \cdot h_0 + R_{sc} \cdot A'_s) =$$

$$= \frac{1}{1,130 \cdot 10600} (199 \cdot 0,060 \cdot 180 \cdot 412 + 3750 \cdot 6,79) = 76 \text{ см}^2$$

Принимаем 44 \emptyset I5 K7

Расход материалов на I пм пролетного строения составит:

Бетон В35 - 17,0 м³/пм

Арматура АШ - 1,8 т/пм

Арматура K7 - 0,31 т/пм

6. ОПОРЫ И ФУНДАМЕНТЫ ПОД ПРОЛЕТНЫЕ СТРОЕНИЯ

6.1. Краткий обзор вопроса

В настоящем разделе рассматриваются опоры и фундаменты под пролетные строения длиной 84 и 98 метров при высоте опор 15,30 и 30 ÷ 100, и более метров.

Особенностью опор является очень большие моменты от ветровых нагрузок при незначительных вертикальных нагрузках, т.е. имеет место случай внецентренного сжатия при больших эксцентриситетах, и при высоте опор 30 и более метров при консольной схеме опоры фундаменты становятся очень материалоемкими.

Поэтому для опор высотой 30 и более метров предлагается вариант высоких опор с растяжками посередине и сверху опор.

Растяжки направлены под углом и снимают с опор горизонтальные ветровые усилия. Соединения опор с фундаментами при высоких опорах предлагается шарнирным. Это дает возможность передать на фундаменты только вертикальные нагрузки и небольшие горизонтальные силы. Передача усилий с растяжек предполагается на грунтовые анкеры, которые воспринимают большие выдерживающие усилия при незначительной материалоемкости.

Для погашения больших моментов предлагает экспериментальный тип фундаментов в которых горизонтальные усилия воспринимаются грунтовыми анкерами, что позволит значительно уменьшить материалоемкость.

Сечение опор предлагается двутавровое. Такое сечение позволяет рационально использовать материал, т.к. инерционные массы расположены на граничных расстояниях от центра тяжести. Сами опоры из-за больших моментов предлагается выполнять с предварительным напряжением (обжатием).

На Рис. II дана принципиальная схема опор высотой 15, 30 м совместно с фундаментами.

На рис. I2 дана принципиальная схема опор высотой 30÷100 и более метров.

6.2. Определение усилий на опоры и фундаменты

Принимаем ветровую нагрузку для пятого ветрового района. По формуле 6 [4] определяем нормативную ветровую нагрузку на 1 м² боковой поверхности пролетного строения.

$$W_m = W_0 \cdot K \cdot C$$

где: W_0 - нормативное значение ветрового давления;

$$W_0 = 60 \text{ кг/м}^2 \text{ (для V района)}$$

K - коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте;

22

$K = 1,20$ для 1 м^2 пролетного строения на 15 метровых опорах
и $K = 1,42$ для 1 м^2 пролетного строения на 30 метровых опорах.
 C - аэродинамический коэффициент согласно приложения 4 [4]
 $C = 1,35$

Тогда:

$$W_m = 60 \cdot 1,20 \cdot 1,35 = 97,2 \text{ кг/м}^2$$

(для 15 м опоры)

$$W_m = 60 \cdot 1,42 \cdot 1,35 = 115 \text{ кг/м}^2$$

(для 30 м опоры)

Расчетная горизонтальная нагрузка от ветра передаваемая на опору от пролетного строения составит:

1. Для 15 метровой опоры

$$N = 97,2 \cdot 84 \cdot 6 \cdot 1,4 = 68584 \text{ кг} = 68,58 \text{ т}$$

где: 84 - длина пролетного строения

6 - высота пролетного строения

1,4 - коэффициент надежности

2. Для 30 метровой опоры

$$N = 115 \cdot 84 \cdot 6 \cdot 1,4 = 81144 \text{ кг} = 81,14 \text{ т}$$

Ветровая нормативная нагрузка на 1 м^2 опоры составит:

для опоры 15 метров

$$W_m = 60 \cdot 1,0 \cdot 2,7 = 162 \text{ кг/м}^2$$

для опоры 30 метров

$$W_m = 60 \cdot 1,1 \cdot 2,7 = 178 \text{ кг/м}^2$$

Горизонтальные ветровые нагрузки на сами опоры составят:

для 15 метровой опоры

$$N_{15} = 162 \cdot 3 \cdot 15 = 9720 \text{ кг} = 9,72 \text{ т}$$

для 30 метровой опоры

$$N_{30} = 178 \cdot 4 \cdot 30 = 26700 \text{ кг} = 26,7 \text{ т}$$

где: 3,4 - ширина опор высотой соответственно 15 и 30 м.

Моменты, передаваемые на фундамент соответственно 15 и 30 метровых опор, составляют:

$$M_{15} = 162 \cdot 15 + 9,72 \cdot 7,5 = 2413 \text{ тм}$$

$$M_{30} = 178 \cdot 30 + 26,7 \cdot 15 = 5740 \text{ тм}$$

Вертикальные нагрузки на фундаменты составят:

$$N_{15} = 84 \cdot 5 + 206 = 626 \text{ т}$$

$$N_{30} = 84,5 + 462 = 882 \text{ т}$$

При глубине фундаментов 5 метров и расчетном сопротивлении грунтов 40 т/м² принимаем размеры фундаментов:

$$F_{15} = 9 \times 3 = 27 \text{ м}^2$$

$$F_{30} = 12 \times 6 = 72 \text{ м}^2$$

Расход материалов составит

- на опору высотой 15 м:

Бетон В25 - 82,5 м³

Арматура АШ - 6,3 т

Арматура К7 - 0,2 т

- на опору высотой 30 м

Бетон В25 - 185 м³

Арматура АШ - 13,8 т

Расход материалов на фундаменты под опору 15 м:

Бетон В20 - 70 м³

Арматура АШ - 4,0 т

На фундамент под опору 30 м

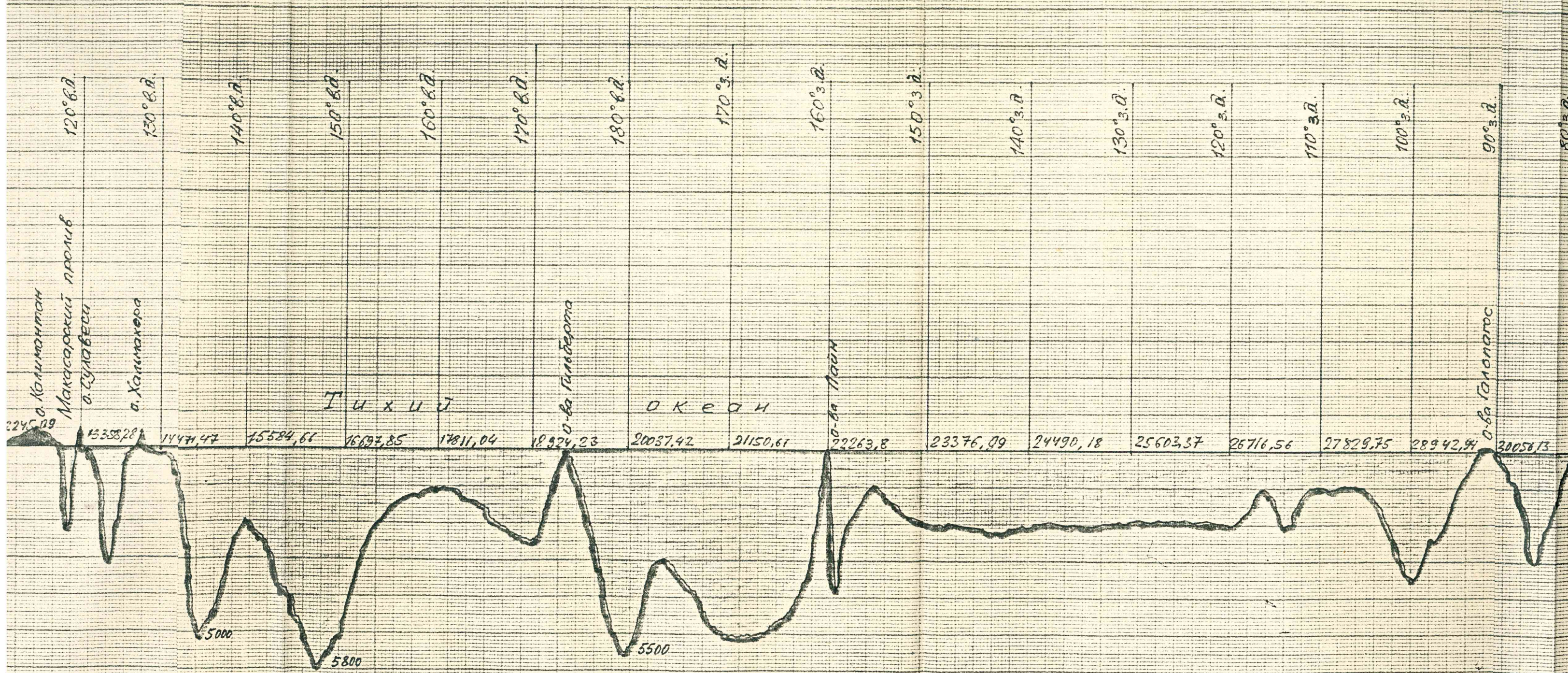
Бетон В20 - 160 м³

Арматура АШ - 9,6 т

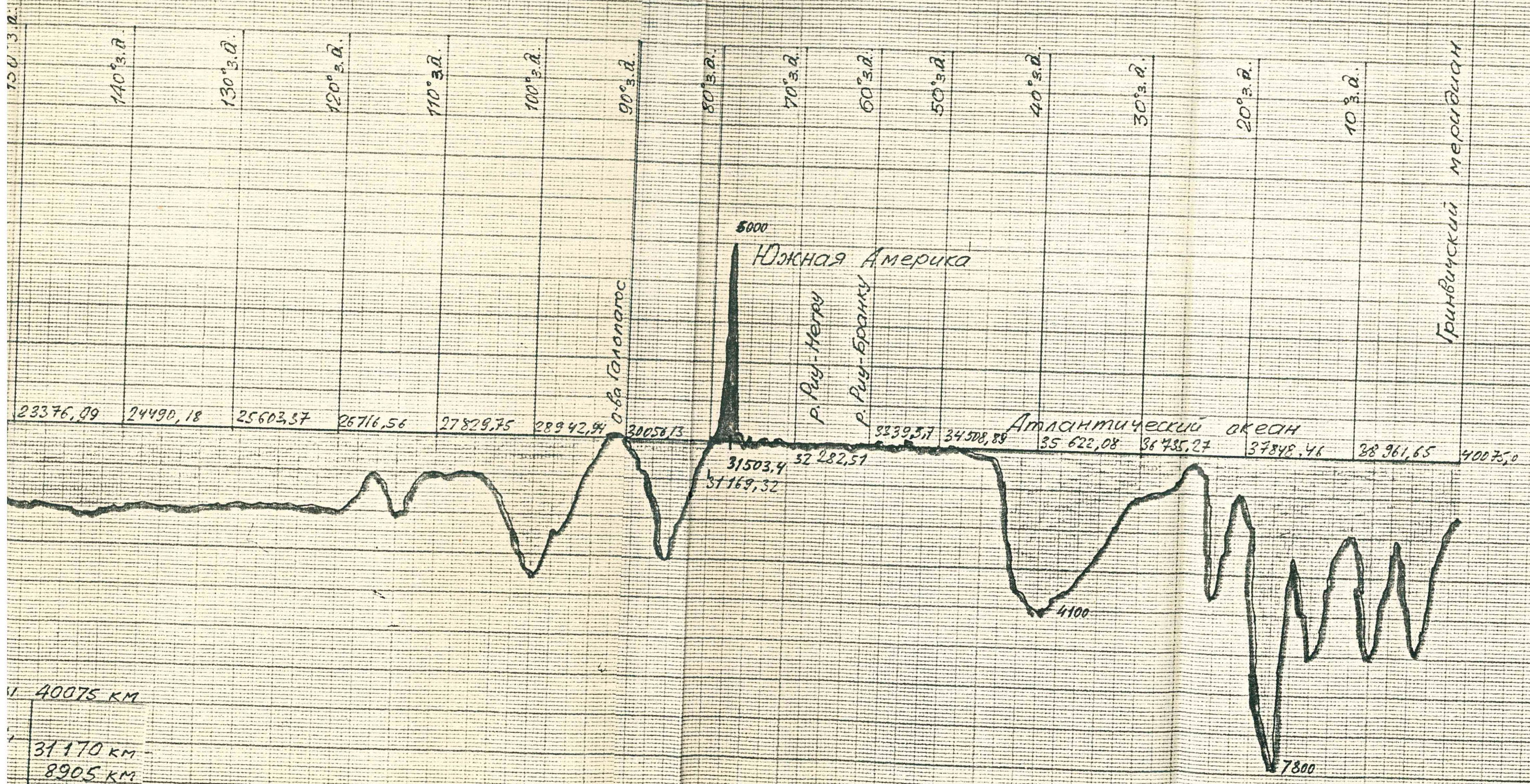
Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Беленя Е.И., Балдин В.А. и др. Металлические конструкции. - М.: Стройиздат, 1985.
2. СНиП П-23-81. Стальные конструкции. Нормы проектирования. - М.: Стройиздат, 1982.
3. СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции. - М.: Госстрой СССР, 1985.
4. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. - М.: Госстрой СССР, 1988.
5. Торяник М.С., Вахненко А.Ф. и др. Примеры расчета железобетонных конструкций. - М.: Стройиздат, 1979.
6. Агамиров В.Л., Архангельский В.Н. и др. Справочник проектировщика. - М.: Госстройиздат, 1961.

Продольный профиль трассы по экватору Земли

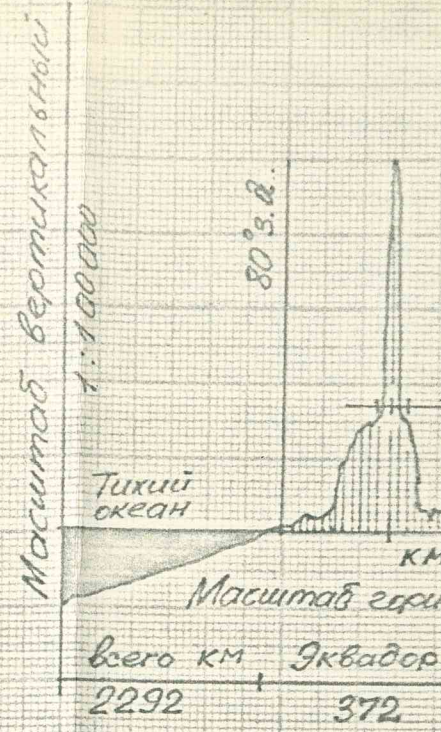
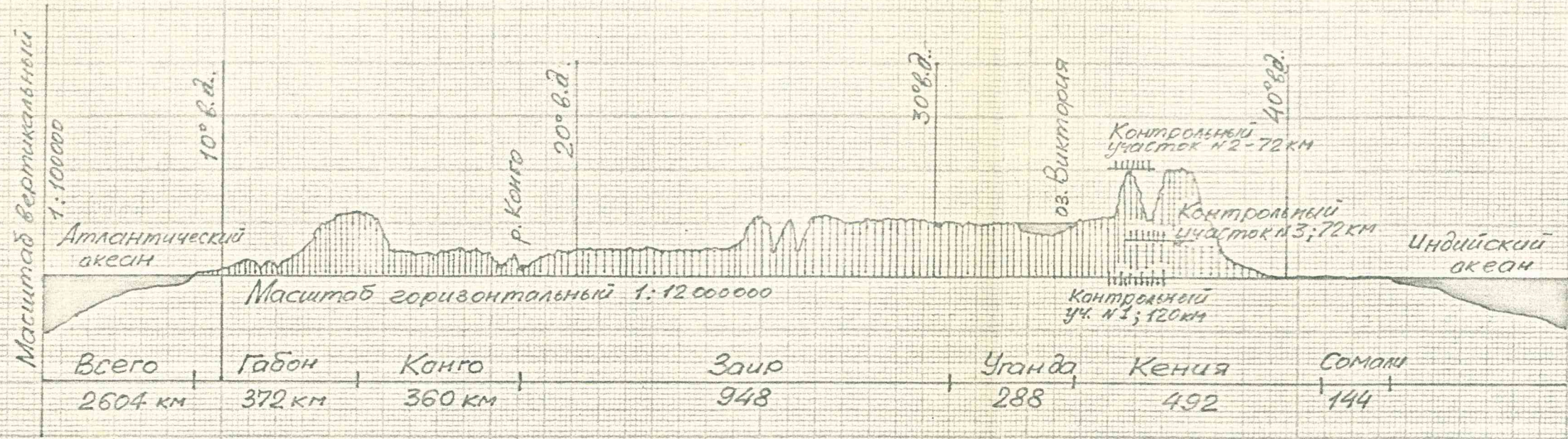


Общее протяжение трассы 40075 км
 в том числе:
 - по океанам, морям, заливам,
 озерам, рекам 31170 км
 - по суше 8905 км

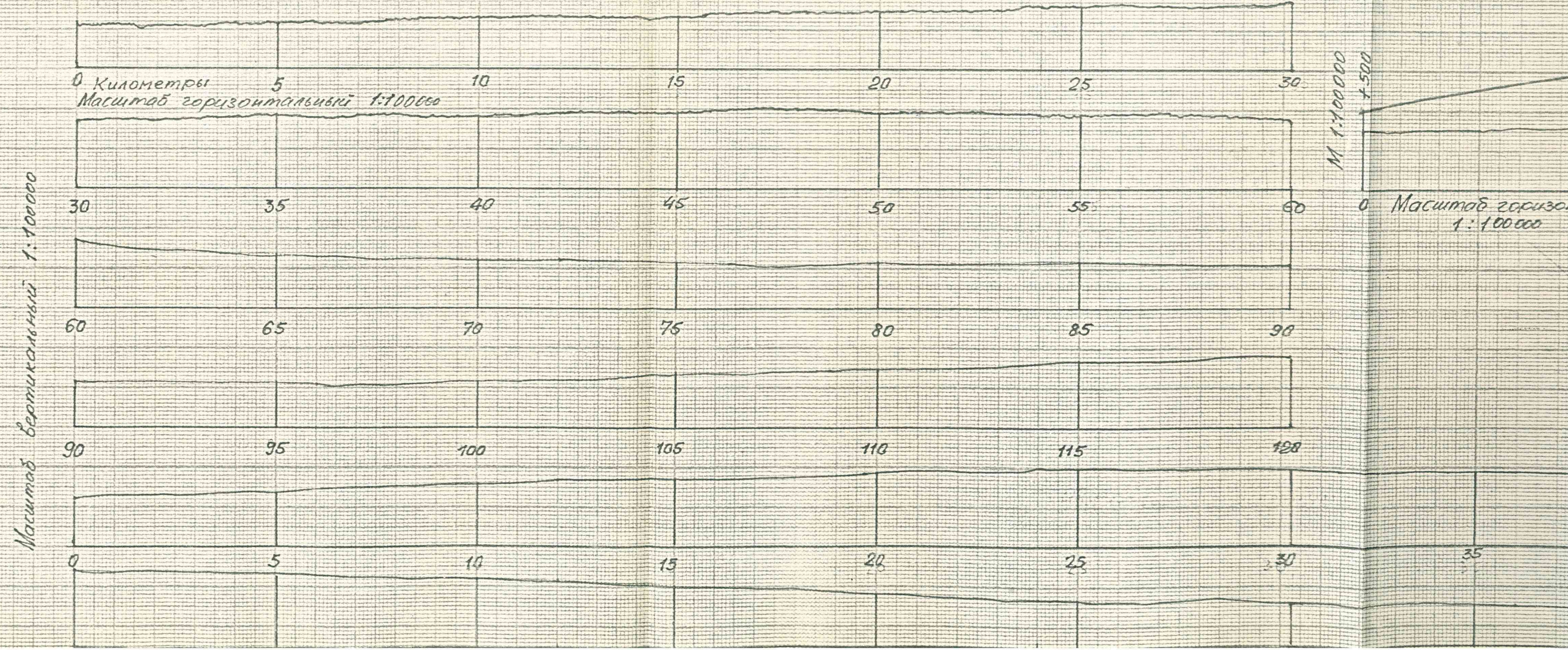


40075 KM
 31170 KM
 8905 KM

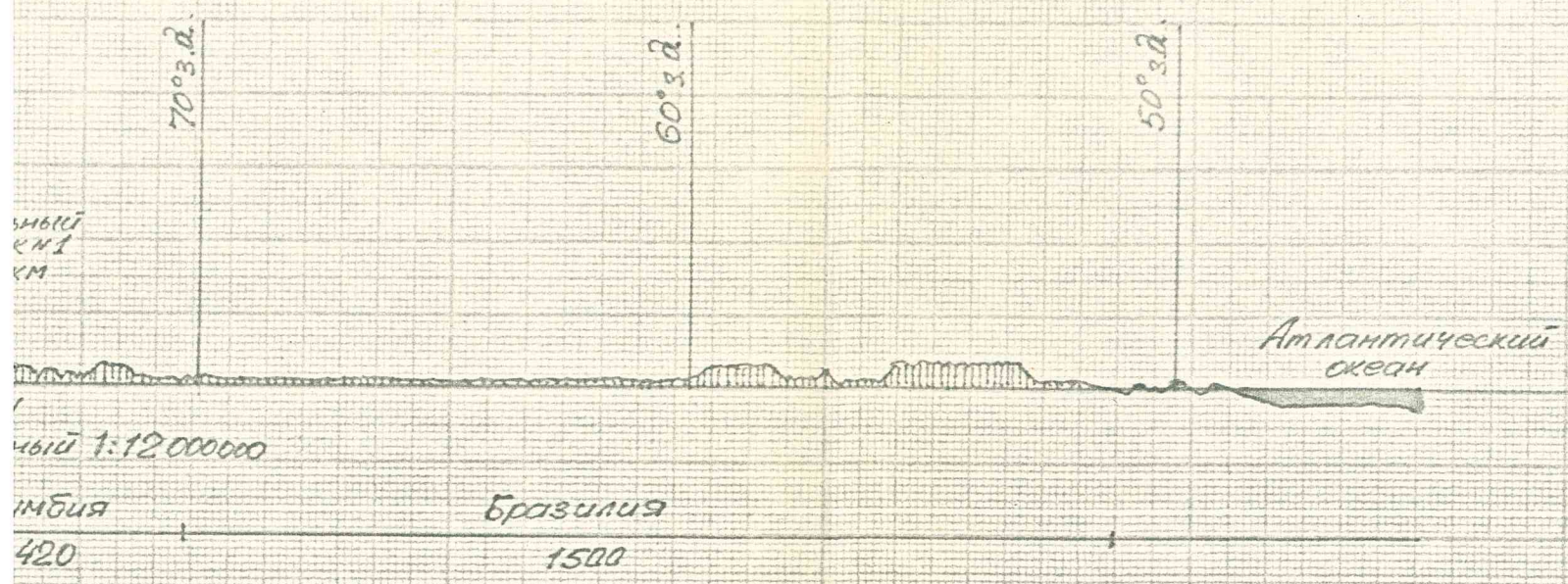
Продольный профиль трассы по экватору Африка



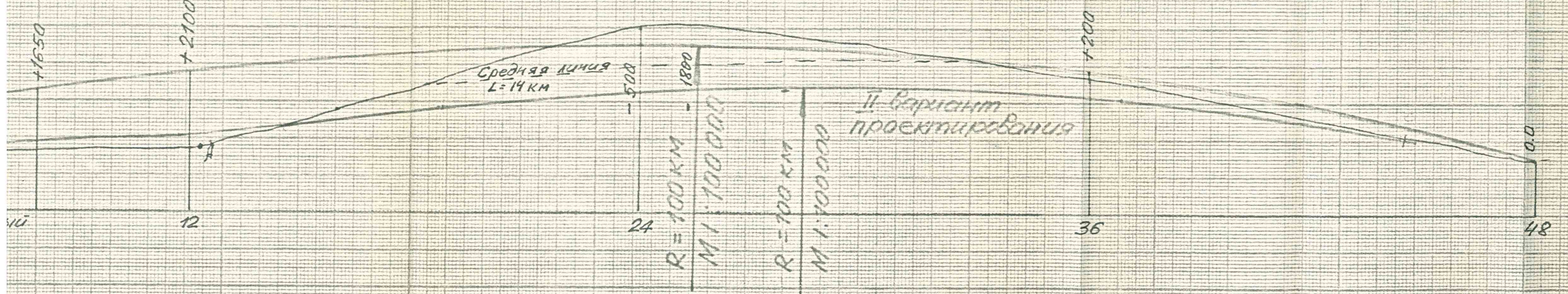
Продольный профиль на контрольном участке №1 (Африка.)



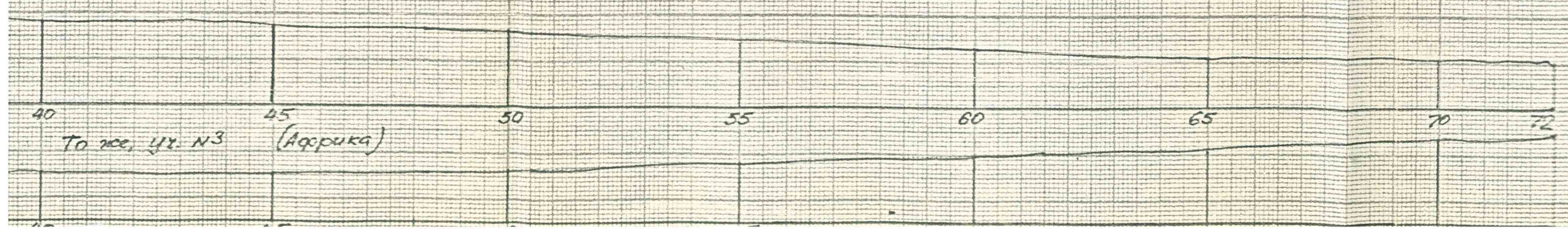
Продольный профиль трассы по экватору
Южная Америка



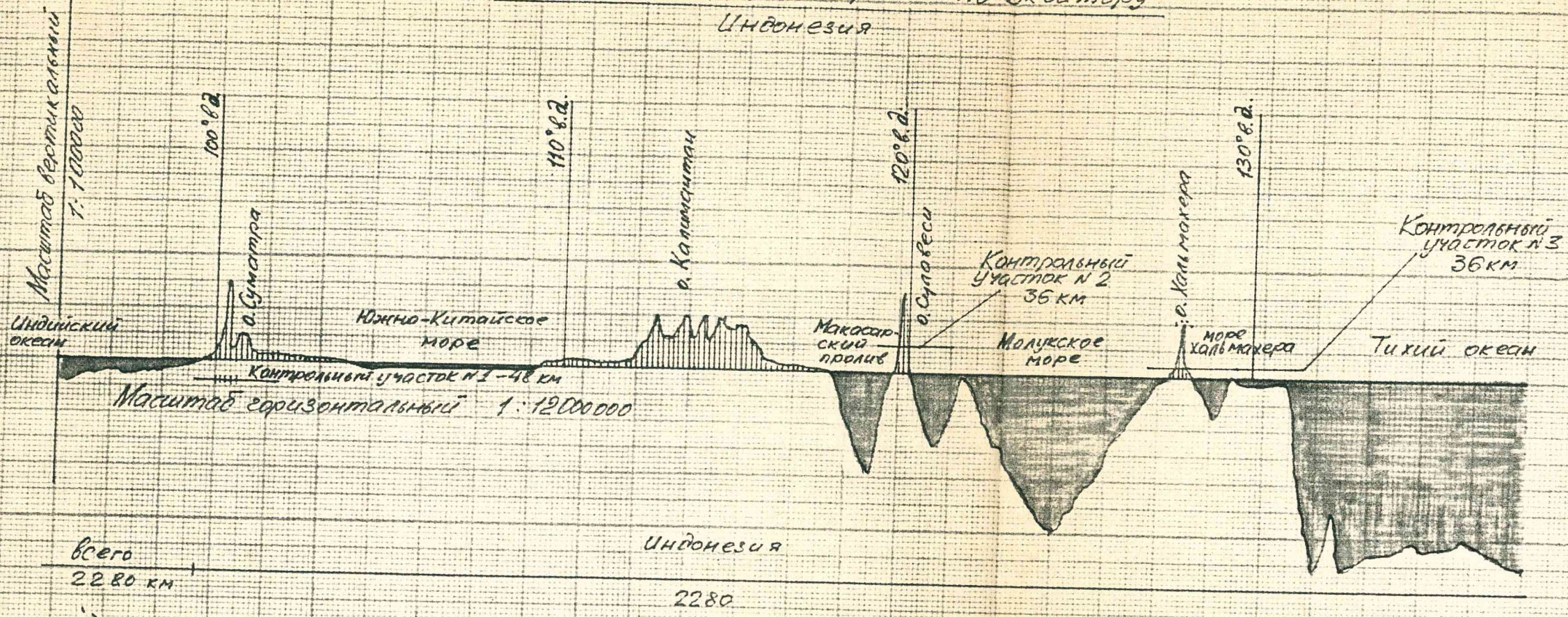
Продольный профиль на контрольном участке №1 (Южная Америка)



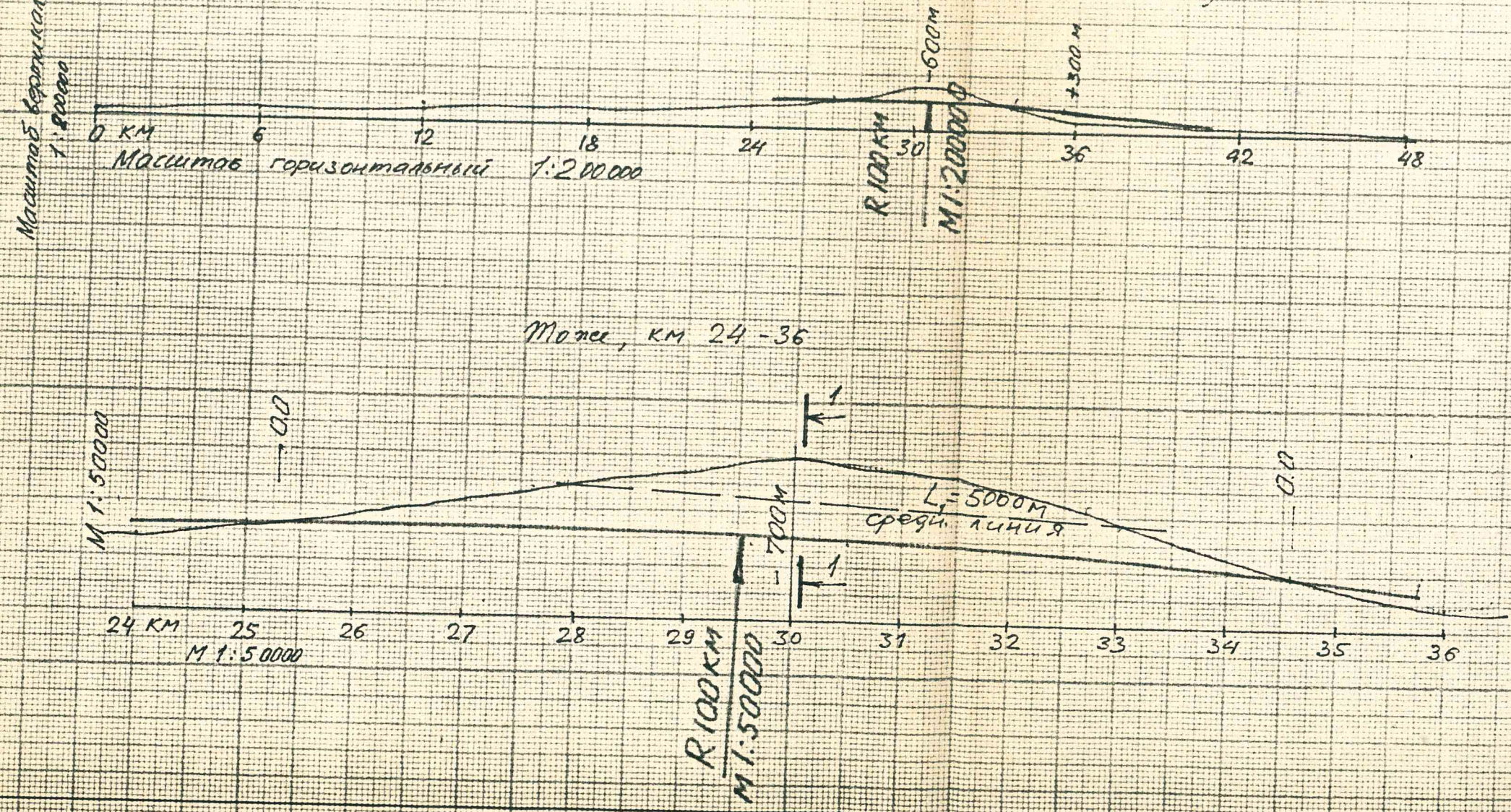
Продольный профиль на контрольном участке №2 (Африка)
Масштаб гор. и верт. 1:100000



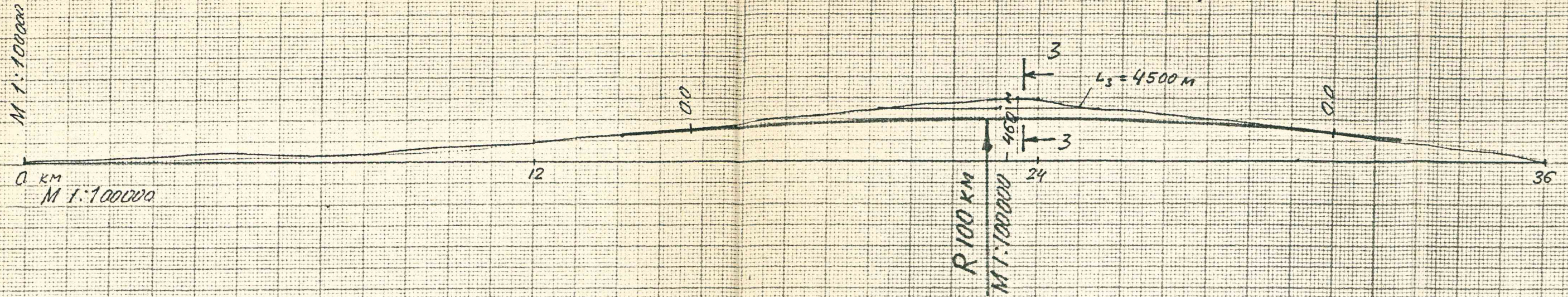
Продольный профиль трассы по экватору
Индонезия



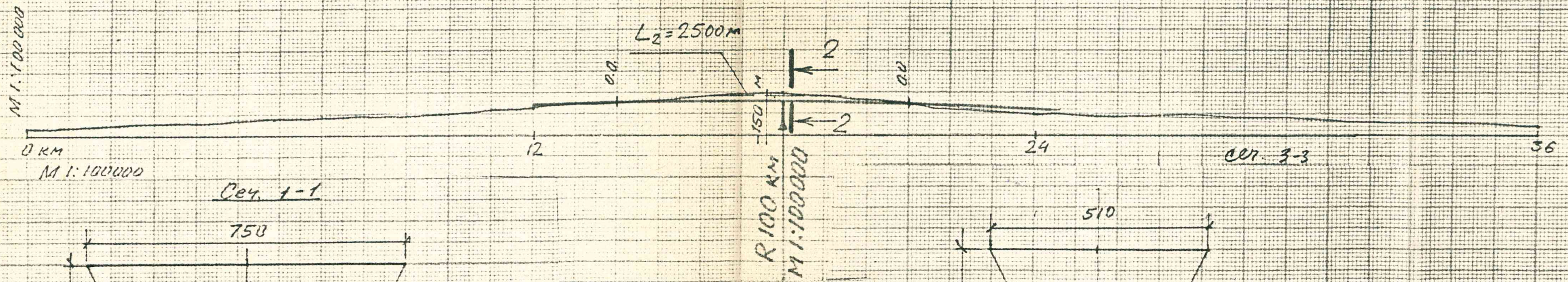
Продольный профиль на контрольном участке №1 (Индонезия)



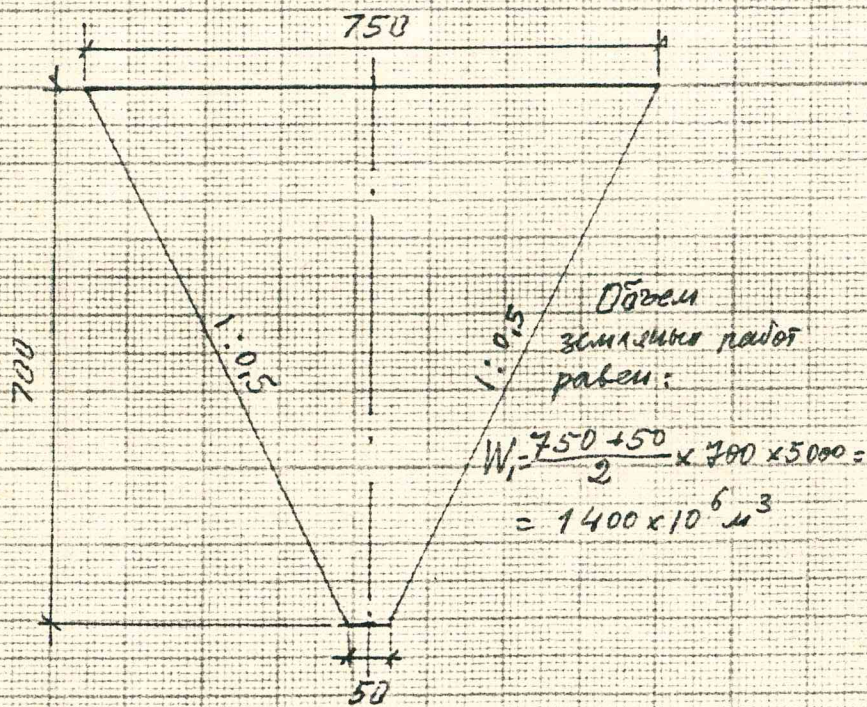
Продольный профиль на контрольном участке №2 (Индонезия)



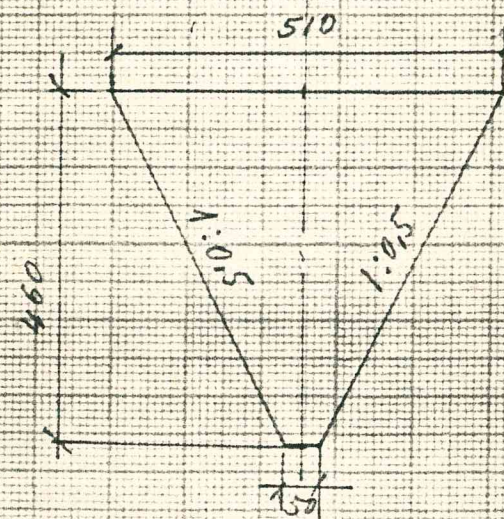
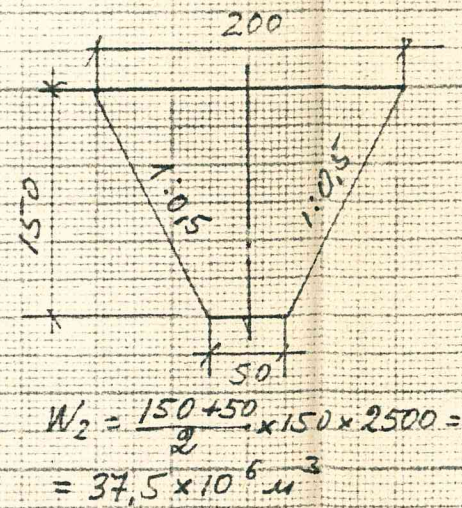
Продольный профиль на контрольном участке №3 (Индонезия)



Сеч. 1-1

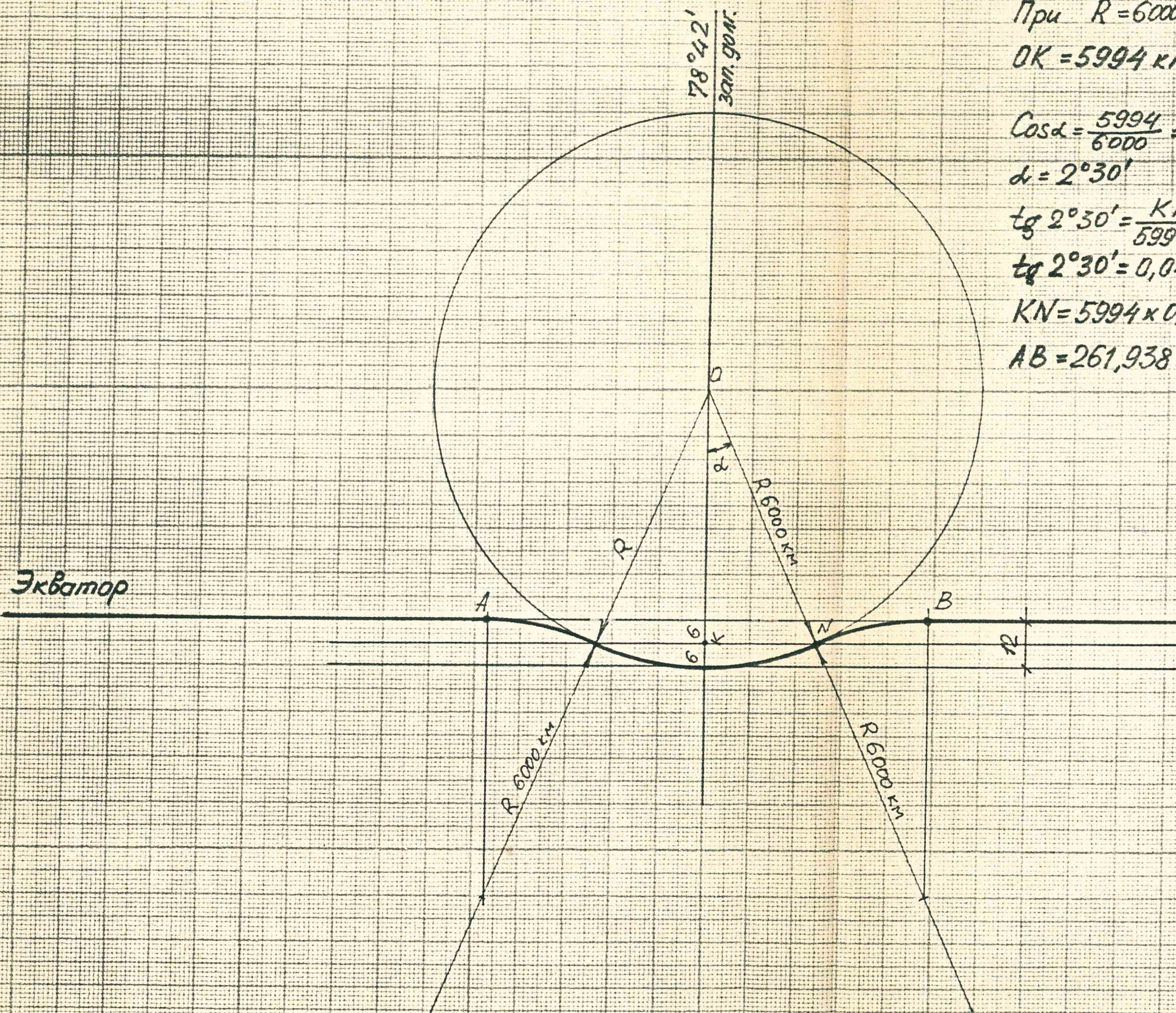


Сеч. 2-2



$$W_3 = \frac{460 + 150}{2} \times 460 \times 2500 = 293,25 \times 10^6 \text{ м}^3$$

Вариант №1 изменения трассы в плане
Южная Америка, $78^{\circ}42'$ зап. долг.



При $R = 6000$ км (радиус круговых кривых в плане)

$OK = 5994$ км (удаление трассы южнее экватора - 12 км)

$$\cos \alpha = \frac{5994}{6000} = 0,9990$$

$$\alpha = 2^{\circ}30'$$

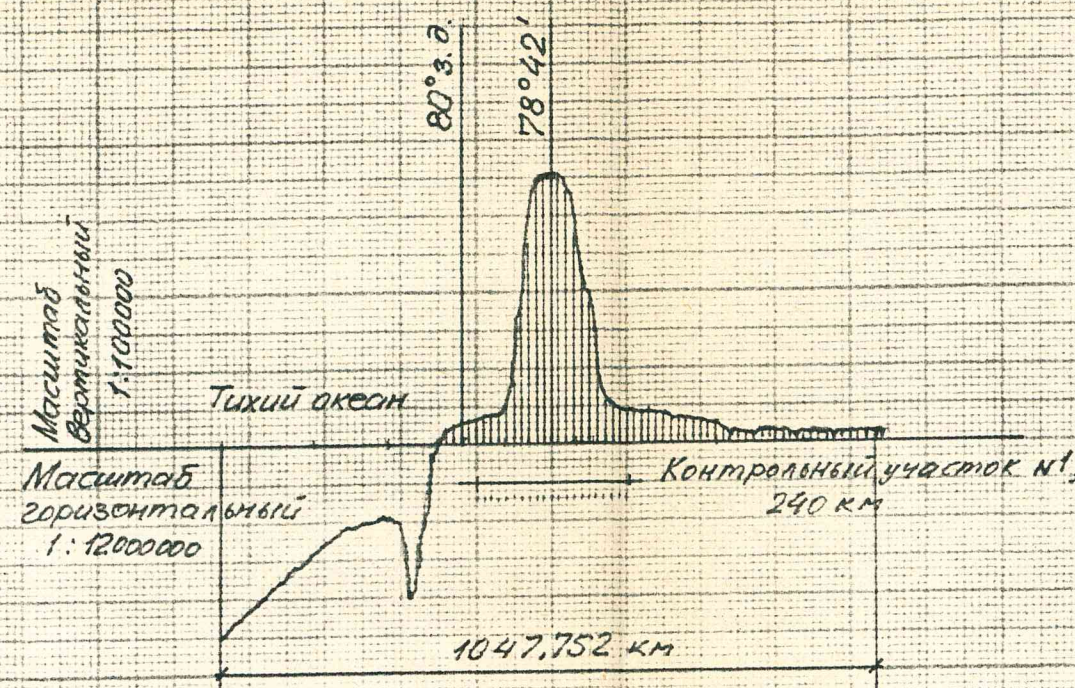
$$\operatorname{tg} 2^{\circ}30' = \frac{KN}{5994}$$

$$\operatorname{tg} 2^{\circ}30' = 0,0437$$

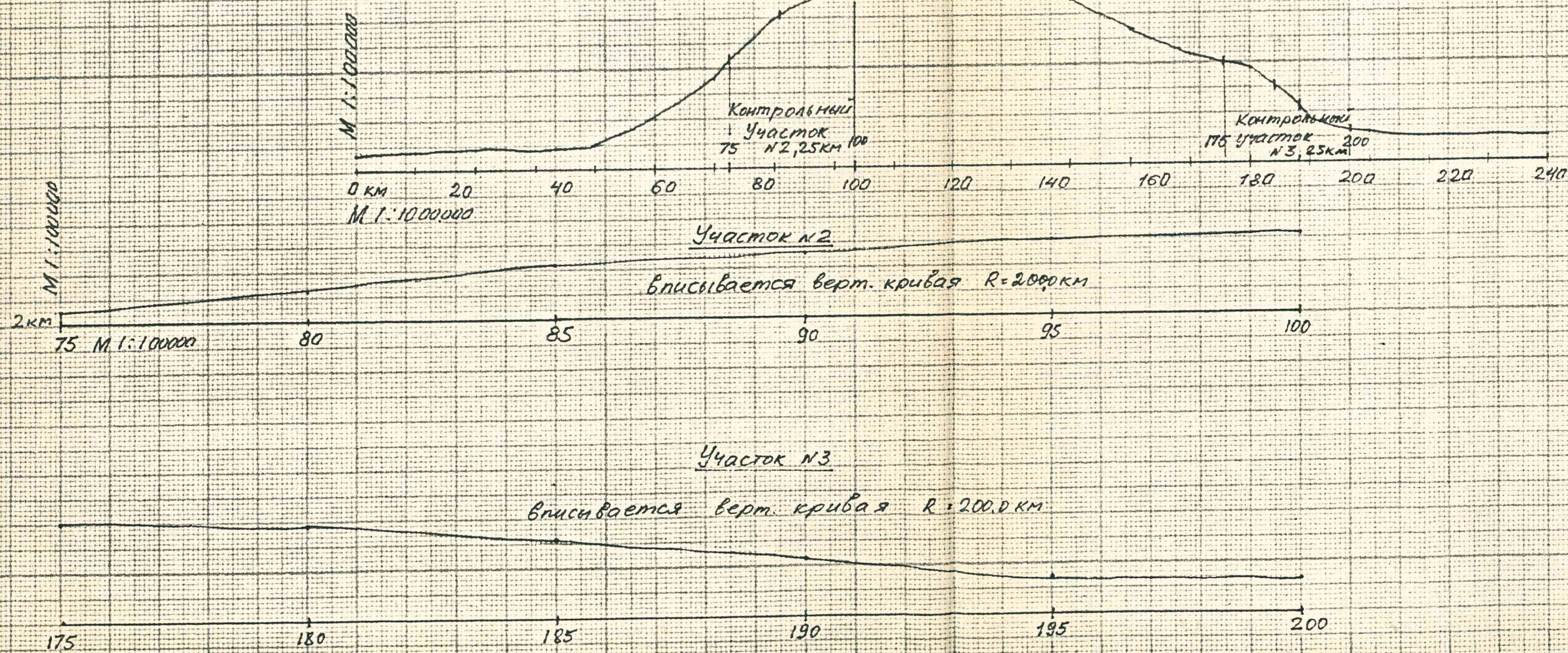
$$KN = 5994 \times 0,0437 = 261,938 \text{ км}$$

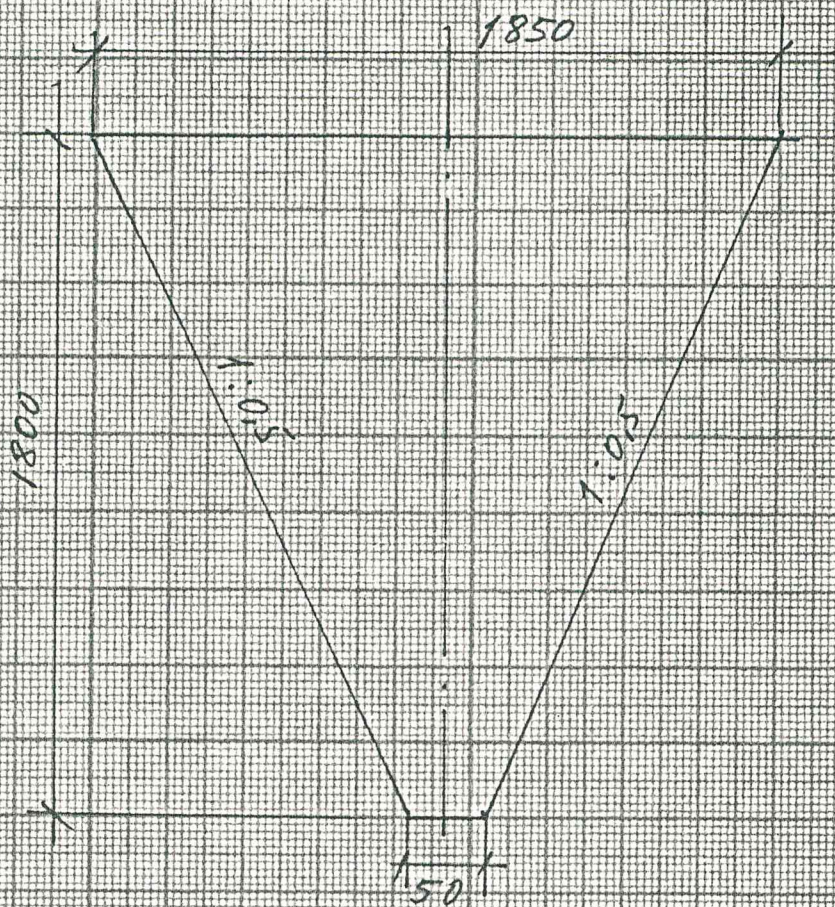
$$AB = 261,938 \times 4 = 1047,752 \text{ км}$$

Продольный профиль трассы по Варисинту №1. Южная Америка, $78^{\circ}42'$, Лтр. 1047,752 км



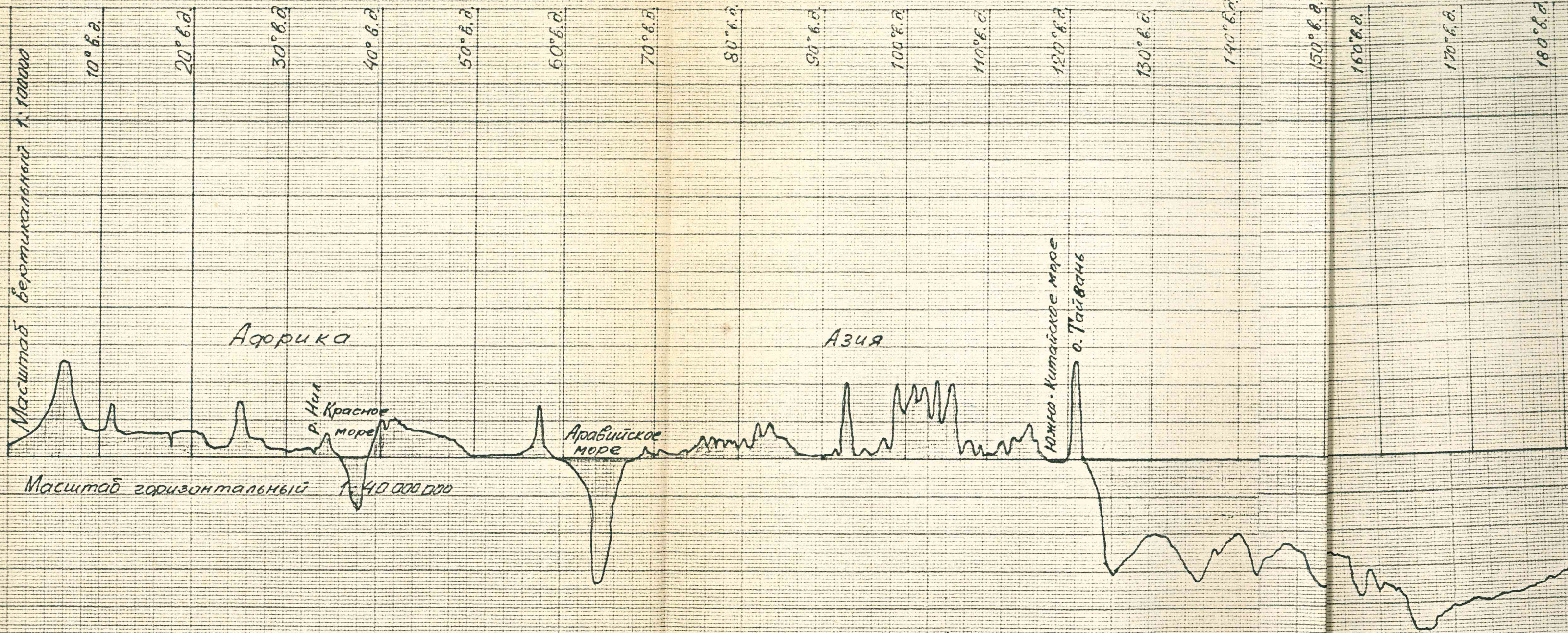
Продольный профиль на контрольном участке №1, 240 км



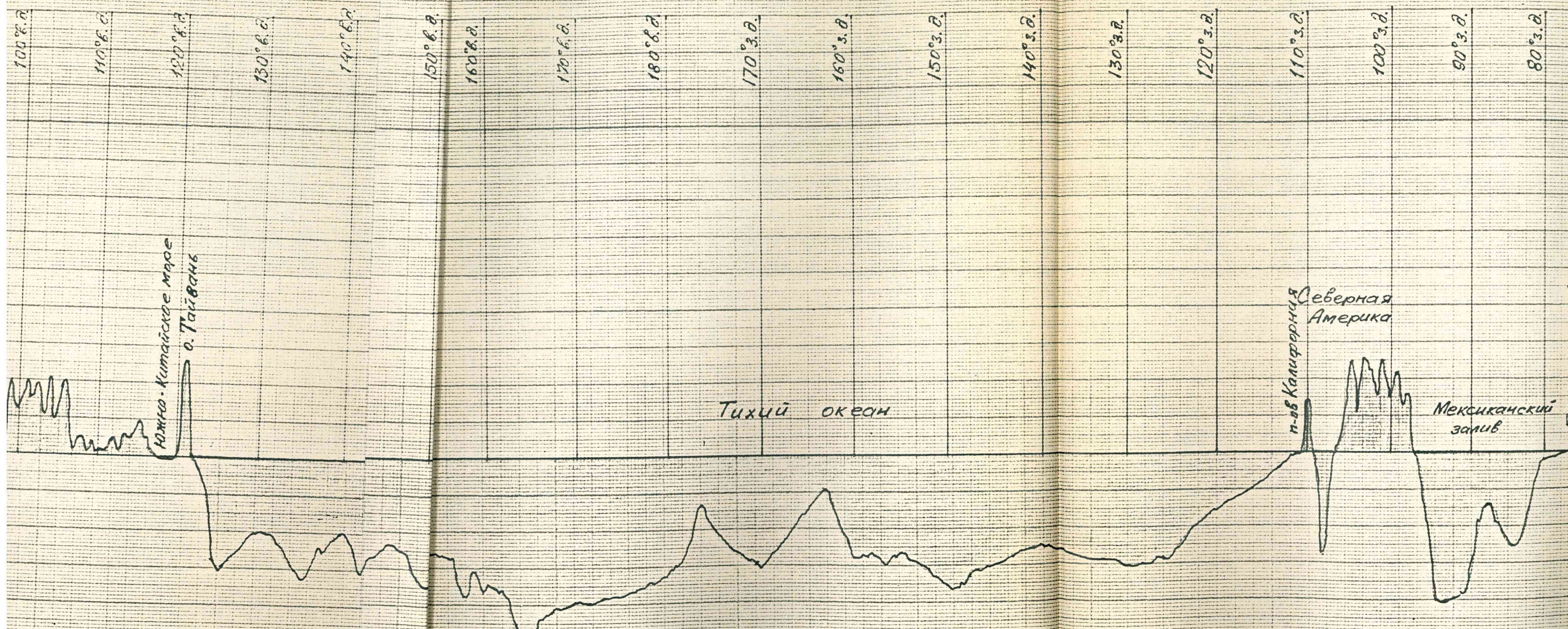


$$W = \frac{50 + 1850}{2} \times 1800 \times 14000 = 23.940 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Продольный профиль трассы по северу

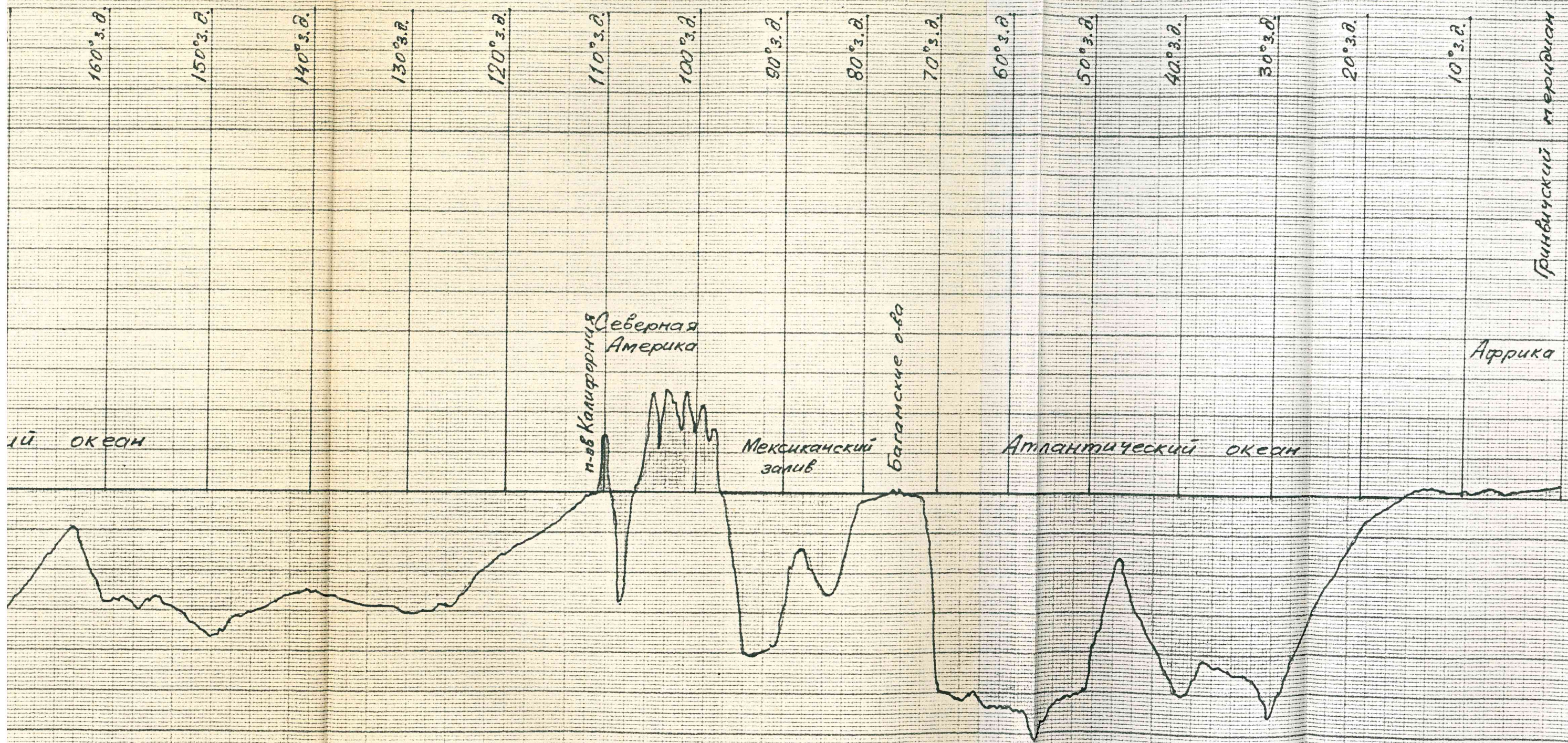


Продольный профиль трассы по северному тропику. I вариант трассы вне экватора.



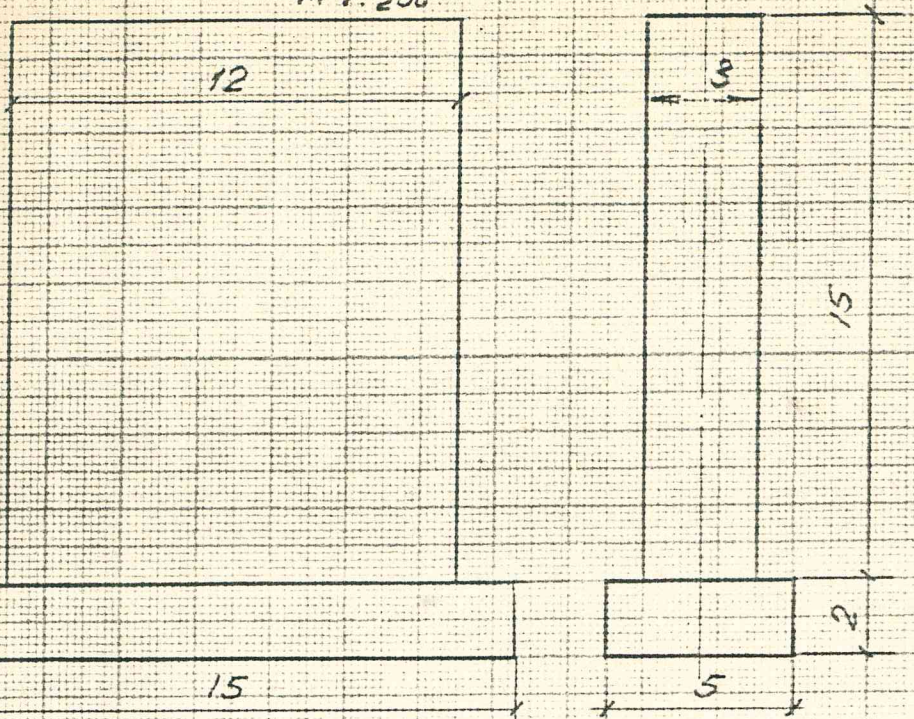
Общее протяжение трассы 34160 км
 в том числе:
 - по океанам, морям, заливам,
 озерам, рекам 21280 км
 - по суше 12880 км.

му тропику. I вариант трассы вне экватора.

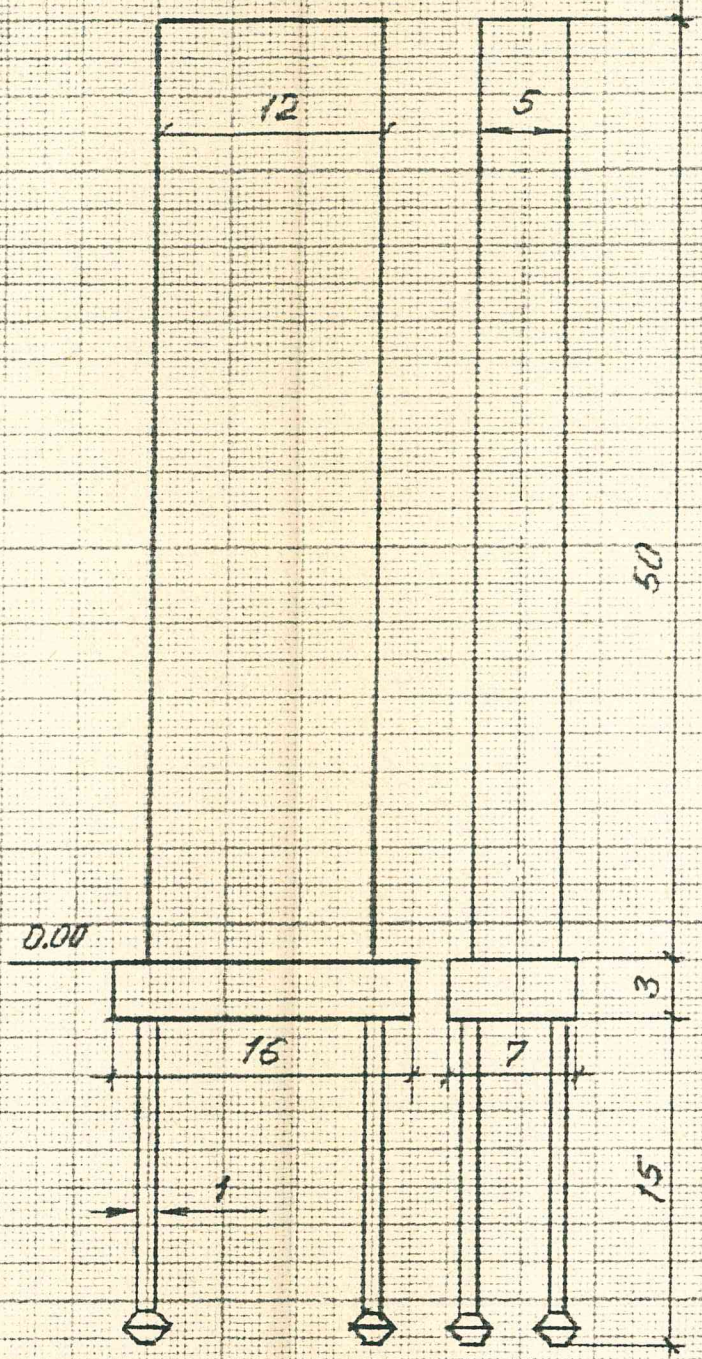


протяжение трассы 34160 км
 в том числе:
 по суше, морям, заливам,
 океанам 21280 км
 по суше 12880 км.

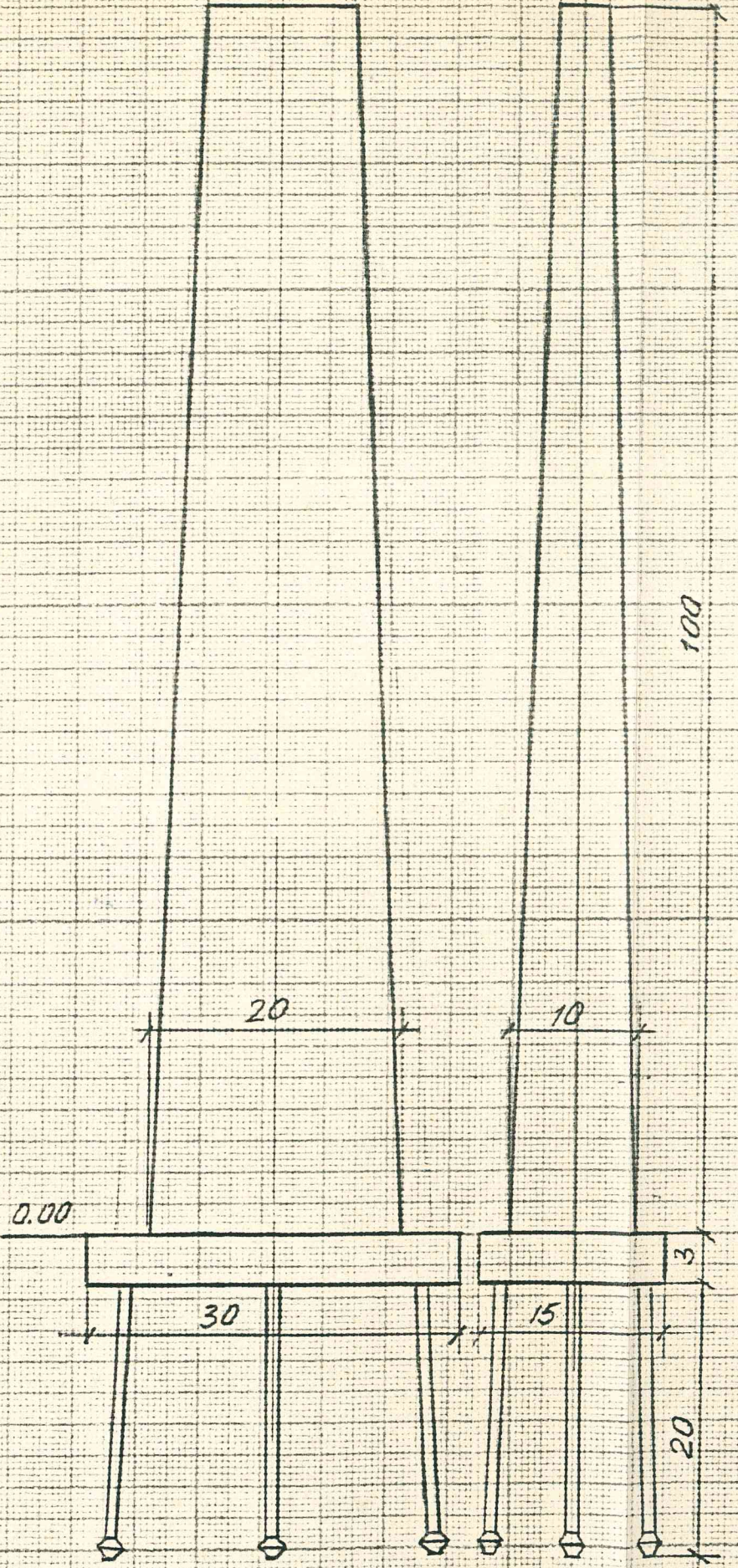
Опора 15 м
М 1:200



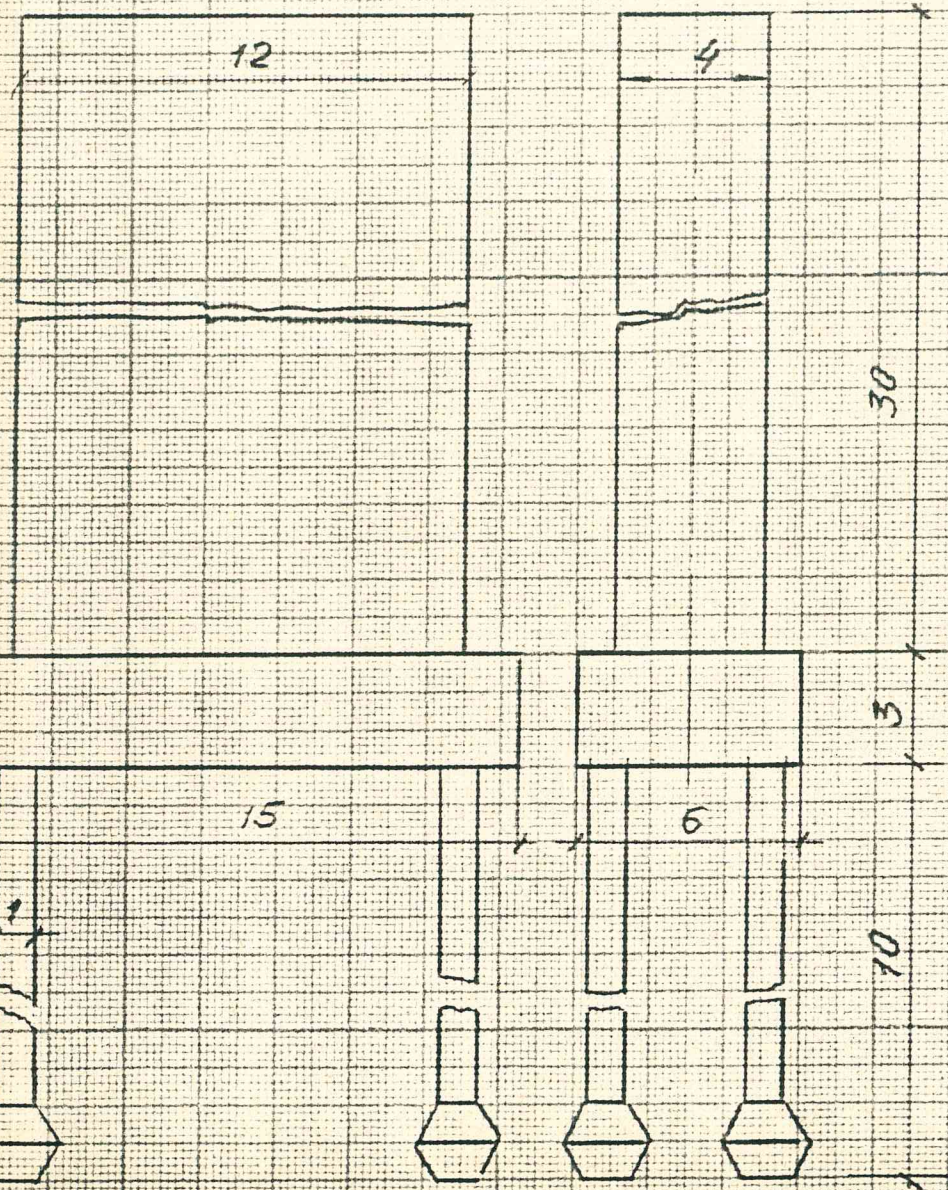
Опора 50 м
М 1:400



Опора 100 м
М 1:500



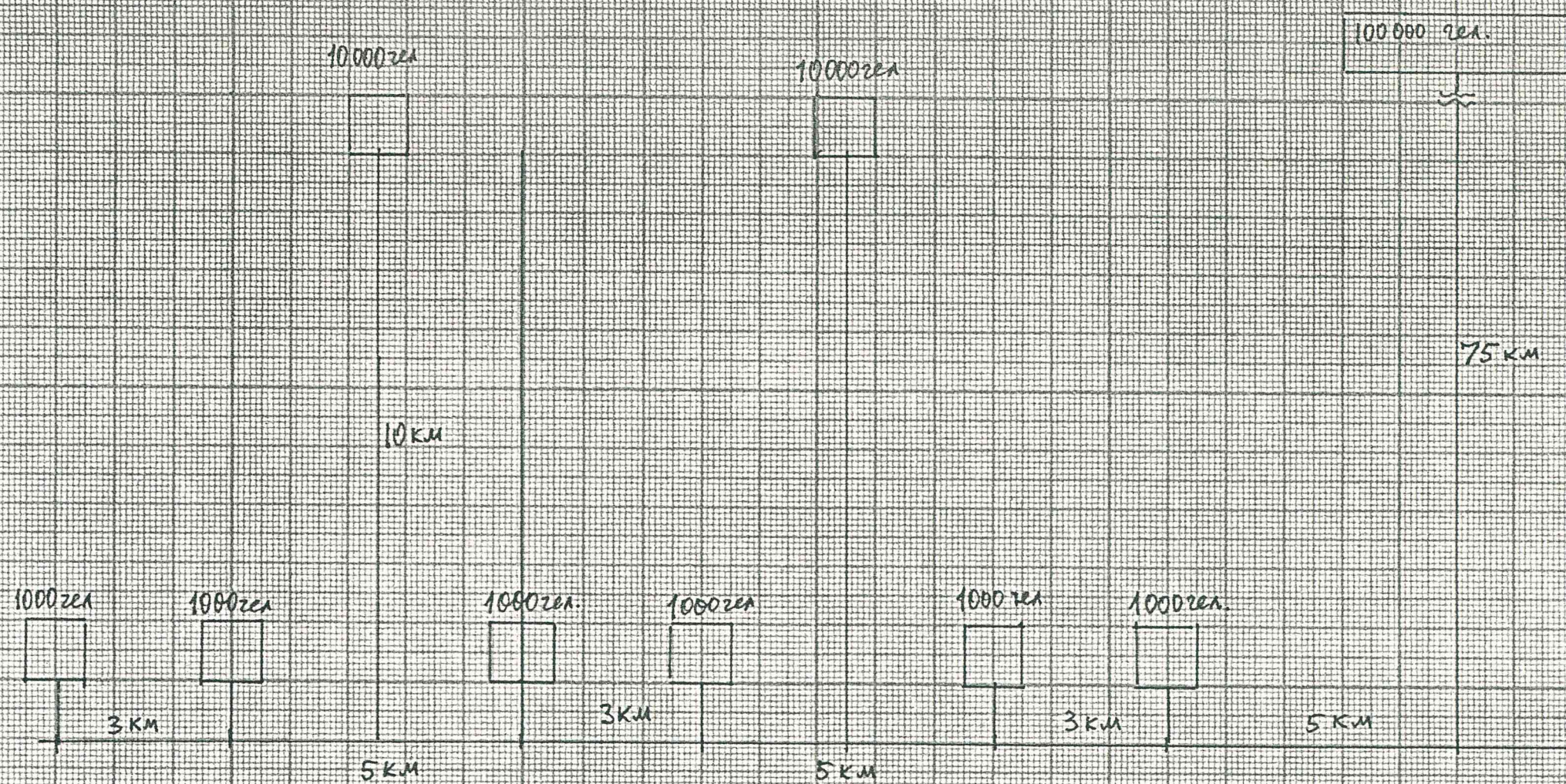
Опора 30 м
М 1:200



Тип опор	Общий объем, м ³
15 м	690
30 м	1726
50 м	3384
100 м	12761

Размеры - в метрах

Лист 9

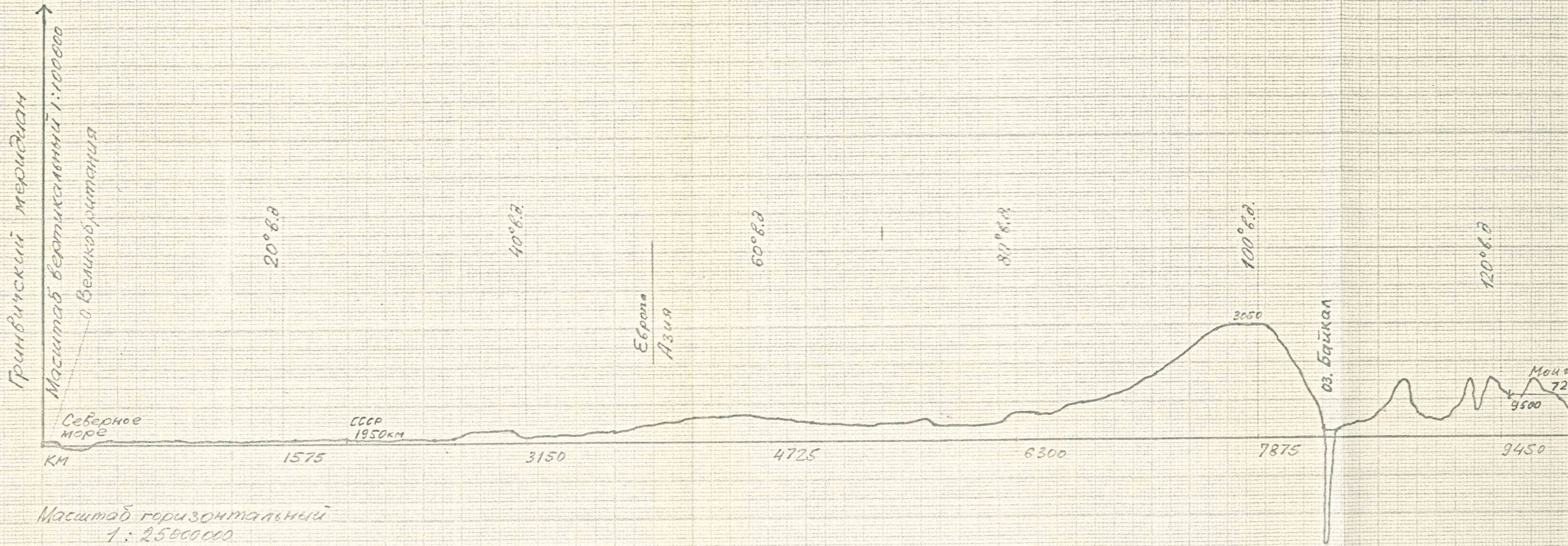


Длина дорог $(3+5) \times 3 + 20 + 6 + 75 = 126 \times 166,7 \approx 21000$ км.

Население линейного региона $6 \text{ тыс.} + 20 \text{ тыс.} + 100 \text{ тыс.} = 126 \text{ тыс. чел}$ На 30 км $126 \times 166,6 \approx 20 \text{ млн. чел.}$

Лист 10

Продольный профиль трассы на



Общее протяжение трассы 28350 км,
 в том числе:
 - по океанам, морям, заливам, заливкам, озерам,
 рекам 17350 км
 - по суше 11000 км.

ПАССЫ на широте 52° с.ш.

