

**Региональный общественный фонд
содействия развитию линейной транспортной системы**

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

**по созданию опытного участка
струнной транспортной системы на территории Красноярского края**

ТОМ II

Стенд «Путевая структура»



Москва, 2001 г.

**Региональный общественный фонд
содействия развитию линейной транспортной системы**

Утверждаю:

Президент РОФ –

Генеральный конструктор

Академик РАЕН

_____ Юницкий А. Э.

«_____» _____ 2001г.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

по созданию опытного участка

струнной транспортной системы на территории Красноярского края

ТОМ II

Стенд «Путевая структура»

Заместитель генерального конструктора, к.т.н.

Г.А. Савин

Начальник отдела перспективного планирования
и ТЭО проектов к.э.н.

Я.М. Лемеш

Начальник КО «Подвижной состав», к.т.н.

И.С. Степанов

Главный конструктор ПКБ СИРИУС

В.В. Воршев

Начальник конструкторского отдела
«Путевая структура», к.т.н.

И.П. Дубатовка

Начальник проектного отдела

А.Е. Шаметько

Главный дизайнер

В. С. Жаркевич

Москва, 2001 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Том II

Стенд «Путевая структура»

1. Назначение стенда и решаемые задачи	3
2. Состав стенда	5
3. Конструкция путевой структуры	6
3.1. Общие сведения	6
3.2. Испытания отдельных элементов путевой структуры	18
4. Имитатор транспортного модуля	20
5. Программа проведения испытаний на стенде	21
5.1. Цель проведения испытаний	21
5.2. Программа проведения испытаний	22
5.3. Организация работ по программно-методическому обеспечению, обработке и анализу результатов	24
6. Измерительная и регистрирующая аппаратура	25
6.1. Рассмотренные варианты реализации системы	25
6.2. Аппаратурная реализация системы измерений стенда	25

Приложения к тому II

1. Техническое задание на создание стенда
2. Основные чертежи стенда
3. Сметная документация
4. Основные характеристики стенда «Колесо-рельс»
5. Результаты испытаний отдельных элементов путевой структуры

1. Назначение стенда и решаемые задачи

Стенд предназначен для проведения статических и динамических испытаний реального участка трассы СТС, определения параметров конструктивной схемы путевой структуры и ее оптимизации.

Решаемые задачи:

- оптимизация элементов и параметров путевой структуры (усилия натяжения несущих и поддерживающих канатов, конструкции рельса-струны, анкерного крепления, напряженного состояния стоек, промежуточных опор и подвесок) в зависимости от высоты пути, длины пролета и температуры окружающей среды (расчетного перепада температур за 100 лет);
- оценка величины потерь предварительных напряжений в несущих и поддерживающих канатах, рельсе, головке рельса и подвесках;
- оценка влияния многократной вибронагрузки на надежность узлов крепления элементов трассы, оценка сроков службы конструкции в целом и отдельных элементов;
- оценка собственных частот и форм колебаний путевой структуры, статических и динамических прогибов пути в зависимости от длины пролета (расстояния между промежуточными опорами), натяжения канатов, жесткости рельса, скорости движения модуля, массы и конструктивных особенностей модулей;
- отработка технологии возведения промежуточных и анкерных опор, натяжения и анкеровки несущих и поддерживающих канатов и рельса, формирования путевой структуры;
- испытания технологической оснастки;
- анализ результатов статических и динамических испытаний путевой структуры при движении транспортных модулей;
- подтверждение проектных параметров элементов системы управления СТС, систем диспетчерского управления, контроля, связи, безопасности;
- создание и отработка методик контроля состояния путевой структуры и технологии аварийно-спасательных работ с имитацией аварий пассажирского и грузового модулей;

Использование результатов для условий строительства в Красноярском крае:

- разработка рекомендаций по выбору материалов, основных параметров и конструктивных элементов для одно- и двухпутных трасс (несущих и поддерживающих канатов, рельса, головки рельса, перемычек, стоек, опор, подвесок);
- разработка рекомендаций по проектированию фундаментов и способам заделки опор;
- разработка общих рекомендаций по размещению, проектированию и технологии сборки путевой структуры СТС;

- подготовка материалов для поагрегатной сертификации и стандартизации;
- оптимизация конструкторских решений по колесу, подвеске колеса, тормозной системе, трансмиссии, шасси модулей, по системам управления и связи для серийных грузовых и пассажирских модулей;
- получение исходных данных для компьютерного моделирования движения модулей по трассе;
- разработка предложений по предупреждению нештатных и предаварийных ситуаций при эксплуатации подвижного состава на транспортных линиях СТС;
- подготовка документации для передачи экспериментальных образцов транспортных модулей и элементов путевой структуры в серийное производство.

2. Состав стенда

Стенд включает:

- рельсы-струны;
- анкерные опоры;
- элементы крепления канатов на анкерных опорах (анкеры);
- поперечные элементы;
- канаты, натянутые на анкерные опоры под каждым рельсом-струной;
- силовые жесткие балки и другие элементы;
- промежуточные опоры;
- подвески;
- механизмы натяжения канатов и головки рельса;
- самоходное шасси на базе серийного автомобиля;
- вибронагружатель;
- механическая система перемещения шасси по рельсам-струнам;
- датчики и систему измерения усилий в канатах, головке рельса, стойках и подвесках;
- датчики и систему измерений перемещений (прогибов) канатов;
- датчики и систему измерения положения колес самоходного шасси на рельсах-струнах;
- систему контроля и регистрации температуры окружающей среды;
- технологическое оборудование для выполнения монтажных и пусконаладочных работ.

3. Конструкция путевой структуры

3.1. Общие сведения

Путевая структура представляет собой канатно-балочную конструкцию протяженностью 150 м в плане и размещенную на опорах на высоте от 1 до 15 м с уклоном 1:10.

Основными элементами путевой структуры являются канаты из высокопрочной стальной проволоки диаметром 4...5 мм каждая. Нижние поддерживающие канаты ЗК-19 (диаметром 27 мм) выполнены открытого типа из оцинкованной проволоки для жестких агрессивных условий работы. Верхние несущие канаты 9К-7 (диаметром 15мм) изготовлены из высокопрочной проволоки без покрытия и размещены в рельс-струне диаметром 102 мм с заполнением специальным композиционным раствором, выполняющим одновременно роль защитного покрытия для канатов и функцию несущего элемента при передаче вертикальной нагрузки от рельса-струны на канаты.

Усилия натяжения несущих канатов в совокупности 240 тс, поддерживающих –280 тс, струн-рельсов 40 тс, в целом на анкерную опору – 560 тс. Между анкерными опорами установлены поддерживающие путь промежуточные опоры с разным шагом: 12, 24, 36 и 48 м. Промежуточные и анкерные опоры изготовлены из трубчатого проката диаметром 203...820 мм, в зависимости от усилий в элементах, и поставляются на строительную площадку в готовом комплектном виде.

Фундаменты анкерных и промежуточных опор выполнены в связи со сложными инженерно-геологическими условиями из буронабивных свай и буроинъекционных анкеров. Согласно данным инженерно-геологических изысканий, выполненным в ноябре 2000 г., основанием свайных фундаментов будут служить:

- пески средние, средней прочности, водонасыщенные

$$\gamma_{II}=10,0 \text{ кН/м}^3, C_{II}=0,7 \text{ кПа}, \varphi_{II}=32^\circ, E=25 \text{ Мпа};$$

- суглинок с гравием

$$\gamma_{II}=19,0 \text{ кН/м}^3, C_{II}=23 \text{ кПа}, \varphi_{II}=22,7^\circ, E=28 \text{ Мпа};$$

- известняк

$$\gamma_{II}=23,0 \text{ кН/м}^3, E=40 \text{ Мпа};$$

Грунтовые воды вскрыты на расстоянии 0,5 –1 м от поверхности земли.

Рельсы-струны путевой структуры закрепляются на предварительно напряженных поддерживающих канатах при помощи дискретных крепежных узлов на стойках с шагом 1200 мм. Для выравнивания поверхности пути при

монтаже стойки выполнены переменной высоты с использованием принципа телескопа.

Для повышения жесткости путевой структуры нижние поддерживающие канаты связаны с основанием оттягивающей системой, выполненной в форме предварительно напряженных натяжных элементов, установленных в плоскости, проходящей через соседние опоры.

Для формирования постоянства пути, дискретные крепежные узлы, установленные через 6 метров, выполнены в виде жестко связанных поперечной рейкой стоек, высота которых увеличивается к середине пролетов между опорами.

В настоящее время заканчивается монтаж конструкции путевой структуры. Общий объем материалов конструкции составляет:

-бетон	~ 300 м ³
-металлоконструкции	~ 75 тонн

Схема расположения опор, подвесок и растяжек приведена на рис 3.1.

Наиболее крупногабаритными элементами конструкции стенда являются анкерные и промежуточные опоры. Конструкция стенда включает в себя 2 анкерные опоры (большую – высотой 15 м и малую – высотой 1 м) и 3 промежуточных опоры разной высоты (2,2м, 4,6м, 8,2м).

Внешний вид установленных промежуточных опор показан на рис. 3.2.

На рис. 3.3, 3.4, 3.5 приведен внешний вид промежуточных опор высотой 2,2 м, 4,6 м, 8,2 м соответственно.

На рис. 3.6, 3.7 показан этап изготовления буронабивных свай для фундамента малой и большой анкерных опор соответственно.

На рис. 3.8, 3.9 показан фундамент под малую (высотой 1м) и под большую анкерную опору.

На рис. 3.10 показан фрагмент большой анкерной опоры перед установкой на фундамент.

На рис. 3.11 приведен общий вид установленной большой опоры.



Промежуточные опоры
Рис. 3.2



1-я промежуточная опора (высота 2.2 м)
Рис. 3.3



2-я промежуточная опора
Рис. 3.4.



3-я промежуточная опора (высота 8.2 м)
Рис. 3.5



Буронабивные сваи малой анкерной опоры
Рис. 3.6



Буронабивные сваи большой анкерной опоры
Рис. 3.7



Фундамент малой анкерной опоры (высота 1 м)
Рис. 3.8



Фундамент большой анкерной опоры (высота 15 м)

Рис. 3.9



Фундамент большой анкерной опоры, подготовленной к монтажу
Рис. 3.10

Большая анкерная опора



Рис. 3.11

3.2. Испытания отдельных элементов путевой структуры.

До начала монтажа конструкции стенда были проведены достаточно убедительные испытания отдельных элементов путевой структуры. Цель испытаний заключалась в получении в сжатые сроки характеристик деформаций и напряжений по отдельным узлам СТС.

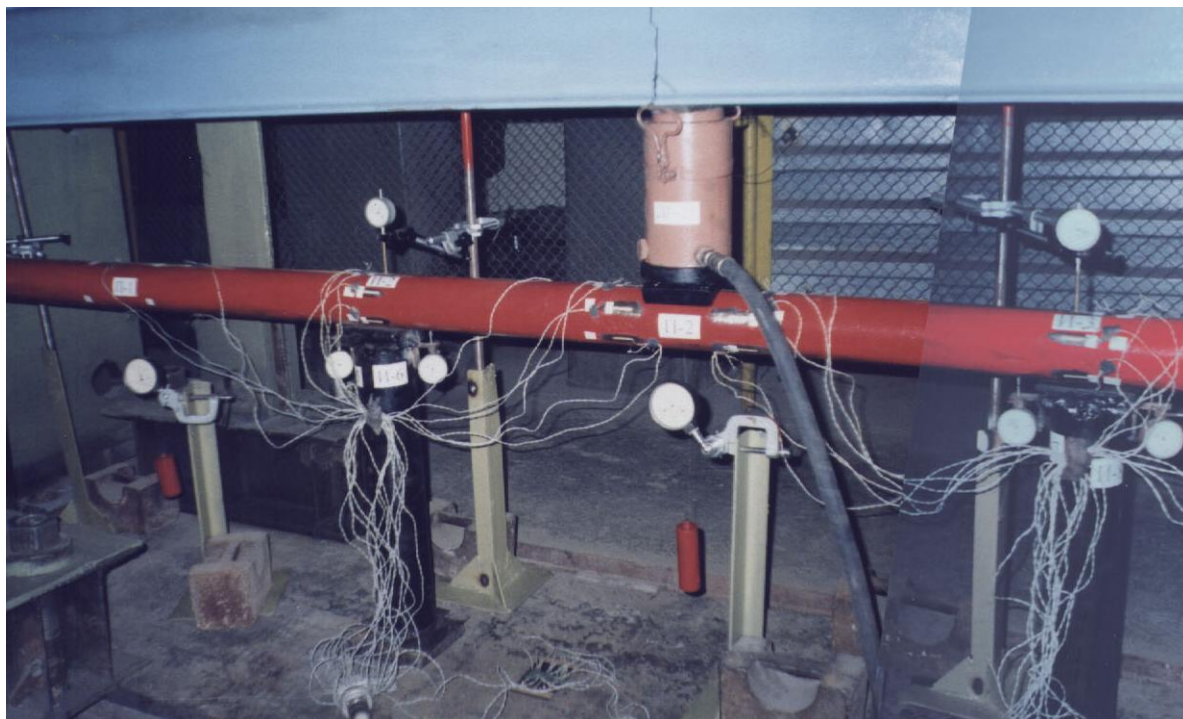
Работа выполнялась на испытательной базе опытной научно-исследовательской лаборатории строительных конструкций Белорусской Государственной политехнической Академии в г. Минске.

Основное внимание при испытаниях элементов конструкции было уделено наиболее принципиальным вопросам – исследованию напряженно-деформационного состояния системы рельс-струна и испытанию анкерных устройств для крепления несущих канатов.

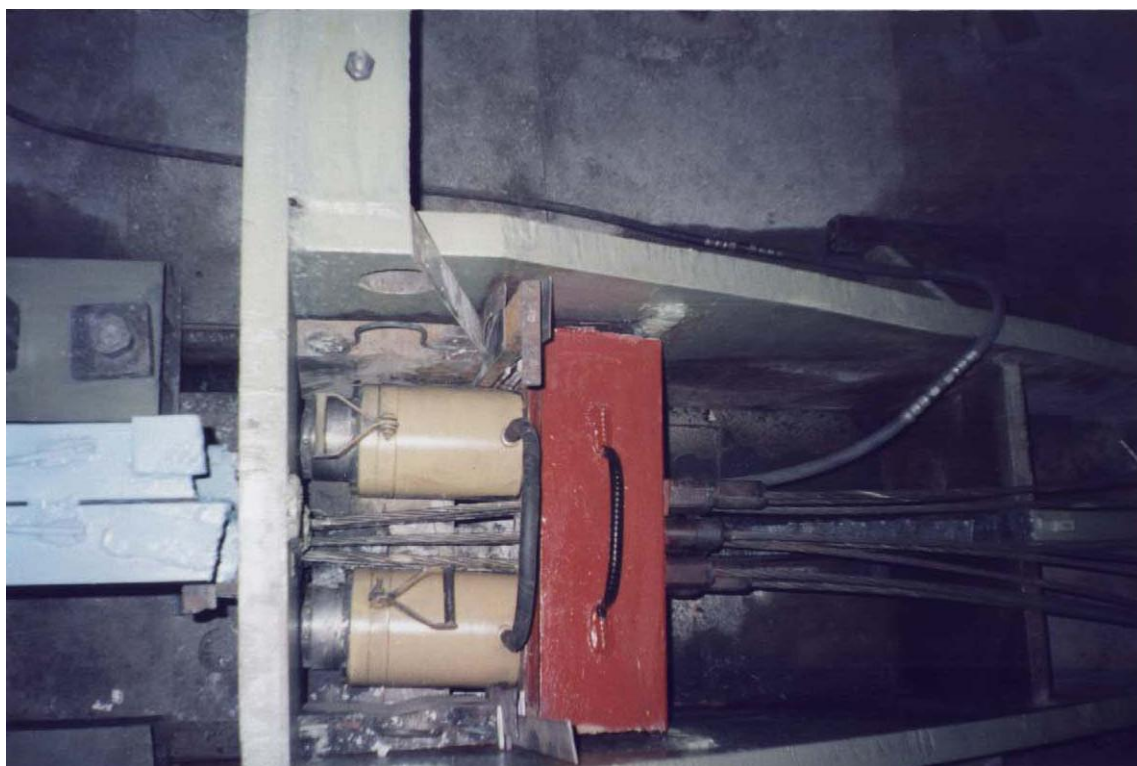
В качестве наиболее перспективного варианта системы рельс-струна была выбрана композитная конструкция – натянутая стальная труба, внутри которой натянуты стальные канаты. Труба и канаты объединены в единую систему путем заполнения трубы инъекционным сверхкачественным напрягающим раствором. Основная задача – исследование прогибов, изгибных напряжений и контактных напряжений в трубчатом рельсе. Испытания подтвердили расчетные данные и подтвердили работоспособность конструкции.

Испытания также подтвердили работоспособность анкерных устройств и работоспособность композитного раствора-заполнителя с рельсом-трубой диаметром 102 мм при определении контактных напряжений.

Для проведения испытаний было разработано и изготовлено специальное стендовое оборудование. На рис. 3.12 показан фрагмент испытательного стенда для нагружения рельса-струны поперечной силой с целью определения изгибных и контактных напряжений и с целью определения соответствующих деформаций. На рис. 3.13 показан фрагмент испытательного стенда для натяжения канатов. Основные результаты испытаний приведены в приложении 5 к данному тому.



Фрагмент испытательного стенда для нагружения рельса-струны
Рис. 3.12



Фрагмент испытательного стенда для натяжения канатов
Рис. 3.13

4.Имитатор транспортного модуля

С целью получения результатов в кратчайшие сроки при минимальных затратах, для экспериментальной проверки опытного участка путевой структуры, определения особенностей качения двухребордного металлического колеса по рельсу при реальных нормальных и касательных нагрузках создан имитатор транспортного модуля на базе грузового автомобиля ЗИЛ-131.

Отличительные особенности транспортного модуля от автомобиля ЗИЛ-131.

- Вместо обычных колес установлены специальные металлические (рис 4.1).
- Зафиксированы передние ведущие колеса от поворотов.
- Проведены дополнительные мероприятия по обеспечению безопасности водителя.
- Установлена измерительная и регистрирующая аппаратура.

Технические характеристики:

- масса полезного груза, кг	до 5000
- снаряженная масса, кг	6400
- полная масса имитатора, кг	11400
- количество мест в кабине	1
- база имитатора, мм	4600
- габаритная длина имитатора, мм	7000
- габаритная ширина имитатора, мм	2500
- габаритная высота по кабине имитатора, мм	2300
- колея колес, мм	2000
- погрузочная высота, мм не более	1200

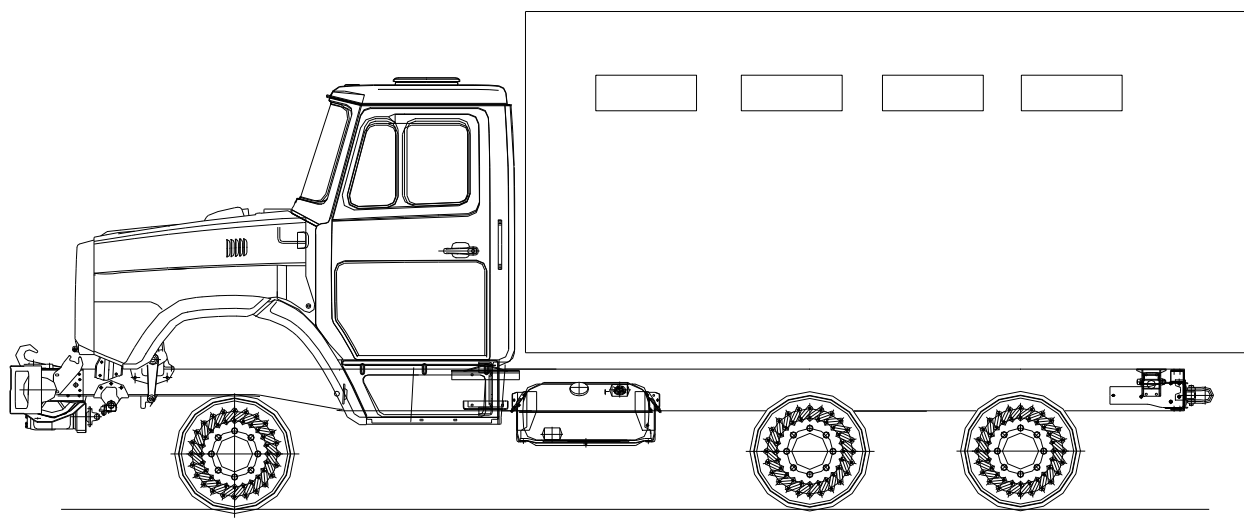


Рис. 4.1. Внешний вид имитатора модуля.

5. Программа проведения испытаний на стенде

5.1. Цель проведения испытаний

- 5.1.1. Целью проведения испытаний на стенде «Путевая структура» является экспериментальное подтверждение результатов расчетов конструкции путевой структуры СТС.
- 5.1.2. Испытания должны проводиться в два этапа:
- статические испытания;
 - динамические испытания.
- 5.1.3. Статические испытания.
- 5.1.3.1. Задачами статических испытаний является:
- определение статического состояния путевой структуры в исходном положении без нагрузок;
 - экспериментальное определение прогибов элементов путевой структуры при статическом приложении нагрузок, используя для этой цели имитатор транспортного модуля;
 - контроль изменения положения опор в процессе эксплуатации;
 - контроль смещения фундаментов опор.
- 5.1.3.2. Определение статического состояния путевой структуры и определение ее прогибов под воздействием нагрузки проводятся с помощью системы измерений стенда.
- 5.1.3.3. Контроль изменения положения опор в процессе эксплуатации и смещение фундаментов опор проводится с помощью оптических измерений теодолитами.
- 5.1.3.4. Динамические испытания.
- 5.1.3.5. Задачами динамических испытаний являются:
- получение информации о форме и амплитудах собственных частот колебаний элементов путевой структуры при ударном воздействии на ее конструкции;
 - получение информации об интенсивности распространения продольных и поперечных колебаний по конструкции путевой структуры при воздействии на нее ударной нагрузки;
 - получение реальной информации об усталостных характеристиках элементов путевой структуры при воздействии на ее конструкцию знакопеременной циклической нагрузки от вибронагружателя.
- 5.1.3.6. Информация о динамических характеристиках путевой структуры получается по результатам измерений, получаемых от системы измерений стенда.
- 5.1.3.7. Информация об усталостных характеристиках получается по потере жесткости элементов конструкции путевой структуры в результате циклического нагружения.

5.2. Программа проведения испытаний

5.2.1. Определение исходного состояния путевой структуры и прогибов ее элементов производится следующим образом:

5.2.1.1. Путевая структура оснащается датчиками перемещений – по 8 датчиков на каждый пролет, всего 24 штуки. Места установки датчиков выбраны, исходя из расчетных величин прогибов путевой структуры (в миллиметрах), которые приведены на рис. 5.1. Схема расстановки датчиков перемещения (ДП1...ДП24) на путевой структуре приведена на рис. 5.2.

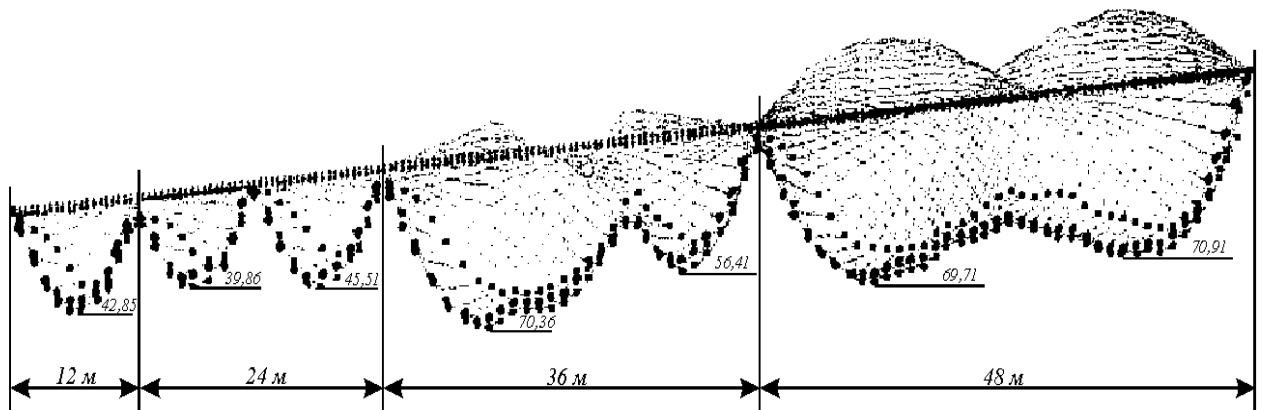


Рис. 5.1

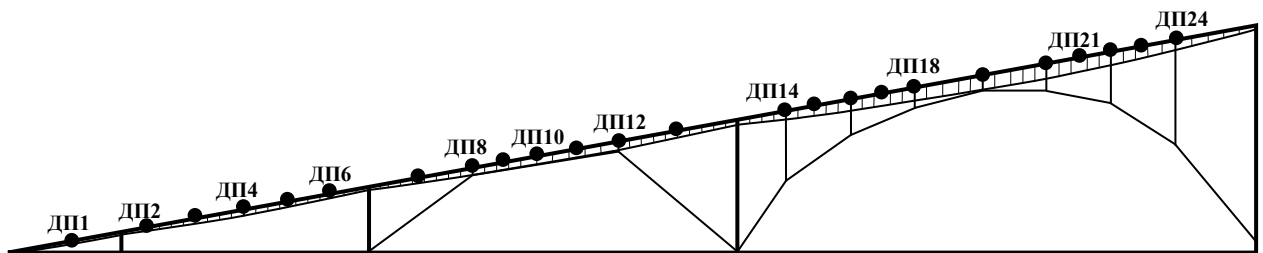


Рис. 5.2

5.2.1.2. Статическое нагружение обеспечивается имитатором модуля, который устанавливается последовательно на каждом пролете в заранее строго определенном месте – без груза; с грузом – 2 т; с грузом – 4 т, при этом проводится регистрация информации.

5.2.1.3. Измерение положения анкерных и промежуточных опор и контроль возможного увода фундаментов выполняется с помощью теодолитов. Для обеспечения необходимых точностей измерений теодолиты устанавливаются на специальные реперные площадки. Пример проведения измерения положения промежуточной опоры приведен на рис. 5.3. Измерение смещения каждой опоры относительно первоначального положения производится в трех точках: в нижней части опоры (ΔX_1), в средней части опоры (ΔX_2) и в верхней части опоры (ΔX_3). Исследование взаимного соотношения

этих величин позволит определить наклон, изгиб, смещение фундамента опоры.

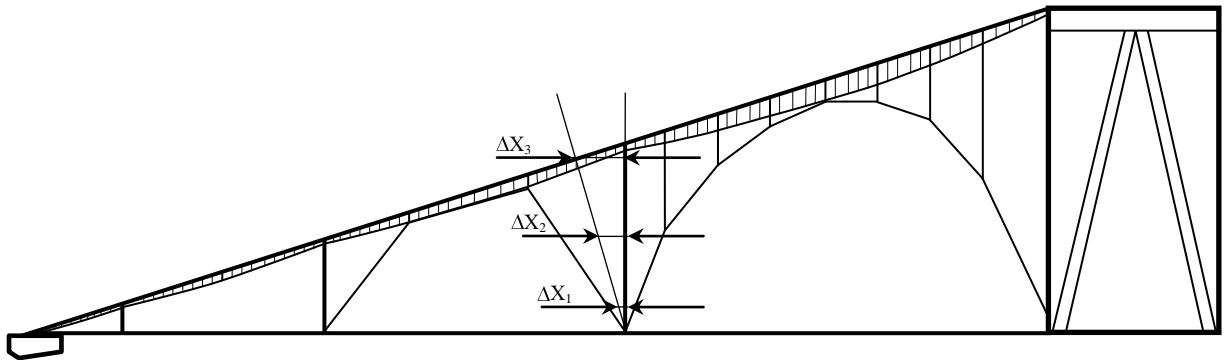


Рис. 5.3

5.2.2. Динамические испытания.

5.2.2.1. Динамические испытания выполняются с целью получения достоверной информации в реальном масштабе времени о реакции путевой структуры на ударные воздействия, что позволит получить форму и амплитуду собственных колебаний путевой структуры. На стенде «Путевая структура» измерения динамических параметров проводятся с использованием виброакселерометров и датчиков перегрузки. Датчики перегрузок устанавливаются в местах, наиболее полно характеризующих реакцию путевой структуры на воздействие, в расчетных «узлах» и «пучностях» упругой линии – рельсовой конструкции. Места установки датчиков перегрузок те же, что и места установки датчиков перемещений (см. рис. 5.2). В результате математической обработки измеренных параметров будут получены динамические характеристики «рельса-струны». Виброакселерометры устанавливаются в продольном (1 шт. на пролет) и в поперечном (3 шт. на пролет) направлениях, для определения интенсивности распространения колебаний. Схема расположения датчиков (B1...B12) приведена на рис.5.4.

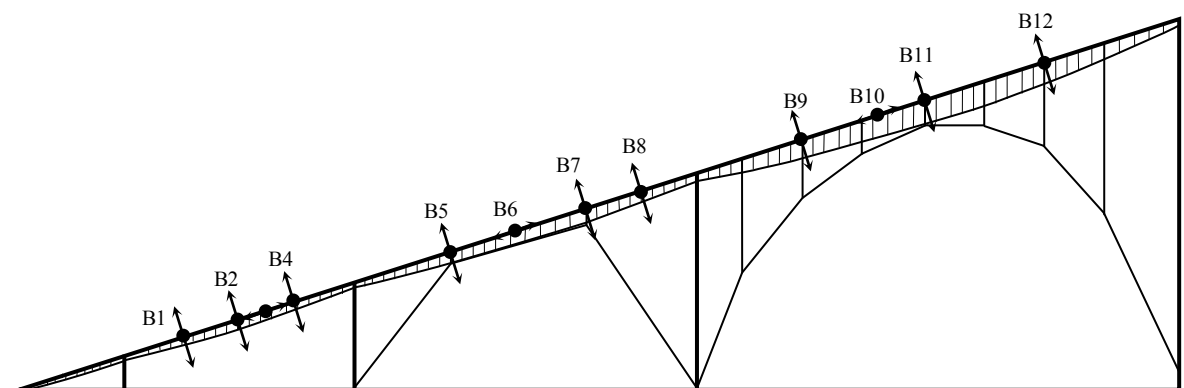


Рис. 5.4

5.2.2.2. Колебания путевой структуры возбуждаются путем плавного приложения силы, направленной вниз, и резкого (скачкообразного)

уменьшения натягивающей силы до нуля, что достигается подвешиванием груза к путевой структуре с последующим «отрывом» груза.

Грузы подвешиваются к середине каждого пролета.

Грузы имеют два номинала по массе.

- 5.2.2.3. При проведении испытаний проводятся регистрация и оперативная обработка информации. Последняя подтверждает факт регистрации информации и обеспечивает получение предварительных данных для дальнейшего планирования работ.
- 5.2.3. Каждый эксперимент для подтверждения правомерности полученной информации должен быть повторен дважды.
- 5.2.4. Получение усталостных характеристик в результате циклических нагружений обеспечивается системой измерений совместно с информацией, получаемой с вибронагружателя.
Для этих целей на путевой структуре устанавливаются датчики деформаций, интенсивности вибронагружений и число циклов вибронагружений дают возможность получения нужных характеристик.

5.3. Организация работ по программно-методическому обеспечению, обработке и анализу результатов

- 5.3.1. Программно-математическое обеспечение по обработке результатов измерений и оперативному анализу обеспечивает разработчик системы измерений стенда на основании Технического задания, выданного Заказчиком – РОФ.
- 5.3.2. Оперативный анализ информации для обеспечения контроля за правильностью прохождения эксперимента, гарантированного получения результата и предварительное заключение о результатах эксперимента проводят специалисты РОФ при участии и техническом сопровождении разработчика системы измерений.
- 5.3.3. Методики полного анализа информации, сопоставление полученных результатов с расчетными значениями и результатами предварительных испытаний, а также программное обеспечение для решения этих задач разрабатываются специалистами РОФ.

6. Измерительная и регистрирующая аппаратура

6.1. Рассмотренные варианты реализации системы

- 6.1.1. Аппаратурная реализация системы измерений стенда включает в себя:
- датчиково-преобразующую аппаратуру;
 - подсистему сбора, преобразования и передачи информации;
 - подсистему регистрации и оперативной обработки информации;
 - кабельную сеть.
- 6.1.2. В процессе проработки и выбора вариантов реализации рассматривалась аппаратура следующих организаций:
- ООО "ДЭК";
 - НПП "Мера";
 - НПО ИТ (комплекс "Пирит");
 - ООО НПФ "Инфотех".
- 6.1.3. В результате рассмотрения технических характеристик и стоимости работ было установлено, в частности, что аппаратура ООО "ДЭК" не решает задач динамики, кроме того, данная организация не брала на себя задачу обеспечения системы датчиковой аппаратурой НПФ "Инфотех", аппаратура "Мера" и "Пирит", обладая хорошими техническими характеристиками, излишне сложна для задач стенда, и, соответственно, дорога.
- 6.1.4. Аппаратура ООО "НПФ "Инфотех" полностью отвечает требованиям измерений на стенде, стоимость работ этой организации значительно ниже остальных. Кроме того, эта организация комплексно решает задачу, т.е. обеспечивает поставку всех составляющих системы, включая датчиково-преобразующую аппаратуру и кабельную сеть, в том числе и монтируемую на стенде.

6.2. Аппаратурная реализация системы измерений стенда

- 6.2.1. Исходя из целей, задач и особенностей испытаний на стенде, специалистами РОФ были выполнены предварительные проработки и составлено техническое задание на разработку комплекса измерительной и регистрирующей аппаратуры для стенда "Путевая структура", проведен анализ возможной кооперации с изготовителями аппаратуры. В настоящее время в качестве основного варианта системы измерений на стенде принята к реализации система, предложенная РОФ.
- 6.2.2. Основные технические характеристики ООО «НПФ ИНФОТЕХ»
- 6.2.2.1. Состав системы
- | | |
|-----------------------|-----------|
| - датчики температуры | - 12 шт.; |
| - датчик перегрузок | - 24 шт.; |
| - датчик вибрации | - 12 шт.; |
| - датчик перемещения | - 24 шт.; |

- системный блок измерения и регистрации СБИР - 3 шт.;
- центральный компьютер (типа IBM PC) - 1 шт.;
- адаптер интерфейса RS485\232 - 1 шт.;
- кабели связи - 1 компл.

6.2.2.2. Система обеспечивает измерение следующих параметров со следующими характеристиками.

6.2.2.2.1. Измерение температуры путевой структуры и окружающего воздуха:

- Диапазон измерения температуры от минус 40°C до + 60°C;
- Число каналов измерения – 4;
- Частота опроса каждого канала – не менее 10 Гц;
- Погрешность измерения температуры во всем диапазоне измеряемых температур — не более $\pm 0,5$ °C.

6.2.2.2.2. Измерение величины вибрации путевой структуры.

- Диапазон измеряемой вибрации $\pm 5g$
- Частотный диапазон сигнала от 0 до 125 Гц.
- Число измерительных каналов - 4.
- Частота опроса каждого канала – не менее 1000 Гц.
- Погрешность измерения – не более $\pm 3\%$.

6.2.2.2.3. Измерение величины перегрузок путевой структуры.

- Диапазон измерения перегрузок от 0 до 10g
- Частотный диапазон сигнала от 0 до 30 Гц.
- Число измерительных каналов - 8.
- Частота опроса каждого канала – не менее 250 Гц.
- Погрешность измерения – не более $\pm 3\%$.

6.2.2.2.4. Измерение величины перемещения путевой структуры.

- Диапазон измеряемых перемещений от 0 до 150 мм.
- Частотный диапазон сигнала от 0 до 7 Гц.
- Число измерительных каналов - 8.
- Частота опроса каждого канала – не менее 62,5 Гц.
- Погрешность измерения – не более $\pm 2\%$.

6.2.2.3. Система разработана в блочно-модульном исполнении, что позволяет легко производить замену составных частей в процессе эксплуатации и ремонта, а также расширять возможности системы и наращивать объем измерений без изменения схемных решений по мере появления новых задач.

6.2.2.4. Энергонезависимая память блока СБИР позволяет накапливать всю информацию на протяжении заданного цикла испытаний. Одновременно с этим осуществляется передача на центральный компьютер сокращенного числа измеренных параметров для первичной обработки и отображения процесса испытаний на мониторе. После окончания цикла испытаний вся информация с блоков СБИР передается на центральный компьютер для хранения, обработки и анализа.

6.2.2.5. Скорость передачи информации с блоков СБИР на центральный компьютер - не менее 9600 бод.

6.2.2.6. Конструкция системы обеспечивает непрерывный круглосуточный режим работы в полевых условиях при температуре окружающего воздуха от минус 40 до 60°C при относительной влажности до 95 % и естественных осадках.

6.2.2.7. Встроенное программное обеспечение блока СБИР обеспечивает управление блоком по заданным алгоритмам, поддерживает интерфейс обмена с центральным компьютером.

6.2.2.8. Кроме обеспечения функционирования системы, внешнее программное обеспечение позволяет оператору контролировать работоспособность системы при автономных проверках непрерывно в процессе эксплуатации.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
к тому II

**Техническое задание на создание стенда
«Путевая структура»**

СОДЕРЖАНИЕ

1. Область применения разработки	3
2. Цель разработки	3
3. Назначение стенда и решаемые задачи	3
4. Технические требования	5
5. Стадии и этапы разработки документации на изготовление стенда . . .	7

1. Область применения разработки

Статические и динамические испытания путевой структуры. Оптимизация конструкций. Моделирование условий нагружения. Проведение ускоренных испытаний элементов конструкции СТС.

2. Цель разработки

Создание стенда для статических и динамических испытаний, моделирующего путевую структуру однопутной транспортной линии СТС.

3. Назначение стенда и решаемые задачи

Стенд должен быть предназначен для определения параметров конструктивной и силовой схемы путевой структуры СТС, испытания элементов конструкции, прогнозирования надежности и её оптимизации. В процессе испытаний должно быть обеспечено:

Определение прогибов и силы натяжения несущего и поддерживающего каната в зависимости от:

- веса модуля (нагрузки на колесо);
- длины пролёта;
- расстояния между стойками;
- расстояния между промежуточными опорами;
- расстояния между подвесками;
- материалов каната, рельса или головки рельса (СТС);
- температуры окружающей среды (сезонные испытания);
- величины предварительного прогиба поддерживающего каната;
- веса дополнительного и коммуникационного оборудования, распределённого вдоль рельса или поддерживающего каната.

Определение собственных частот и форм колебаний путевой структуры в зависимости от:

- силы натяжения несущего и поддерживающего канатов;
- веса модуля (нагрузки на колесо);
- длины пролёта;
- расстояния между стойками;
- расстояния между промежуточными опорами;
- расстояния между подвесками;
- материала канатов и головки рельса (СТС);
- температуры окружающей среды (сезонные испытания);
- конструкции распределительных и сосредоточенных демпферов (СТС) на промежуточных и анкерных опорах и расстояний между ними;

- веса дополнительного технологического и коммуникационного оборудования, распределённого вдоль рельса или поддерживающего каната.

Определение прочностных характеристик несущего и поддерживающего канатов, их узлов крепления на анкерных опорах.

Измерений напряжений и деформаций в:

- несущем канате;
- поддерживающем канате;
- рельсе или головке рельса;
- узлах крепления канатов (анкерах);

в зависимости от:

- усилий предварительного натяжения канатов;
- расстояние между стойками и величины напряжений в них;
- расстояния между промежуточными опорами и величины напряжений в них;
- температуры окружающей среды (сезонные испытания);
- веса модуля (нагрузки на колесо);
- расстояния между подвесками и величины напряжений в них.

Испытания вариантов (СТС) крепления головки рельса к рельсу, рельса к несущему канату, узлов крепления перемычек к рельсу и поддерживающему канату. Определение напряжённого состояния узлов. Исследование влияния на надёжность креплений вибронагрузки от транспортного модуля.

Испытания вариантов (СТС) крепления стоек, промежуточных опор и подвесок. Определение напряжённого состояния узлов. Исследование влияния на надёжность креплений вибронагрузки от транспортного модуля.

Оптимизация элементов и параметров путевой структуры.

Оптимизация усилий натяжения несущего и поддерживающего канатов.

Оптимизация конструкций анкерного крепления канатов.

Оптимизация напряжённого состояния стоек промежуточных опор и подвесок.

Оптимизация расстояний между перемычками, стойками, промежуточными опорами и подвесками.

Оценка величины потерь предварительных напряжений в несущем и поддерживающем канатах, рельсе или головке рельса и подвесках.

Определение сил и моментов, передающихся от путевой структуры на промежуточные опоры после натяжения канатов. Определение сил и моментов, возникающих на промежуточных опорах при движении транспортного модуля.

Разработка общих рекомендаций по выбору материалов основных конструктивных элементов путевой структуры (несущих и поддерживающих канатов, рельса, головки рельса, перемычек, стоек, подвесок), по

проектированию фундаментов и способов заделки опор, технологии сборки путевой структуры.

4. Технические требования

Технические показатели стенда:

Расстояние между анкерными опорами – 100-120 м;

Высота анкерных опор стенда: первая - 0-1 м, вторая – 12-15 м.

Общая протяжённость пути 140-150 м. Рельсы должны заканчиваться на нижней опоре горизонтальным участком;

Ширина опорной части рельса или головки рельса – 80-120 мм;

Ширина колеи – 2-3 м.

Расстояние между осями имитатора модуля и самого модуля в продольном направлении – 6 м.

Максимальная вертикальная нагрузка на путь (общая масса имитатора модуля) – 10-15 тс.

Частота вынужденных колебаний имитатора модуля (виброплощадки) – 5-15 Гц.

Амплитуда вынужденных колебаний имитатора модуля (виброплощадки) – 20 мм.

Конструкции стенда изготавливаются из проката черных металлов и железобетона.

Усилие натяжения канатов:

- несущих (в совокупности) – 200-300 тс;
- поддерживающих (в совокупности) – 150-200 тс;
- рельсов – 20-100 тс;
- в целом на анкерную опору – 370-600 тс.

Расчёты вести для температуры окружающей среды от –35 до +45 °С и относительной влажности воздуха – 100%.

Расстояние между элементами формирующими постоянно ширины колеи – 6 м.

Уклон пути 1:8 – 1:10 (10-12%)

Для изготовления стенда применить следующие материалы

- для фундаментов под анкерные и промежуточные опоры - арматуру и бетоны, выпускаемые промышленностью;
- анкерные и промежуточные опоры- из стального металлопроката;
- для несущего и поддерживающего канатов- канаты, выпускаемые отечественной промышленностью;
- для рельсов и элементов путевой структуры допускается применение дефицитных материалов в технически обоснованных проектом случаях.

Все комплектующие изделия, материалы и конструкции должны обеспечивать необходимую несущую способность, долговечность и безотказность.

Требования к уровню унификации и стандартизации.

Стенд должен быть запроектирован с максимальным использованием унифицированных и стандартных узлов и деталей.

Сборочные единицы и детали должны быть запроектированы с учётом действующих нормативных документов (ГОСТов, СНИПов, и др.).

4.3. Требования по безопасности и экологии

4.3.1. Стенд должен удовлетворять требованиям следующих стандартов:

- ГОСТ 12.2.003-91 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности»;
- ГОСТ 12.1.004-91 «ССБТ. «Вибрационная безопасность. Общие требования безопасности»;
- ГОСТ 27487-87 «Электрооборудование производственных машин. Общие технические требования и методы испытаний»;
- действующие СНИПы.

4.3.2. Стенд должен удовлетворять следующим конкретным требованиям:

- защитные устройства, ограждающие зону испытания, должны надёжно предохранять оператора и находящихся вблизи стенда людей. Оператор стенда во время испытаний должен находиться в отдельном помещении, обеспечивающем его безопасность;
- подвижные механизмы, расположенные в непосредственной близости от оператора и конструкции, представляющие опасность травмирования, должны быть надёжно закрыты кожухами и прочими защитными элементами;
- должно быть предусмотрено аварийной отключение подвижных узлов стенда;
- стенд должен иметь предохранительные и блокирующие устройства, предотвращающие подачу ложных команд, поломку механизмов и травмирование людей;
- при восстановлении внезапно исчезнувшего напряжения самопроизвольного включения приводов механизмов не должно происходить;
- для подключения и отключения электрооборудования к питающей сети предусмотреть вводный выключатель;
- на пульте оператора установить аварийную кнопку «СТОП» красного цвета и увеличенного размера;
- двери электрошкафов должны закрываться специальным ключом.

4.4. Требования к составным частям стенда, конструкциям и материалам:

4.4.1. Требования к составным частям стенда, конструкциям и материалам должны быть указаны в рабочей документации.

4.4.2. Комплектующие изделия, материалы и конструкции при выборе должны обеспечивать необходимую несущую способность, долговечность и безотказность.

4.4.3. Допускается применение дефицитных материалов в технически обоснованных случаях.

4.5. Строительная площадка, предназначенная для установки стенда должна иметь:

4.5.1. Ограждение территории высотой – 2,5-3 м с колючей проволокой и предусмотренным помещением для персонала охраны (круглосуточное дежурство);

4.5.2. В случае необходимости – навес без ограждающих конструкций;

4.5.3. Отдельно стоящие помещения для размещения оборудования управления и учёта, а также помещение для оператора и обслуживающего персонала;

4.5.4. Постоянное электроснабжение 380 В, 50 Гц и мощность по расчёту, контур заземления и молниеотвода;

4.5.5. Подъёмно-транспортный механизм (устройство) грузоподъёмностью 3-4 тс;

4.5.6. Прочие инженерные сети и коммуникации (водопровод, канализацию, теплоснабжение, связь, пожарную и охранную сигнализацию и др.).

4.5.7. Рабочая зона должна быть доступна для обслуживающего персонала.

4.6. Дополнительные требования к рабочей документации:

4.6.1. Рабочая документация должна быть выполнена на русском языке;

4.6.2. Документация должна соответствовать требованиям настоящего технического задания, действующим СНиПам и ГОСТам.

5. Стадии и этапы разработки документации на изготовление стенда

Разработка технического задания и его согласование;

Разработка рабочего проекта (инженерные, геодезические и геологические изыскания, КД, ПСД).

**Региональный общественный фонд
содействия развитию линейной транспортной системы**

Приложение 2
К тому II

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ
по созданию опытного участка
струнной транспортной системы на территории Красноярского края

ТОМ II
Стенд «Путевая структура»
Приложение 2
Основные чертежи стенда

Москва, 2001 г.

1. Основные чертежи стенда

Рабочий проект «Стенд (стенд «Путевая структура») для статических и динамических испытаний Путевой структуры состоит из следующих основных компонентов рабочих чертежей (всего более 10000 чертежей)

Обозначение	Наименование	Примечание
09/1-1-КЖО	Конструкции железобетонные. Сваи и ростверки	
09/1-1-КЖ	Конструкции железобетонные. Въездная площадка	
09/1-1-КМ	Конструкции металлические. Опоры	
09/1-1-КМ-ПС	Конструкции металлические. Путевая структура.	
09/1-1-КМ-ПС.Д	Конструкции металлические. Путевая структура. Детали	
09/1-1-КМ-ПС1	Конструкции металлические. Анкерные устройства.	
09/1-1-КМ-ПС1.Д	Конструкции металлические. Анкерные устройства. Детали	
09/1-1-КМ-ПС2	Конструкции металлические. Рельсы	
09/1-1-КМ-ПС2.Д	Конструкции металлические. Рельсы. Детали	
09/1-1-КМ-ПС3	Конструкции металлические. Лестницы, площадки и ограждения.	
09/1-1-КМ-ПС3.Д	Конструкции металлические. Лестницы, площадки и ограждения. Детали	
09/1-1-КМ-ПС4	Конструкции металлические. Въездная и остановочная площадки	
09/1-1-КМ-ПС4.Д	Конструкции металлические. Въездная и остановочная площадки. Детали	

К отчету приложены основные компоновочные чертежи и чертежи основных конструктивных узлов стенда, раскрывающие его сущность и конструктивные особенности конструкции.

**Региональный общественный фонд
содействия развитию линейной транспортной системы**

Приложение 3
к тому II

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ
по созданию опытного участка
струнной транспортной системы на территории Красноярского края

ТОМ II
Стенд «Путевая структура»
Приложение 3
Сметная документация

Москва, 2001 г.

Сметная документация

Сметная документация на изготовление Стенда для статических и динамических испытаний СТС составлена по единичным расценкам территориального региона 1.1 с применением расчетных индексов СМР по Московской области (Утвержден Лицензионно-экспертным управлением Администрации Московской области на июнь 2001 г.).

Сметные цены на местные материалы определены по каталогам Московской области на июнь 2001 г.).

Накладные расходы:

- на общестроительные работы – 18.6 %
- на монтаж металлоконструкций – 8.6 %
- плановые накопления – 8%

Резерв на непредвиденные работы и затраты в размере 3% включен в сметы согласно НДС-81-1.99 Госстроя РФ 1999 г..

Налоги, согласно налоговому кодексу РФ (часть II), введенному в действие с 01.01.2001 включены в сводный сметный расчет в размере:

- НДС – 20%
- Дорожный налог – 1%

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
к тому II

Основные характеристики стенда «Колесо-рельс»

СОДЕРЖАНИЕ

1. Назначение стенда	3
2. Основные задачи, решаемые с помощью стенда	4
3. Состав стенда	5
4. Технические характеристики стенда	5
5. Параметры испытаний	6
6. Параметры объектов испытаний	6

1. Назначение стенда

Для более детальных исследований поведения модуля на путевой структуре, а также некоторых параметров самой путевой структуры (для оптимизации профиля рабочей части рельса) до окончания строительства опытной трассы изготавливается испытательный стенд. Предварительно были проведены расчеты контактных давлений в зависимости от профиля контакта колеса и рельса (таблица 1.1)

Таблица 1.1

Диаметр, радиус (R_3) рельса, мм	Диаметр колеса по кругу катания (радиус R_1), мм	Радиус профиля (R_2) поверхности катания колеса, мм	Нагрузка (Q) на колесо, тс	Примечание
Диаметр 89 мм (труба)	500	от 45 до 54	от 2,5 до 6,0	25 вариантов
	600	то же	то же	то же
	750	– « –	– « –	– « –
	900	– « –	– « –	– « –
	1000	– « –	– « –	– « –
Диаметр 102 мм (труба)	500	от 52 до 61	от 2,5 до 6,0	25 вариантов
	600	то же	то же	то же
	750	– « –	– « –	– « –
	900	– « –	– « –	– « –
	1000	– « –	– « –	– « –
$R_3=15$	500	$R_2=20$	от 2,5 до 6,0	25 вариантов
	600	то же	то же	то же
	750	– « –	– « –	– « –
	900	– « –	– « –	– « –
	1000	– « –	– « –	– « –

Итого: 275 вариантов

По результатам расчетов построены зависимости:

$$p_{\max} = f(R_1);$$

$$p_{\max} = f(R_2);$$

$$p_{\max} = f(R_3);$$

$$p_{\max} = f(Q);$$

Для конкретного профиля рельса (трубы) и диаметра колеса определены наиболее рациональные радиусы профиля поверхности катания колеса (исходя из результатов исследований на момент начала эксперимента, работа по совершенствованию профилей продолжается).

При выборе уровня контактных давлений исходили из того, что их предельное значение не должно превышать 1000 МПа.

Основным назначением стенда является экспериментальное подтверждение теоретических расчетов.

2. Основные задачи, решаемые с помощью стенда

Исследование параметров качения колеса:

- коэффициента сопротивления качению;
- величины проскальзывания;
- коэффициента сцепления колеса с рельсом-барабаном в зависимости от материала опорной части колеса и головки рельса, диаметра и конструкции колеса, геометрии опорной части колеса и головки рельса;
- исследование влияния изменения вертикальной и горизонтальной нагрузок на параметры качения колеса, износ колеса и рельса, виброн нагруженность колеса, рельса и элементов привода, шум;
- исследование износа колеса и рельса с целью определения ресурса;
- исследование температурных режимов колеса и элементов привода;
- исследование виброн нагруженности колеса, рельса и элементов привода;
- определение допустимых отклонений по ширине колеи;
- исследование циклических изменений ширины колеи, их влияния на параметры качения колеса, износ колеса и рельса, виброн нагруженность колеса, рельса и элементов привода, а также на возникающий шум;
- исследование влияния циклических изменений вертикальных реакций, возникающих при переезде через опоры, на параметры качения, износ колеса и рельса, виброн нагруженность колеса, рельса и элементов привода, шум;
- исследование влияния наклона плоскости вращения колеса и ее поворота относительно рельса на параметры качения, износ колеса и рельса, виброн нагруженность колеса, рельса и элементов привода, шум;
- исследование циклических поворотов колеса относительно вертикальной оси, влияния на параметры качения, износ колеса и рельса, виброн нагруженность колеса, рельса и элементов привода, шум;
- исследования влияния микронеровностей колеса и рельса на параметры качения, износ колеса и рельса, виброн нагруженность колеса, рельса и элементов привода, шум;
- исследование качения колеса, износ колеса и головки рельса при попадании в зону контакта:
 - воды;
 - масла;

- пыли;
- грязи;
- крупных насекомых и птиц;
- исследование реального силового агрегата модуля и элементов его трансмиссии;
- исследование некоторых характеристик тормозных устройств.

3. Состав стенда

Стенд включает в себя следующие основные составные части:

- механическая часть стенда;
- система управления (СУ) стенда;
- основная часть системы измерений (СИ);
- дополнительная (сменная) часть СИ для проведения различных целевых экспериментов.

Требования к СУ и СИ уточняются на стадии проектирования механической части стенда и должны быть сформулированы в частных технических заданиях (ЧТЗ). Дополнительная СИ разрабатывается отдельно по ЧТЗ в соответствии с планируемой программой испытаний и с учетом конструкции механической части стенда.

4. Технические характеристики стенда

4.1. Колесо приводится во вращение силовым агрегатом на базе дизеля Д-245 (номинальная мощность до 136 л.с. при 2400 об/мин; крутящий момент 47 кг.м при 1300 об/мин), сцепления и коробки передач.

4.2. Каток нагружается крутящим моментом от электрической балансирной машины или гидротормозом.

4.3. Силовой агрегат устанавливается на отдельных опорах и соединяется с колесом карданным валом.

4.4. Электропривод катка (балансирная машина), работающий в режиме генератора для имитации нагрузки, устанавливается на собственных опорах и соединяется с катком посредством карданного вала.

4.5. Для торможения катка и колеса, а также для остановки стенда, устанавливается фрикционный тормоз.

4.6. Колесо и каток устанавливаются на поворотных опорных устройствах, которые монтируются на станине (основании) стенда. Приводы устанавливаются непосредственно на станине.

4.7. Ориентировочная площадь, занимаемая стендом – около 30 м².

5. Параметры испытаний

5.1. На стенде воспроизводится статическое и динамическое приложения вертикальной (Q) и боковой (Y') нагрузок, имитирующих нагрузку от модуля при движении колеса по рельсу.

5.2. Предусматривается изменение динамической вертикальной нагрузки в пределах $\pm 10\%Q$ и боковой $\pm 10\% Y'$ при колебании прогиба упругого подвешивания в пределах ± 25 мм. При ступенчатом регулировании количество ступеней нагружения – не менее 5.

5.3. Вертикальная номинальная нагрузка (Q) на колесо со стороны катка (рельса) колеблется в диапазоне 1000...6000 кгс.

5.4. Боковое воздействие (Y') на колесо со стороны пути в диапазоне 0...1500 кгс.

5.5. Динамическое воздействие нагрузок на колесо обеспечивается независимыми кривошипно-шатунными механизмами (ступенчатое нагружение) или гидроцилиндрами (плавное нагружение). Частота воздействия – до 25 Гц.

5.6. Воздействие на колесо со стороны пути с учетом перекоса и «виляния» колеса относительно рельса (катка). Колесо и каток имеют возможность относительного перекоса в плоскости вращения до 10° и относительного наклона осей вращения до 10° .

5.7. Обеспечение проскальзывания колеса относительно рельса при различных значениях приводных моментов и вертикальных нагрузок (при различных геометрических параметрах колеса).

5.8. Воспроизводимые режимы и сочетания действующих факторов определяются конкретными программами испытаний.

6. Параметры объектов испытаний

6.1. Колеса составные: ступица соединена с ободом через упругие элементы.

6.2. Диаметры колес по поверхности катания: от 600 до 1000 мм (определяется программой испытаний).

6.3. Соединение с приводным валом разъемное.

6.4. Скорость вращения колеса – до 2400 об/мин (определяется частотой вращения приводного двигателя внутреннего сгорания).

6.5. Каток составной: ступица со сменным ободом, имитирующем профиль рельса.

6.6. Диаметр (по поверхности катания) - 1000 ± 50 мм.

6.7. Ширина обода максимальная – 110 мм.

6.8. Соединение катка с приводным валом – разъемное. Вал опирается на два симметрично установленных подшипника.

6.9. Крутящий момент - до 500 кгм.

6.10. Скорость вращения – до 2400 об/мин.

6.11. В дисках ступиц катков предусматриваются технологические отверстия для строповки и установки на станке (при обработке поверхности катания и т.д.).

Стенд оснащается комплексом измерительной аппаратуры.

Схема стенда приведена на рис. 1.

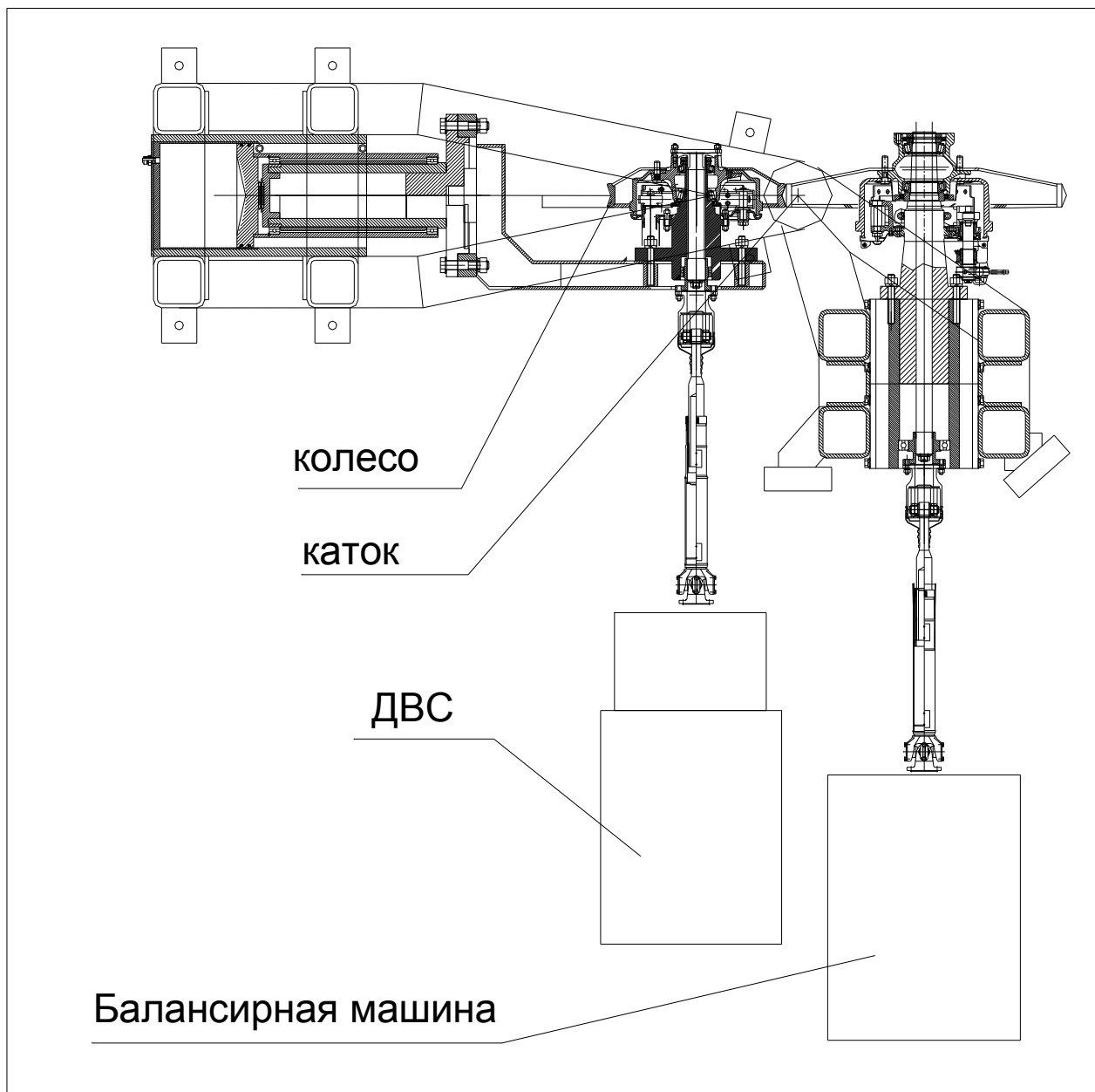


Рис. 1. Схема стенда «колесо – рельс (каток)»

**Результаты испытаний отдельных элементов
путевой структуры**

Часть 1

**Испытания фрагмента верхнего
строения пути**

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Установка для испытания фрагмента верхнего строения пути	4
2. Методика проведения исследований опытных образцов	9
3. Предварительные выводы	18
Заключение	19

Введение

Одним из основных элементов струнной транспортной системы (СТС) является верхнее строение пути – рельс-струна.

Предложено несколько вариантов конструктивного решения. В первых вариантах рельс-струна представлял собой пустотелый рельс с размещенными внутри с провесом высокопрочными канатами, натянутыми с усилием в несколько сотен тонн.

В настоящей работе рассматривается вариант решения верхнего строения системы рельса-струны в виде композитной конструкции – натянутой стальной трубы, внутри которой натянуты стальные канаты. Труба и канаты объединены в единую систему путем заполнения трубы инъекционным сверхкачественным напрягающим раствором.

1. Установка для испытания фрагмента верхнего строения пути

Экспериментальные исследования рельса-струны проводятся в условиях, максимально приближенных к реальным, на опытно-экспериментальной базе, аккредитованной Отраслевой научно-исследовательской лабораторией строительных конструкций Белорусской государственной политехнической академии.

На первом этапе были разработаны опытные образцы, представляющие трехпролетный фрагмент рельса-струны.

Для проведения комплекса экспериментальных исследований разработан комплекс рабочих чертежей и изготовлен специальный стенд, позволяющий не только создать необходимое предварительное напряжение трубы и канатов, но и провести испытания трехпролетной системы пути при различном расположении нагрузки и различных пролетах (см. рис. 1).

Стенд состоит из силовых упоров и элементов для создания предварительного напряжения в трубе и канатах, траверс для создания испытательной нагрузки.

На силовых упорах с ребрами жесткости установлены специальная траверса для натяжения канатов (см. поз. 3 рис. 1), устройство для создания и контроля предварительного напряжения трубы (см. поз. 2, 4, 8, рис. 1), гидравлические домкраты для создания предварительного напряжения в элементах фрагмента верхнего строения пути. Канаты закрепляются на одном из упоров и натяжной траверсе (поз. 3 рис. 1) с помощью цанговых зажимов. Предварительное напряжение арматурных канатов производилось групповым методом путем создания нагрузки на траверсу. Нагрузка создавалась при помощи двух домкратов ДГ-100 (см. рис. 2).

Предварительное напряжение в трубе производилось при помощи траверс и гидравлических домкратов ДГ-25, установленных на специальных упорах (см. рис. 3).

Труба верхнего строения пути закрепляется к упору при помощи 4-х болтов М20 и специальных пластин, обеспечивающих фиксацию канатов в проектном положении.

Между торцевыми пластинами трубы установлены резиновые прокладки и металлические прижимные пластины для герметизации отверстий в месте выхода канатов (см. рис. 3).

Для создания испытательной нагрузки стенд оборудован системой траверс и перекидной балкой, позволяющими создавать нагрузку в любой точке верхнего строения пути.

Общий вид стенда см. на рис. 4.

После изготовления отдельных элементов была произведена сборка установки, выполнено предварительное напряжение трубы и канатов и инъецирование трубы специальным раствором. Предварительное напряжение трубы и канатов создавалось при помощи гидравлических домкратов и контролировалось при помощи образцовых манометров, установленных на насосных станциях.

Рис. 1. Схема установки для испытаний

- | | |
|--|---------------------------|
| 1 Наружная оболочка | 7. Опорный уголок – 2 шт. |
| 2. Траверса для натяжения трубы – 2 шт. | 8. ДГ 50 т – 2 шт. |
| 3. Траверса для натяжения арматурных канатов | 9. ДГ 100 т - 2 шт. |
| 4. Тяж – 4 шт. | 10. ДГ 25 т |
| 5. Перекидная балка | 11. Тяж – 4 шт. |
| 6. Стойка – 4 шт. | 12. Траверса – 2 шт. |

Месторасположение домкрата п.10 изменяется в ходе испытаний

Устройство для натяжения канатов

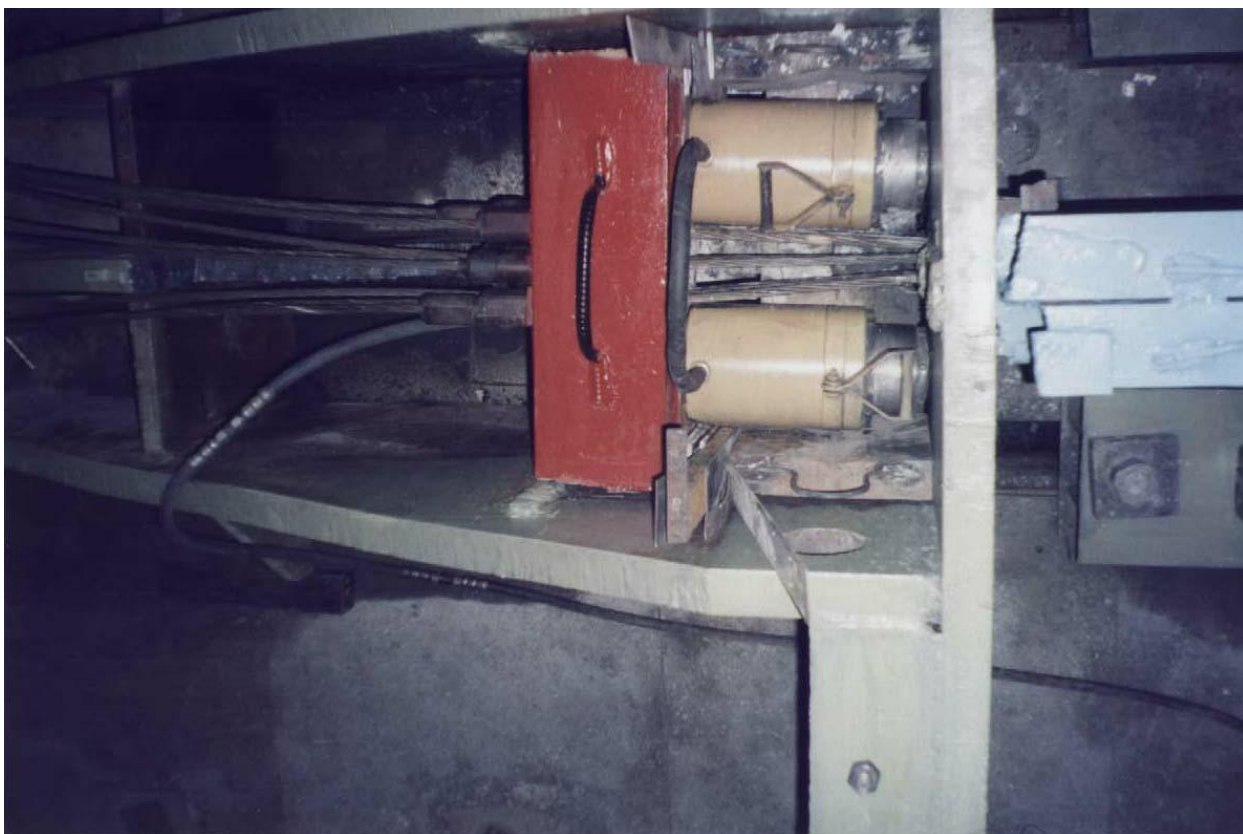


Рис. 2

Устройство для предварительного напряжения трубы

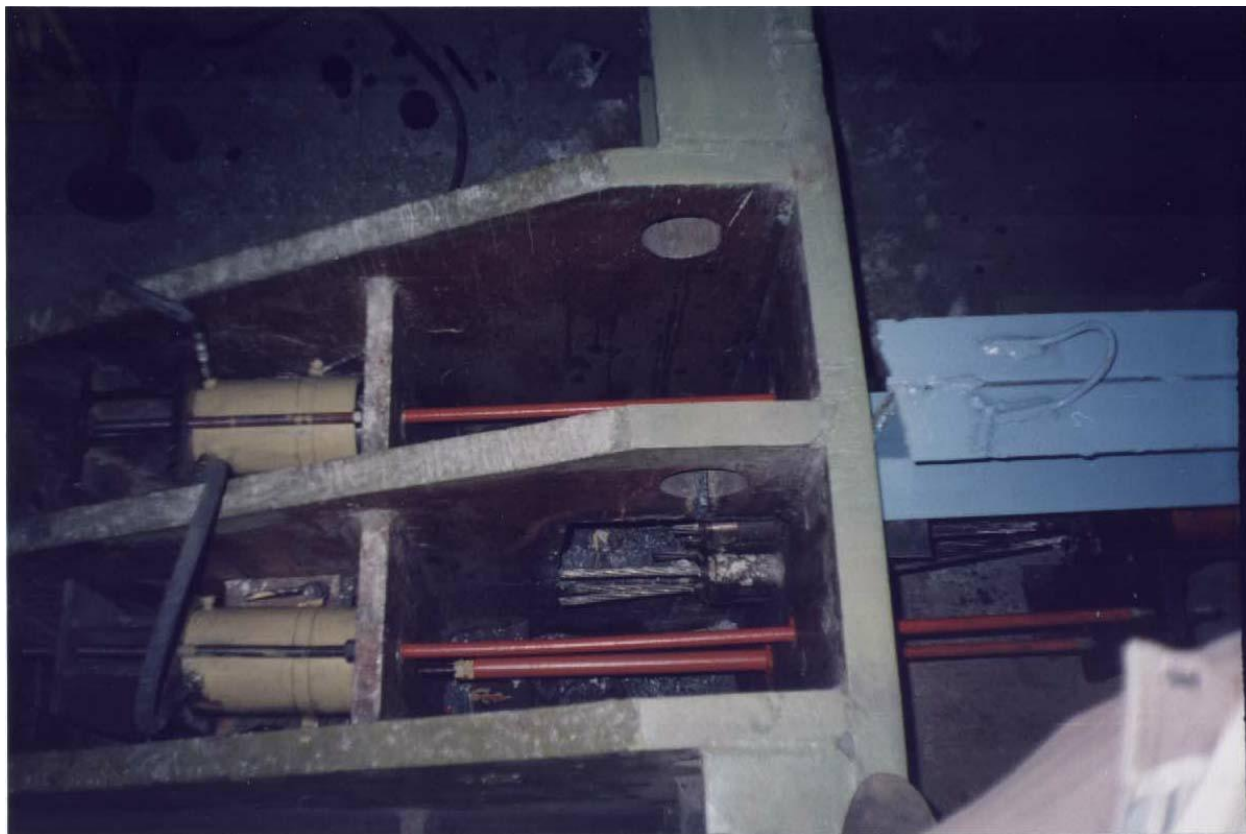


Рис. 3

Общий вид стенда для испытания опытных образцов



Рис. 4

2. Методика проведения исследований опытных образцов

Программа эксперимента предусматривает исследование фрагмента верхнего строения пути при различном расположении нагрузки и различных пролетах. Опытный образец пути трехпролетный. Перемещения трубы в середине пролетов измерялись при помощи прогибомеров 6ПАО, а перемещения над опорами измерялись индикаторами ИЧ-10, установленными в приспособлениях ПРИМ, перемещения трубы относительно стоек измерялись при помощи индикаторов ИЧ-10. Для определения напряжения в трубе в середине пролетов и на опорах устанавливались тензометрические датчики. Схема расстановки приборов приведена на рис. 5. опытный образец верхнего строения пути с установленными приборами представлен на рис. 6, 7, 8.

Испытания проведены для трех пролетов – 1,2м; 1,6м; 2,0м. испытательная нагрузка прикладывалась этапами 0,5 кН. При достижении нагрузки 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0кН – для пролетов 1,2 и 1,6 производилась пятикратная загрузка и разгрузка опытного образца. Для пролета 2,0м пятикратная нагрузка и разгрузка производилась до нагрузки 4,0 кН.

Рис. 5 Схема расстановки приборов

И1-И4 – индикатор ИЧ-10 – 4 шт.

И5-И8 – индикатор ИЧ-10 – 4 шт.

П1-П3 – прогибомер Б ПАП – 3 шт.

— - тензодатчик – 30 шт.

Опытный образец верхнего строения пути с установленными приборами



Рис. 6.

Опытной образец верхнего строения пути с установленными приборами

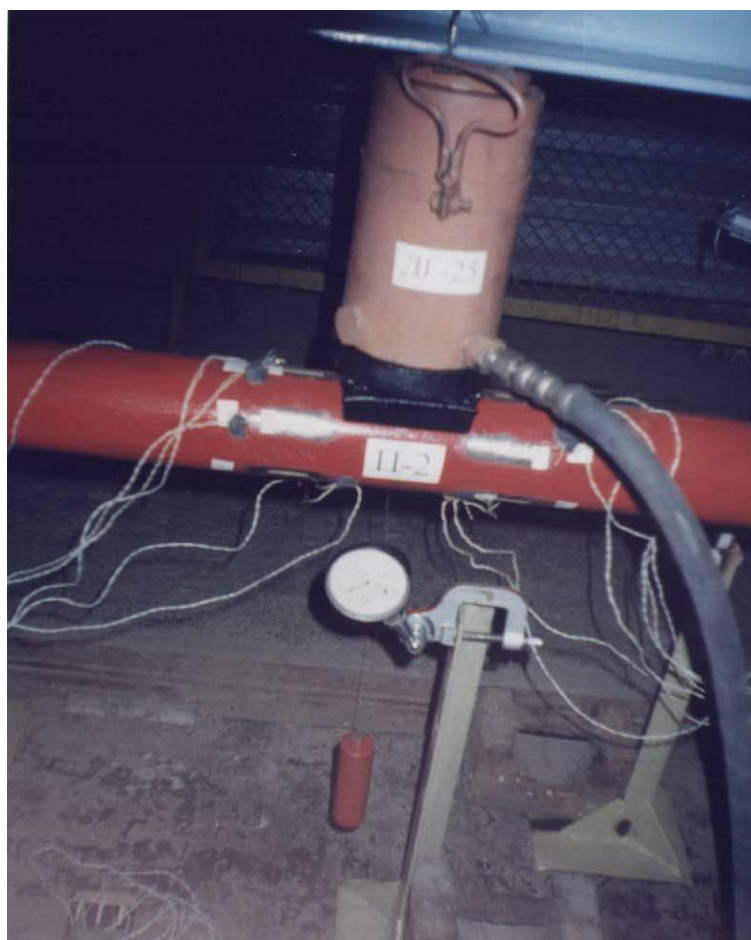
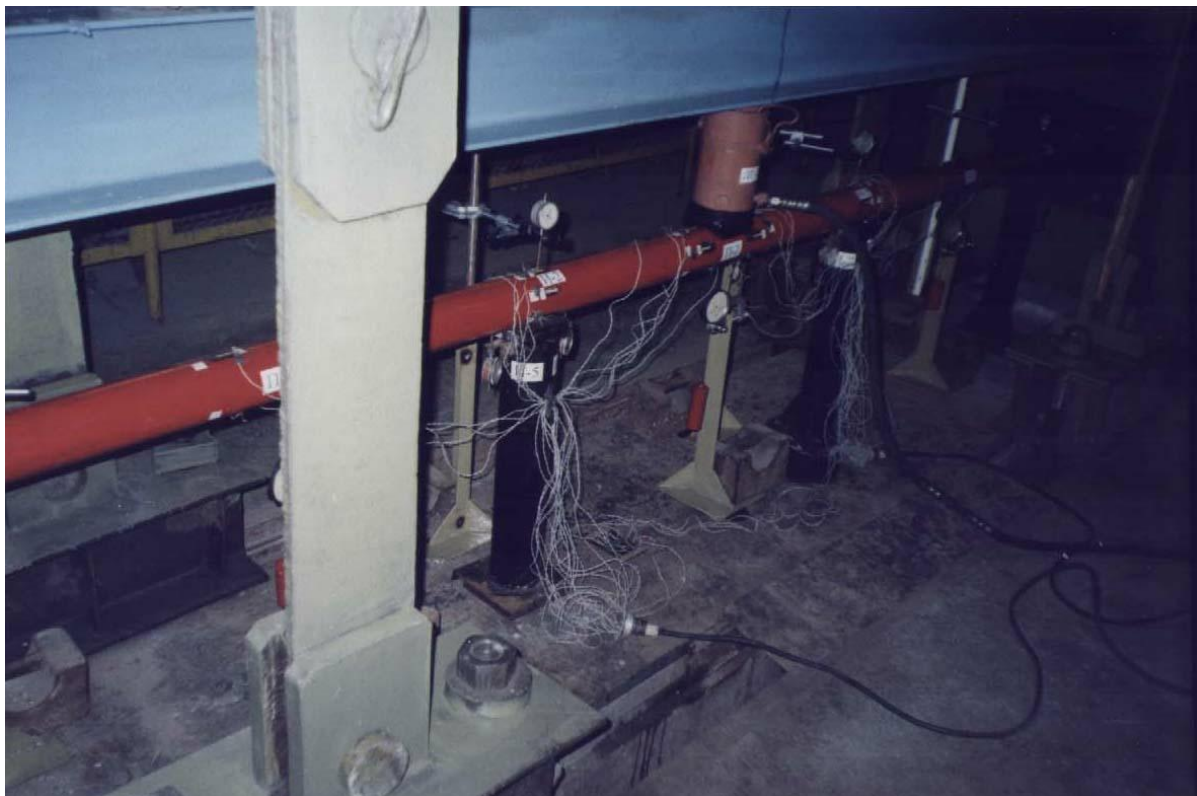


Рис. 7

Опытный образец верхнего строения пути с установленными приборами

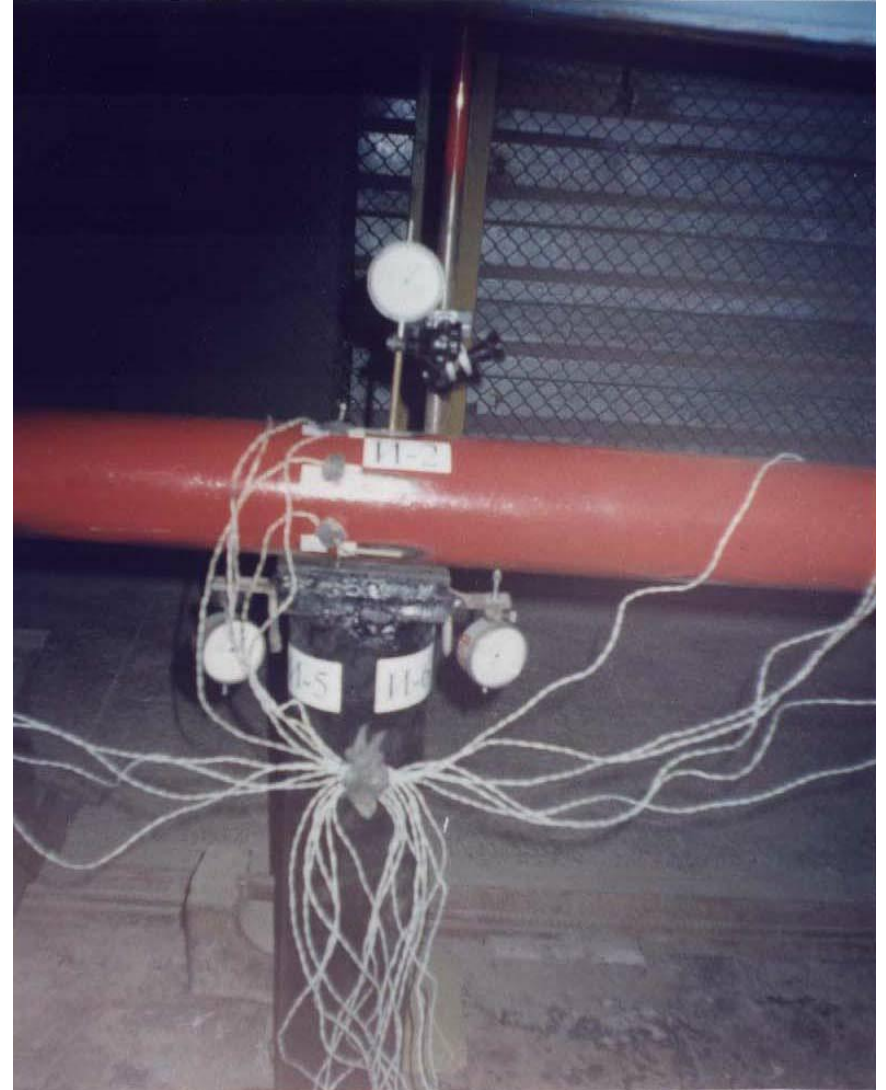
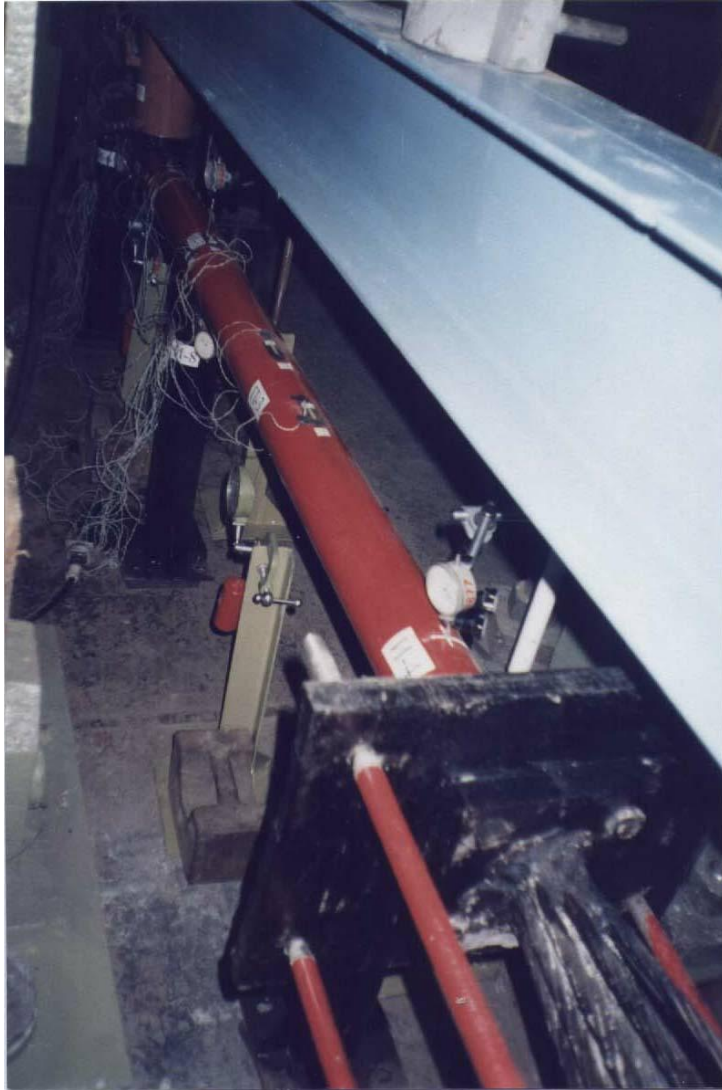


Рис. 8

3. Предварительные выводы

1. Проведенные экспериментальные исследования опытного образца рельса-струны с наружной стальной оболочкой показали, что такие элементы под эксплуатационной нагрузкой имеют практически линейный характер работы и небольшие прогибы.

2. Поскольку напряженно деформированное состояние труб и канатов практически мало изменяется при прохождении нагрузки, то долговечность рельса струны в первую очередь зависит от работы бетонного ядра и трубы. Только применение сверхкачественных растворов позволяет обеспечить необходимую способность системы.

Заключение

Результаты теоретических исследований, настоящие опытные данные и проектных разработок подтверждают перспективность применения в качестве рельса-струны – натянутых канатов с защитной наружной стальной оболочкой, объединенных в единую конструкцию сверхкачественным раствором.

Для выполнения предполагаемой программы внедрения новых конструкций рельса-струны в объекты транспортного строительства вплоть до освоения массового выпуска новых конструкций необходимо выполнить комплекс специальных научных исследований, исследовать эффективность и экономичность в различных возможных условиях их работы в сооружениях:

- исследование характера зависимости несущей способности элементов от степени взаимодействия между стальной оболочкой, канатами и бетонным ядром при статических, динамических, ударных, вибрационных, длительных и кратковременных нагрузках, при кручении;

- исследование работы элементов при действии повышенных и отрицательных температур, агрессивных сред, при случайных мгновенных и кратковременных нагрузках;

- разработка и теоретически-экспериментальные исследования работы узлов, стыков и сопряжений предлагаемых элементов.

Для широкого внедрения предлагаемых конструкций необходимо:

- произвести дальнейшие научно-исследовательские работы с целью выявления особенностей работы предлагаемых конструкций в специфических условиях;

- разработать, изготовить опытно-промышленный образец конструкций и провести испытания в условиях строительства и эксплуатации;

- откорректировать техническую документацию и уточнить технологию изготовления конструкций по результатам опытно-промышленного производства и применения их в строительстве;

- изготовить первые промышленные партии конструкций и применить их в строительстве;

- разработать техническую документацию, обеспечивающую массовое применение предлагаемых конструкций в транспортном строительстве.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
к тому II часть 2

Результаты испытаний отдельных элементов
путевой структуры
Часть 2

Устройство анкерное передвижное для стальных канатов

СОДЕРЖАНИЕ

1. Область применения	3
2. Назначение	3
3. Требование к устройству	3
4. Конструктивные особенности	3
5. Экспериментальные исследования	3
6. Выводы и рекомендации	4

1. Область применения

Натяжение и фиксация стальных канатов при создании напряженных конструкций в строительстве, машиностроении и т.п.

2. Назначение

Устройство анкерное передвижное должно обеспечивать фиксацию анкера в любой точке стального каната, а также, при необходимости, его демонтаж и многократную переустановку.

3. Требования к устройству

Невысокая стоимость и простота в изготовлении;
Малые габариты и вес;
Простота в монтаже, демонтаже и переустановке.

4. Конструктивные особенности

Устройство анкерное состоит из:
Анкерной группы;
Монтажного комплекта;
2-х стандартных ключей.

Анкерная группа включает:

4.1.1. Корпус – толстостенную металлическую втулку с внутренним коническим отверстием;

4.1.2. Три клина с наружной конической поверхностью, устанавливаемых между канатом и корпусом, обеспечивающих их взаимную надежную фиксацию за счёт расклинивания.

Монтажный комплект состоит из 5-ти деталей, обеспечивает запрессовку и выпрессовку клиньев из корпуса при монтаже, демонтаже и переустановке анкера.

Стандартные ключи служат для взаимного проворота деталей (гаек) из монтажного комплекта.

5. Экспериментальные исследования

Данное устройство было разработано, изготовлено и экспериментально проверено при испытаниях на растяжение и разрыв отрезка каната диаметром 15,5 мм и длиной 1000 мм.

Испытания проводились на 100-тонной испытательной машине производства США (American Machine and Metals, Inc.) в испытательной

лаборатории кафедры «Сопротивление материалов» Белорусской государственной политехнической академии (г.Минск).

С помощью монтажного комплекта по концам каната устанавливались 2 анкера, при этом длина каната, подвергнутого растяжению, составляла ≈ 680 мм.

Усилие растяжения от траверсы испытательной машины передавалось торцевым поверхностям анкеров.

На рис. 1 приведена диаграмма растяжения каната диаметром 15,5 мм до 23,5 тонны с последующей разгрузкой. (В дальнейших экспериментах данный канат разрушился при усилии 24,3 тонны).

Для диаграммы характерны 4 участка:

1. Заклинивание каната в анкерах.
2. Упругая деформация каната (прямолинейный участок на диаграмме).
3. Начало пластической деформации.
4. Пластическая деформация каната с небольшим упрочнением.

Модуль упругости каната определялся по формуле:

$$E = \frac{l}{\Delta l} \Delta \sigma, \text{ где}$$

Δl – упругая деформация каната на 2-м участке при увеличении напряжения на $\Delta \sigma$,

$$\Delta \sigma = \frac{\Delta P}{F}, \text{ где}$$

ΔP – приращение нагрузки на 2-м участке.

$$\Delta P = P_2 - P_1 = 18\,000 - 8\,000 = 10\,000 \text{ кг.}$$

F – площадь поперечного сечения каната:

$$F = \frac{\pi}{4} (6d_1^2 + d_2^2) = 141,5 \text{ мм}^2.$$

$$\Delta \sigma = \frac{10000}{141,5} = 70,67 \text{ кг/мм}^2.$$

$$\Delta l = 2,6 \text{ мм.}$$

$$E = \frac{680 \text{ мм} \cdot 70,67 \text{ кг/мм}^2}{2,6 \text{ мм}} = 1,848 \cdot 10^4 \text{ кг/мм}^2.$$

Начало пластического течения – при нагрузке ≈ 18 тонн или при напряжении около 130 кг/мм^2 .

6. Выводы и рекомендации

6.1. Разработанное устройство полностью соответствует пунктам 2 и 3 настоящих требований, обеспечивает надёжный монтаж и демонтаж анкеров, в том числе и на предельных нагрузках (при разрыве каната).

6.2. Следует продолжить работы по конструированию, изготовлению и экспериментальной проверке анкерных устройств для других типоразмеров канатов, применение которых планируется при создании СТС.

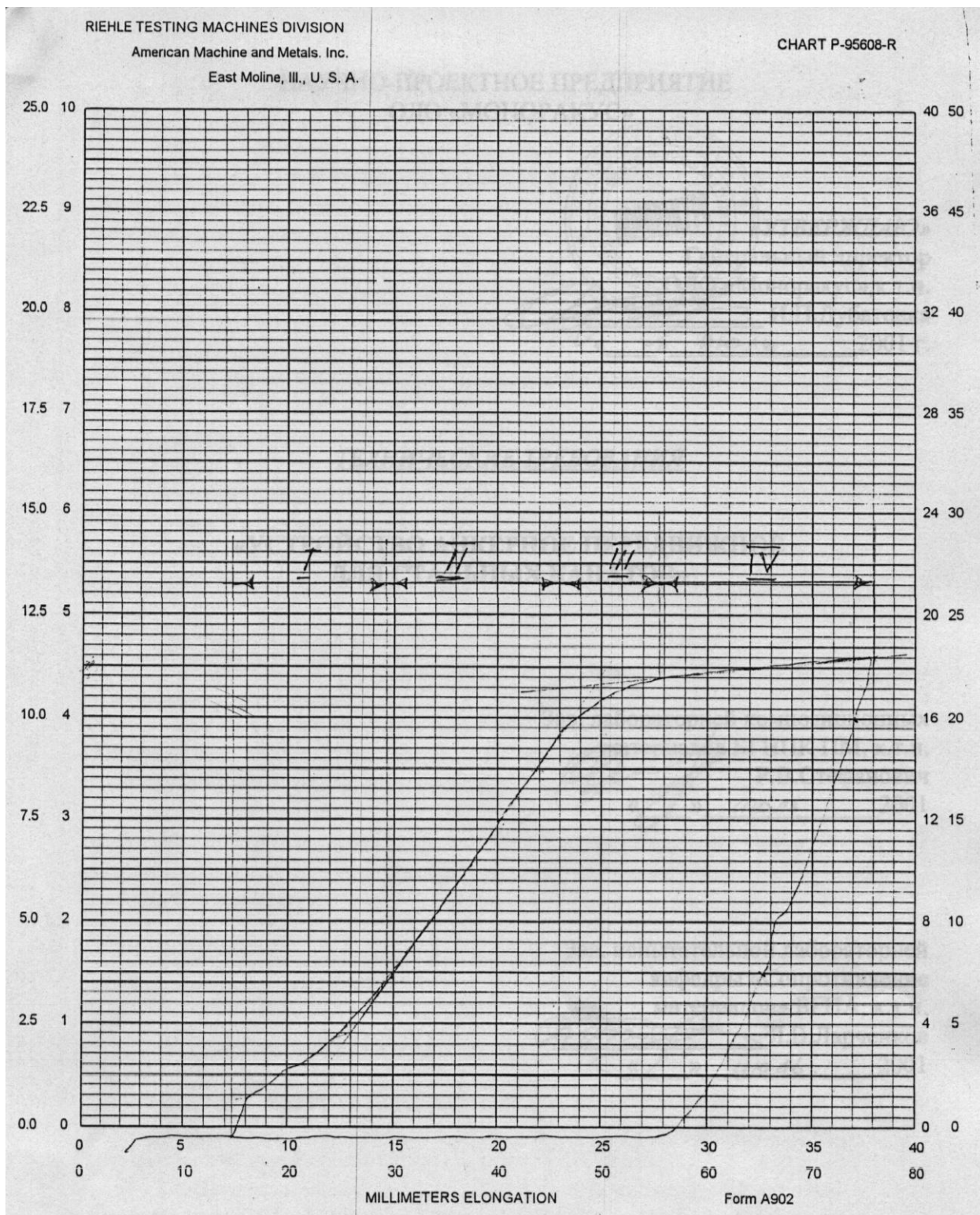


Рис. 1 Диаграмма растяжения каната $\varnothing 15,5$ мм. $P_{\max} = 23,5$ тонны,
 $L = 680$ мм, $E = 1,85 \times 10^4$ кг/мм²