

РЕГИОНАЛЬНЫЙ ОБЩЕСТВЕННЫЙ ФОНД
содействия развитию линейной транспортной системы



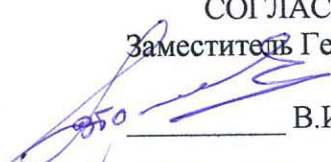
УТВЕРЖДАЮ
Президент фонда


А.Э. Юницкий

«20» ноября 2001г.

О Т Ч Е Т
о проведении первого этапа испытаний стенда «Путевая структура»

СОГЛАСОВАНО
Заместитель Генерального конструктора


В.И. Трофимович

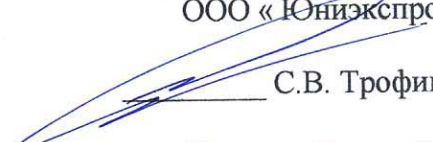
«20» xi 2001г.

Генеральный директор
ООО «Юниэкспро»


М.В. Иванов

«19» 11 2001г.

Главный инженер
ООО «Юниэкспро»


С.В. Трофимович

«19» 11 2001г.

Ведущий инженер ТО
ООО «Юниэкспро»


М.В. Зеленицкий

«19» 11 2001г.

г. Озеры 2001г.

СОДЕРЖАНИЕ

Лист

1. Общие положения.....	3
2. Экспериментальное исследование возможности движения имитатора транспортного модуля по путевой структуре стенда.	
2.1. Описание и технические характеристики имитатора транспортного модуля.....	3
2.2. Обеспечение безопасности проведения испытаний.....	5
2.3. Экспериментальное подтверждение возможности движения имитатора транспортного модуля по путевой структуре.....	9
2.4. Экспериментальное подтверждение эффективности торможения и фиксации имитатора транспортного модуля по путевой структуре.....	14
2.5. Экспериментальное исследование динамики взаимодействия системы «рельс-колесо».....	17
2.6. Выводы.....	21
3. Экспериментальное исследование параметров путевой структуры при статическом и динамическом нагружении.	
3.1. Описание и технические характеристики путевой структуры.....	22
3.2. Методика проведения испытаний.....	26
3.3. Результаты проведения статических испытаний.....	28
3.4. Результаты проведения динамических испытаний.....	37
3.5. Выводы.....	37
4. Заключение.....	38
5. Используемая литература и документация.....	39

1. Общие положения

Струнные транспортные системы – это новое направление в сфере обеспечения перевозок грузов и людей. Теория струнных транспортных систем базируется на основе известных физических принципов, законов и технических решений. Но, не смотря на это, до настоящего времени никто в мире серьезно этим вопросом не занимался.

Основные теоретические проработки вариантов построения струнных транспортных систем практически сделаны и были неоднократно обнародованы [1], [2]. Было проведено макетирование основных технических решений. Но до настоящего времени не существовало ни одного реального, полномасштабного фрагмента струнных транспортных систем, на котором можно было бы подтвердить их жизнеспособность.

Первым шагом в этом направлении было строительство стенда " Путевая структура", который представлял из себя фрагмент реальной, полномасштабной струнной транспортной системы.

На стенде был проведен первый этап испытаний.

Целью проведения испытаний являлось экспериментальная проверка работоспособности и корректности применяемых методов расчета конструкций, получение предварительной информации о поведении системы в различных условиях внешнего силового воздействия и воздействия климатических факторов, доказательство работоспособности струнных транспортных систем, демонстрация работы струнной транспортной системы в маркетинговых целях.

Основными задачами, которые решались в ходе проведения испытаний, были:

- экспериментальная проверка возможности и условий передвижения полномасштабного имитатора транспортного модуля по путевой структуре стенда, проверка правильности принятой концепции построения транспортных модулей;
- получение экспериментальных данных о деформации путевой структуры стенда под действием статических нагрузок в заранее определенных точках;
- реализация с помощью имитатора транспортного модуля динамического воздействия на элементы путевой структуры стенда, проведение наблюдений за их поведением в ходе такого воздействия;
- отработка основных принципов демонстрации работоспособности струнных транспортных систем.

Испытания стенда проводились в соответствии с разработанной Программой испытаний [3] и Технологическим планом подготовки [4]. Работы на стенде при проведении испытаний осуществлялись специальной бригадой, сформированной из представителей всех организаций, участвующих в разработке и строительстве стенда. Работа бригады регламентировалась Положением об испытательной бригаде [5].

2. Экспериментальное исследование возможности движения имитатора транспортного модуля по путевой структуре.

2.1. Описание и технические характеристики имитатора транспортного модуля

В качестве имитатора транспортного модуля был использован полноприводной грузовой автомобиль модели ЗИЛ- 131 (Рис. 2.1.1.). В рамках подготовки к испытаниям автомобиль был специальным образом переоборудован в соответствии с требованиями технической и нормативной документации [6], [7], [8].



Рис. 2.1.1. Имитатор транспортного модуля. Общий вид

Основным моментом модернизации автомобиля была установка на него оригинальных металлических колес (Рис. 2.1.2), которые позволяли бы имитатору транспортного модуля перемещаться по рельсам путевой структуры. Колеса были специально разработаны и изготовлены в соответствии с конструкторско-чертежной документацией [9]. Обод колес выполнен в двухребордном варианте. При этом внешняя реборда по диаметру увеличена относительно внутренней, что обеспечивает дополнительный уровень безопасности при проведении испытаний. Особенностью колес (Рис. 2.1.3) является то, что в их конструкцию заложена возможность ограниченного бокового смещения при движении имитатора транспортного модуля по путевой структуре (боковая податливость). Боковая податливость обеспечивается за счет того, что колеса выполнены составными. Центральная часть колеса связана с его ободом через систему упругих резиновых элементов. Это позволяет частично компенсировать возможные боковые ударные нагрузки при движении модуля.

Для обеспечения устойчивости движения модуля по рельсовой колее в механизме поворота передних колес был демонтирован карданный вал рулевого управления и установлен специальный кронштейн крепления поперечной рулевой тяги к корпусу главной передачи переднего моста (Рис.2.1.4).

Основные технические характеристики имитатора транспортного модуля:

- полная масса, кг.	6750.0
- колесная формула.....	6 x 6
- максимальная мощность двигателя при 3200 об/мин, л.с.....	150.0
- колея, мм.....	2000.0
- схождение передних колес, мм	0 ... 1.
- база, мм.....	3350 +1250
- радиус качения колеса., мм.....	315.0
- габаритные размеры, мм	
длина.....	7040.0
ширина.....	2500.0
высота.....	3200.0

В период испытаний техническая эксплуатация модуля осуществляется в соответствии с Руководством по технической эксплуатации автомобиля ЗИЛ 131 [10], и специально разработанной инструкцией [11].

2.2. Обеспечение безопасности проведения испытаний

Стенд «Путевая структура» является уникальным сооружением, для которого весьма затруднительно подобрать аналоги. Это объясняется тем, что струнные транспортные системы – это новое самостоятельное направление, которое находится на стыке многих областей науки, техники и промышленности. Поэтому все, что связано с работой в области струнных транспортных систем обладает новизной и отсутствием нормативно-технической базы.

При подготовке стенда к испытаниям основное внимание уделялось безопасности их проведения. Это связано с тем, что во время испытаний оператор стенда, управляя имитатором транспортного модуля, находится непосредственно на путевой структуре, поведение которой, как и поведение имитатора транспортного модуля до завершения испытаний можно было предсказать только теоретически.

Поэтому обеспечение безопасности при проведении испытаний складывалось из следующих аспектов:

- заложенный при проведении расчетов необходимый запас прочности всех конструкций стенда;

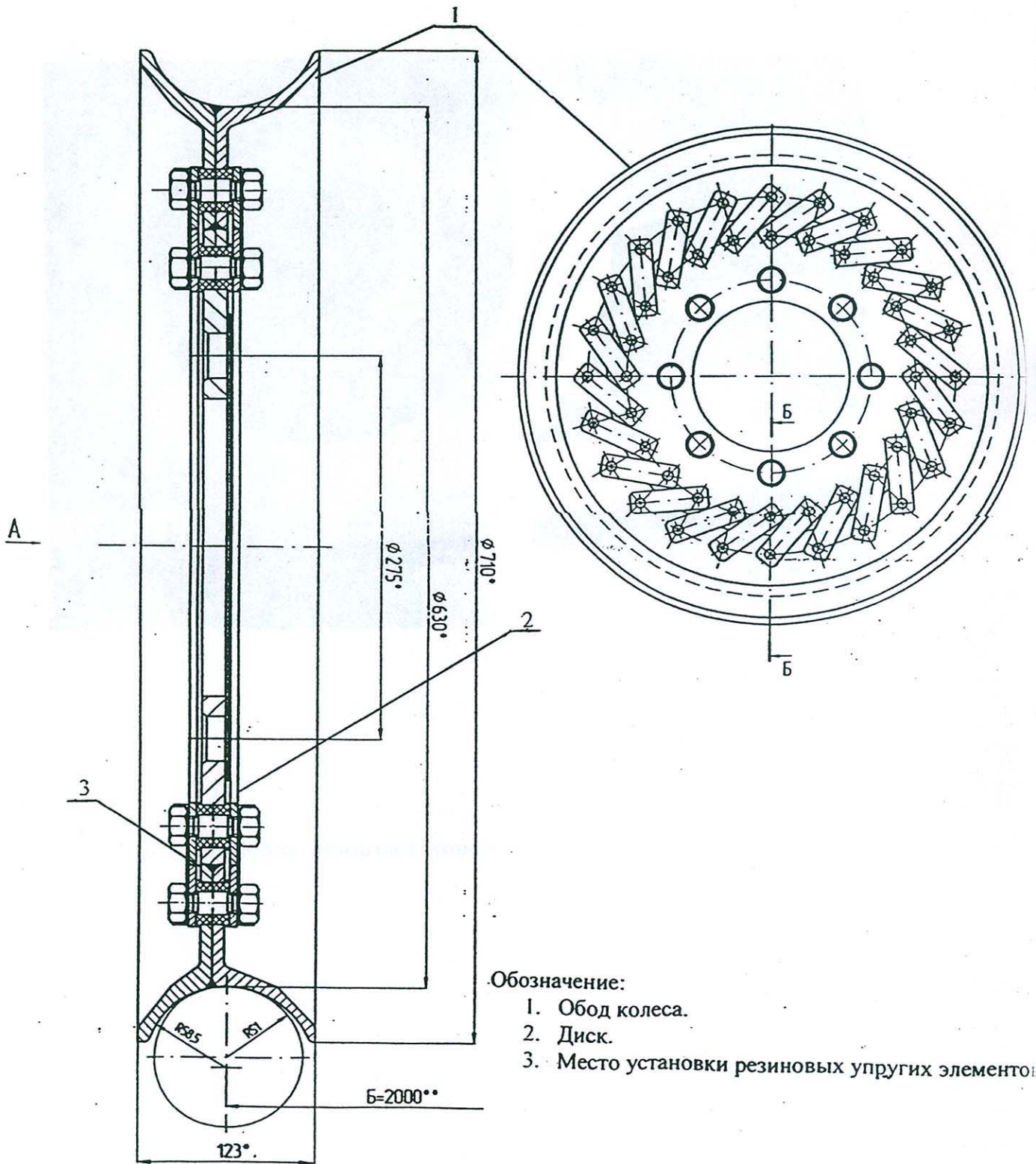


Рис. 2.1.2 Колесо ИМ. Общий вид.

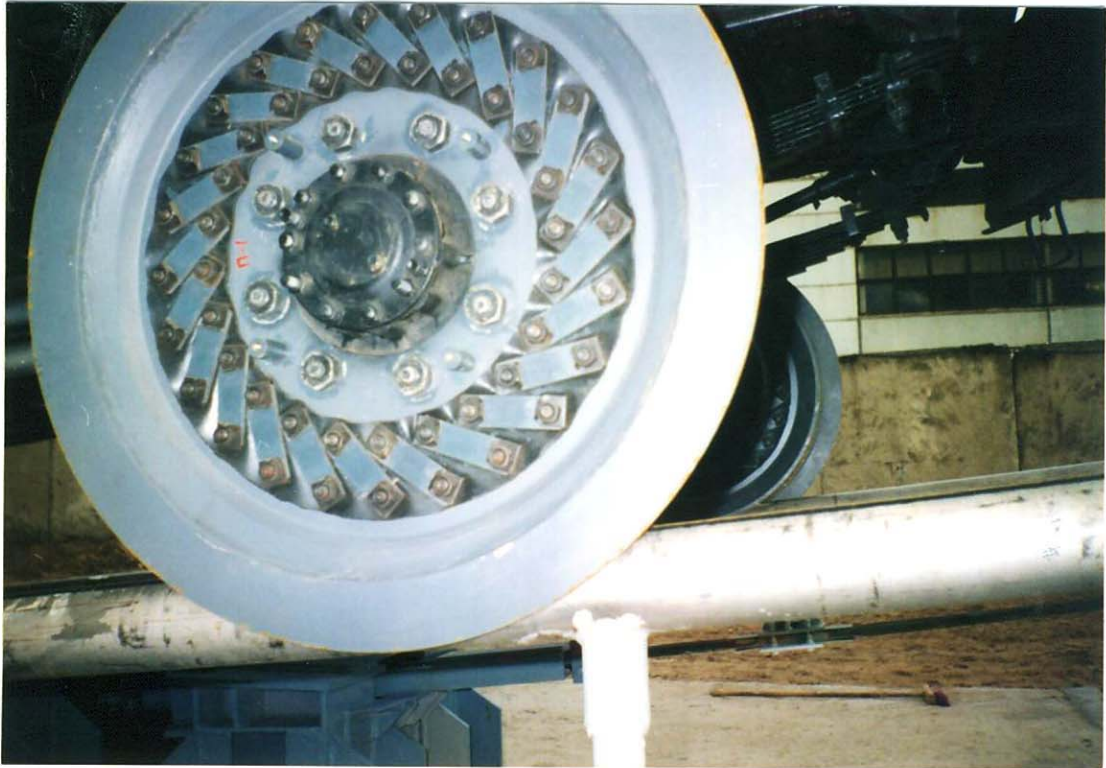
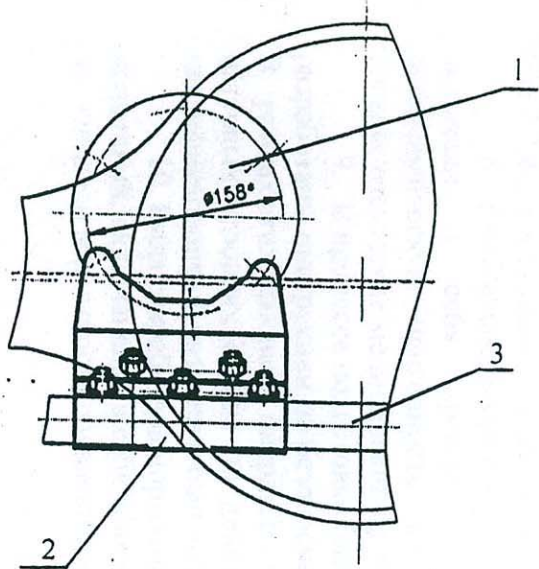


Рис. 2.1.3. Колесо имитатора транспортного модуля. Общий вид



Обозначение:

1. Корпус главной передачи.
2. Кронштейн.
3. Поперечная рулевая тяга.

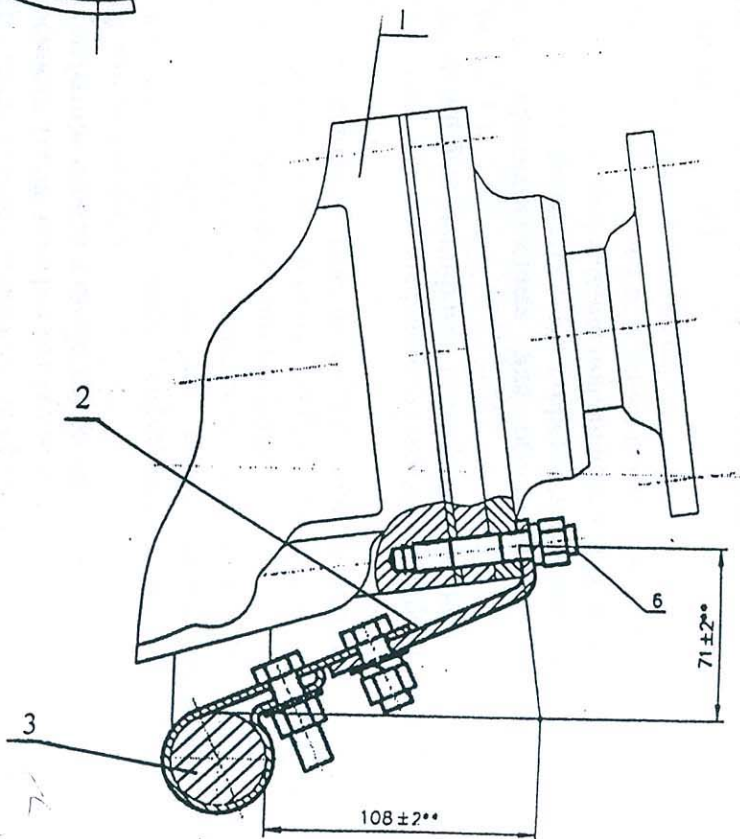


Рис. 2.1.7 Система блокировки рулевого управления ИМ.

- проведение анализа и формирования перечня нештатных и аварийных ситуаций, которые могут возникнуть в процессе испытаний;
- разработка методов парирования нештатных и аварийных ситуаций;
- техническое обеспечение возможности парирования нештатных и аварийных ситуаций;
- подбор по профессиональным и психологическим признакам оператора стенда;
- обучение и аттестация оператора стенда.

Это было обеспечено следующим образом:

1. При проектировании стенда был заложен запас прочности его конструкций равный 1,6, что достаточно для обеспечения надежности его эксплуатации и сведения до минимума вероятности поломки отдельных его частей.

2. В процессе строительства стенда технологические параметры по его прочности были обеспечены за счет строгого соблюдения строительных норм и правил производства работ.

3. Был проведен технический анализ возможности появления в процессе испытаний нештатных и аварийных ситуаций. На основании этого анализа был составлен перечень нештатных и аварийных ситуаций. [12].

4. Были разработаны методы парирования нештатных и аварийных ситуаций также Программа подготовки оператора стенда по его действиям в этих ситуациях [13].

5. Имитатор транспортного модуля в обеспечение повышенных требований по безопасности был технически доработан и дооснащен. Со стороны двери водителя была установлена специальная лестница, предназначенная для обеспечения аварийного покидания модуля оператором (Рис 2.2.1.).

6. Оператор в процессе испытаний был экипирован сертифицированной системой типа КСС (Рис. 2.2.2.) для обеспечения аварийного покидания кабины модуля в случае возникновения нештатной ситуации.

7. В моторном отсеке и в зоне топливного бака были установлены системы пожаротушения с огнетушителями типа «Буран-05» и «Пурга-К02» (Рис. 2.2.3., Рис 2.2.4.), дистанционно управляемые оператором из кабины модуля.

8. Подбор оператора стенда производился по специальным тестам, которые включали в себя проверку его профессиональных водительских навыков, психологическую пригодность для проведения работ, связанных с определенным риском, отсутствие медицинских противопоказаний.

9. В процессе подготовки оператора стенда к проведению работ были разработаны инструкции по безопасности труда, программы его подготовки и аттестации. В рамках этих программ оператор стенда прошел полный курс обучения и тренировок в натуральных условиях стенда по действиям в нештатных и аварийных ситуациях, сдал квалификационный экзамен и был допущен к самостоятельной работе на стенде.

10. Была разработана нормативная документация по порядку проведения испытаний, включающая в себя многоуровневый контроль и допуск к началу испытаний, что снижало вероятность появления нештатных и аварийных ситуаций.

2.3 Экспериментальное подтверждение возможности движения имитатора транспортного модуля по путевой структуре стенда.

Для подтверждения возможности движения имитатора транспортного модуля по путевой структуре на начальном этапе испытаний была выполнена серия прогонов модуля с последовательным увеличением проходимого им по путевой структуре пути.



Рис. 2.2.1. Аварийно-спасательная лестница



Рис. 2.2.2. Система аварийного покидания имитатора транспортного модуля

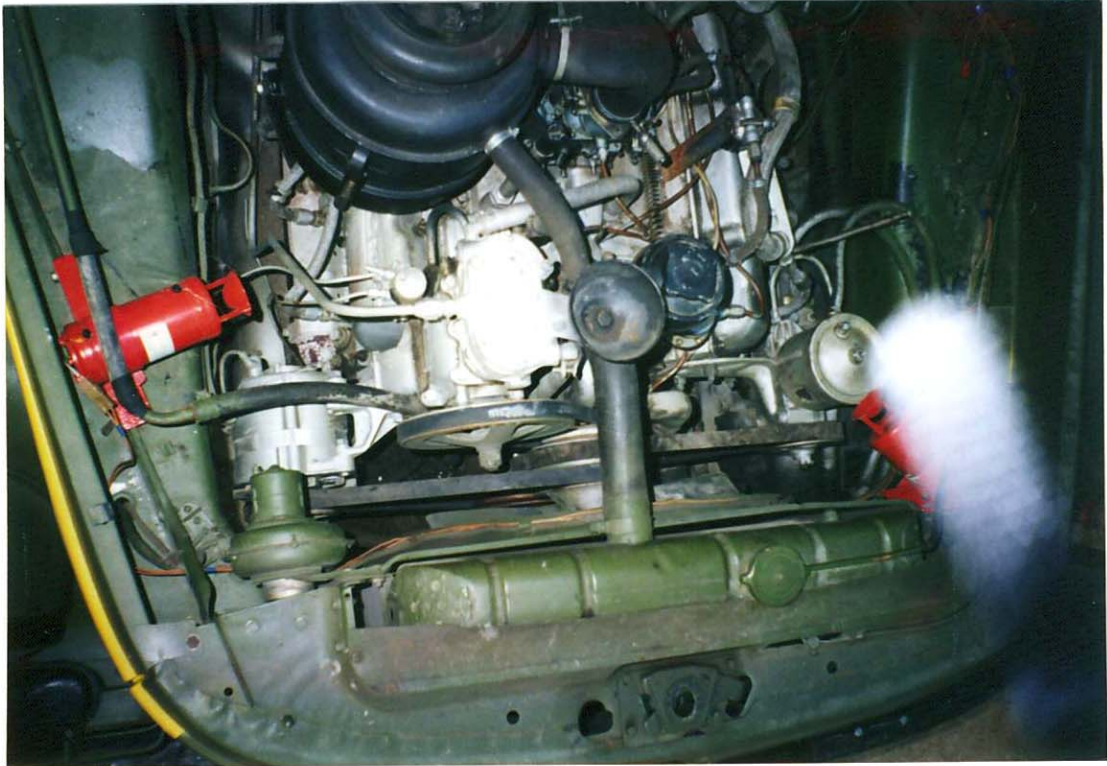


Рис. 2.2.3. Система аварийного пожаротушения двигательного отсека имитатора транспортного модуля



Рис. 2.2.4. Система аварийного пожаротушения топливного бака имитатора транспортного модуля

(Рис. 2.3.1.) Первая стадия работ в этом направлении была осуществлена на горизонтальном участке пути длиной 20 м на въездной площадке. На этой стадии отработаны режимы трогания с места, движения по горизонтальному участку на въездной площадке равномерно и с разгоном. Затем модуль был выведен на наклонный участок и осуществлены последовательно прогоны с началом движения с въездной площадки до заданной точки, остановкой в заданной точке и последующим возвратом на исходную позицию. Во всех случаях движение осуществлялось на минимальной скорости. Увеличение проходимого пути осуществлялось в следующей последовательности: до первой анкерной опоры, до первой промежуточной опоры, до второй промежуточной опоры, до второй анкерной опоры с заездом на остановочную площадку. Во время движения проводились наблюдения за характером движения имитатора транспортного модуля по путевой структуре, характером взаимодействия колес с рельсами, соответствием колеи путевой структуры и колее модуля.

В результате проведенных экспериментов установлено:

- движение модуля было равномерным, рывков, пробуксовки колес не наблюдалось;
- рельсовая колея в целом соответствовала колее мостов модуля, на всем участке пути сохранялся зазор между рельсами и ребрами колес, тенденций к «сходу» модуля с рельсового пути не зафиксировано;

Приведенные выше результаты показывают, что имитатор транспортного модуля может устойчиво перемещаться по горизонтальному и наклонному участкам путевой структуры за счет эффективного сцепления обода оригинальных колес с рельсами.

2.4. Экспериментальное подтверждение эффективности торможения и фиксации имитатора транспортного модуля на путевой структуре.

В ходе подготовки к проведению статических и динамических испытаний путевой структуры с использованием имитатора транспортного модуля была проведена опытная проверка эффективности его фиксации на путевой структуре различными способами с использованием штатных автомобильных тормозных систем. Были последовательно опробованы варианты удерживания модуля на путевой структуре в зафиксированном состоянии с помощью рабочей тормозной системы и стояночного ручного тормоза. Учитывая тот факт, что уклон путевой структуры одинаков по всей ее длине, отработка режимов торможения и фиксации проводилась на участке между исходной позицией и второй промежуточной опорой.

В результате серии проведенных экспериментов установлено, что модуль надежно (без скатывания и юза) удерживается на наклонном участке путевой структуры как рабочей тормозной системой, так и стояночным тормозом

Кроме проверки штатных режимов торможения были проведены эксперименты по применению экстренного торможения и проверке его эффективности. Работы проводились по следующей методике. Имитатор транспортного модуля, предварительно зафиксированный штатной тормозной системой в районе первой промежуточной опоры, (Рис. 2.4.1.) начинал скатывание назад при нейтральном положении рукоятки переключения передач. При этом осуществлялся разгон модуля. При выходе на горизонтальный участок въездной площадки оператором стенда резко включалась штатная тормозная система, под действием которой модуль останавливался. Производились измерения длины тормозного следа на рельсах путевой структуры. Измерения показали, что длина тормозного следа в среднем составляла 1350 мм. При этом



Рис. 2.3.1. Проведение испытаний по отработке режимов движения имитатора транспортного модуля по путевой структуре

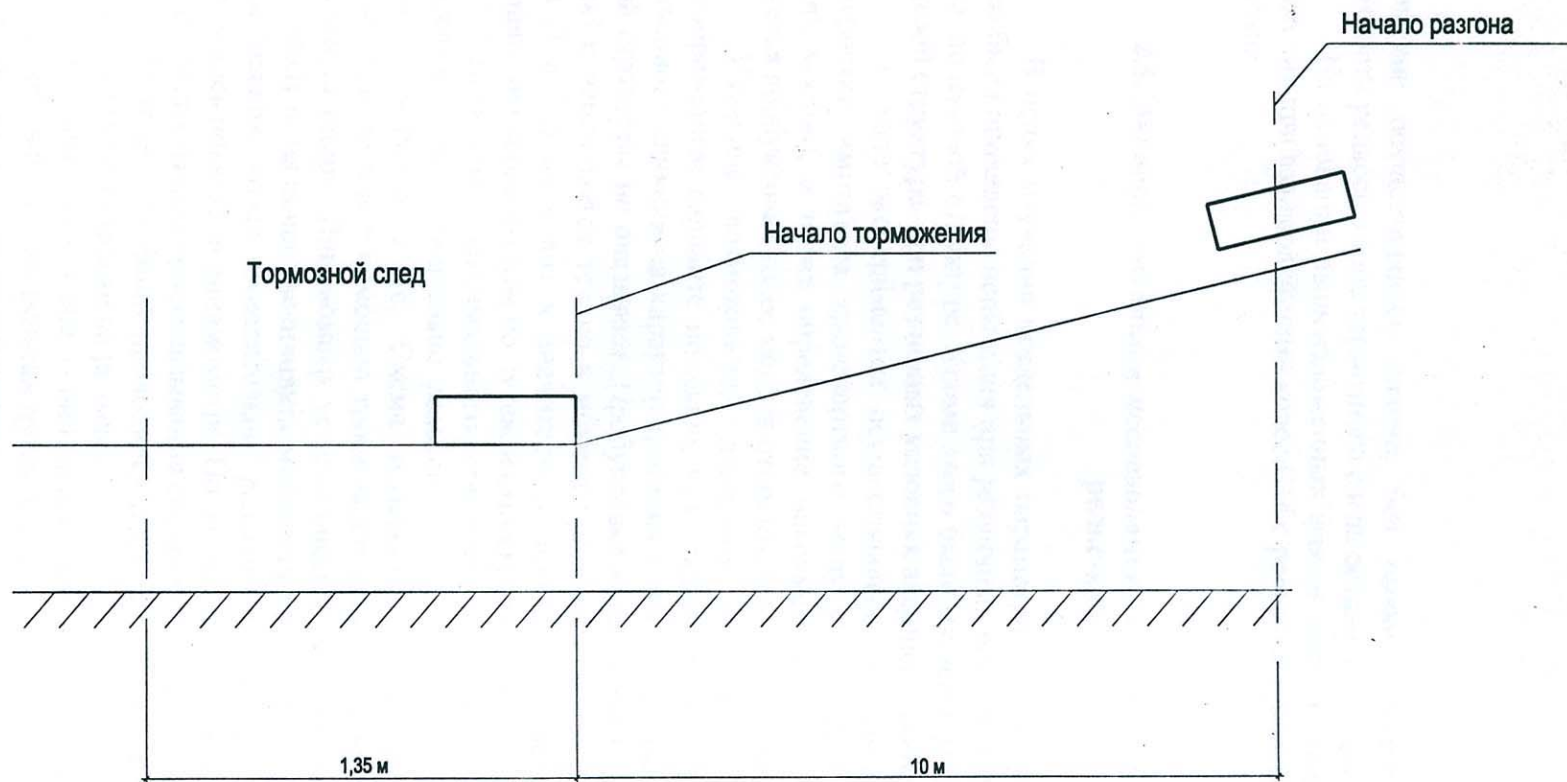


Рис.2.4.1. Схема эксперимента по проверке эффективности экстренного торможения ИМ на ПС.

торможение осуществлялось плавно, без рывков, вибрации и «подскоков». На поверхности рельсов в зоне тормозного следа остались задиры глубиной до 0.2 мм.

На основании вышеизложенных фактов можно утверждать, что эффективность торможения при взаимодействии колес ИМ с рельсами очень высокая за счет хорошего их сцепления.

2.5. Экспериментальное исследование динамики взаимодействия системы рельс-колесо.

В целях изучения предельных параметров взаимодействия системы «рельс – колесо» были проведены испытания при различных режимах трогания с места и движения модуля по путевой структуре. Кроме этого были изучены особенности движения модуля по путевой структуре при различных условиях внешнего климатического воздействия.

В ходе экспериментов осуществлялось движение с ограничением тяговых характеристик имитатора транспортного модуля (отключение первого и третьего ведущих мостов), а также определение максимального тягового усилия, при котором начинается пробуксовка колес модуля относительно рельсов в полноприводном варианте.

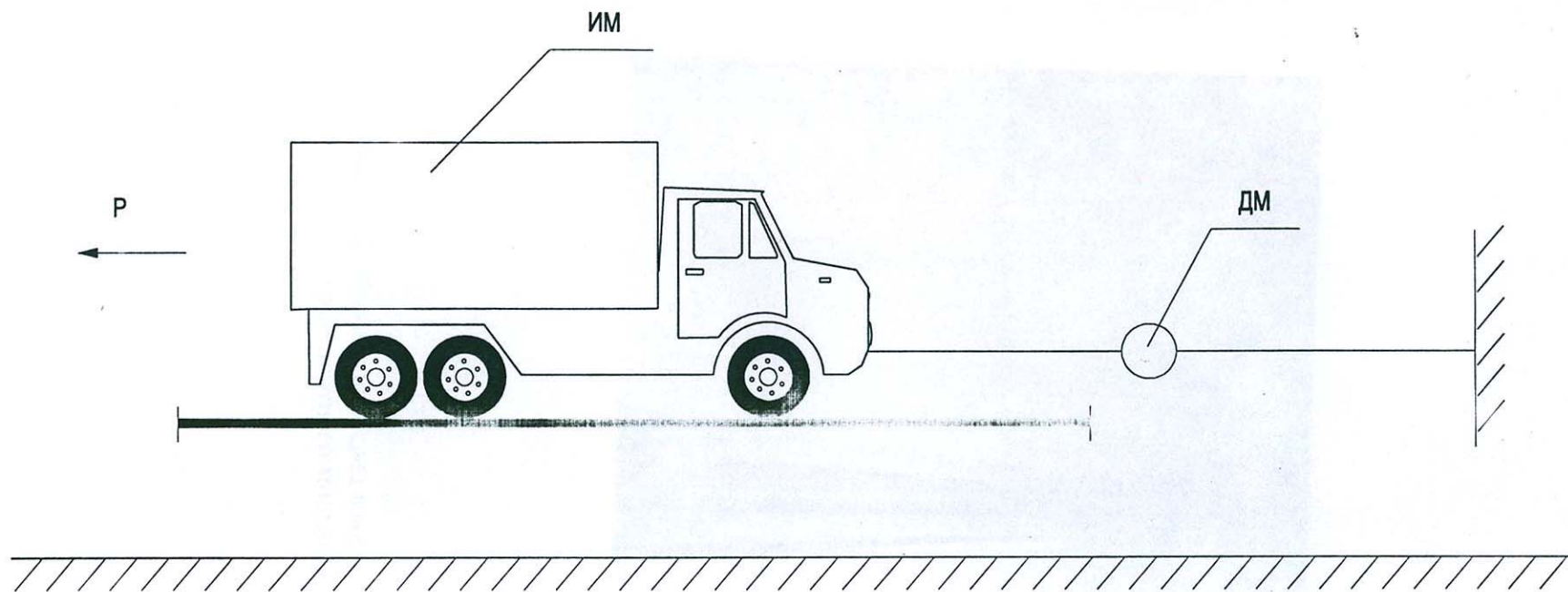
Изучение возможностей движения имитатора транспортного модуля в неполноприводном варианте показало, что отключение одного ведущего моста модуля существенного влияния на характер трогания с места и движения на наклонном участке путевой структуры не оказывает. Пробуксовка колес в этом случае незначительна (до $\frac{1}{4}$ оборота) и наблюдается только в момент трогания с места. Отключение двух ведущих мостов (I и III) приводит к значительной пробуксовке ведущих колес, при которой устойчивое движение модуля по путевой структуре невозможно.

Величина максимального тягового усилия, при котором начинается пробуксовка колес относительно рельсов, измерялась аттестованным динамометром с пределом измерения 5 тс. Схема измерения приведена на Рис.2.5.1. Имитатор транспортного модуля с помощью троса зацеплялся со стороны двигателя за массивную неподвижную опору. Динамометр устанавливался в месте крепления троса к бамперу модуля. Модуль начинал увеличивать мощность на задней передаче до момента начала проскальзывания колес относительно рельсов. В момент начала проскальзывания фиксировались показания динамометра. По данным проведенных измерений среднее значение усилия начала проскальзывания составило 2.9 тс.

В ходе испытаний проводился постоянный контроль состояния контактного следа, оставляемого колесами на рельсах.

На начальном этапе серий испытаний ориентировочно после 10 прогонов модуля контактный след на рельсах путевой структуры (Рис. 2.5.2) имел вид двух полос серого цвета, смещенных относительно оси симметрии (Рис 2.5.3.а.). В ходе взаимной приработки (прикатки) контактных поверхностей рельсов и колес модуля форма следа менялась. Ориентировочно после 70 прогонов модуля контактные полосы слились в одну широкую полосу (Рис 2.5.2.б.).

Исследование влияния климатических условий на характер движения имитатора транспортного модуля по путевой структуре производилось в осенне-зимний период при различной температуре воздуха и выпадении атмосферных осадков. Были проведены прогоны модуля по путевой структуре в условиях выпадения росы, мелкого морозящего дождя, проливного дождя, сухого и мокрого снега. В результате проведенных работ было установлено :



Условные обозначения:

- Р - тяговое усилие
- ДМ - динамометр
- ИМ - имитатор модуля

Рис. 2.5.1. Схема измерения усилия начала проскальзывания колеса имитатора модуля относительно рельса путевой структуры.

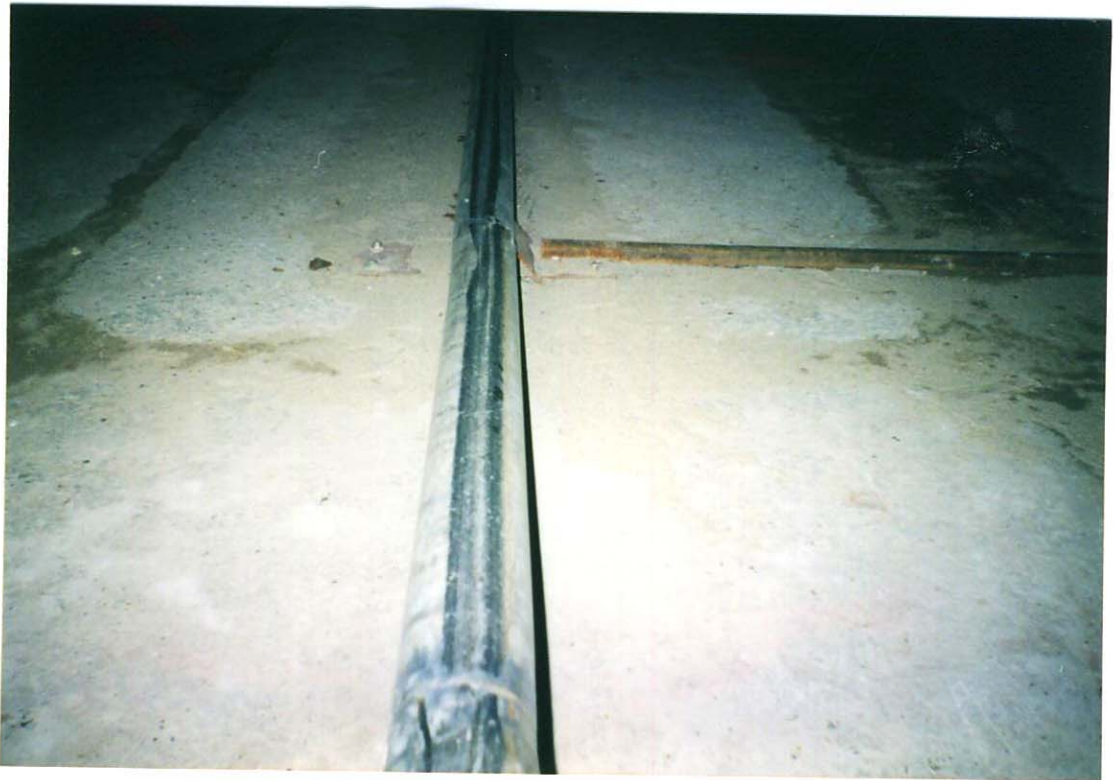
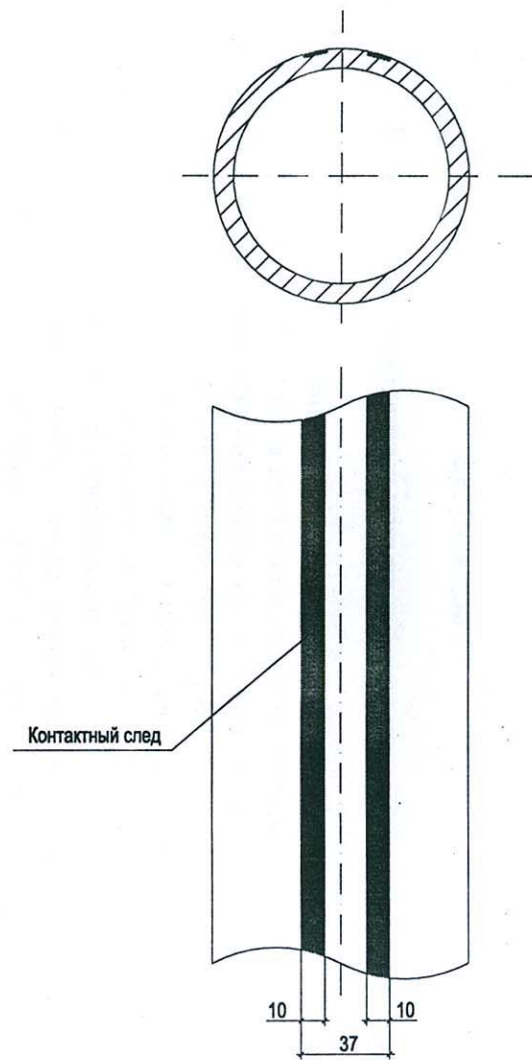
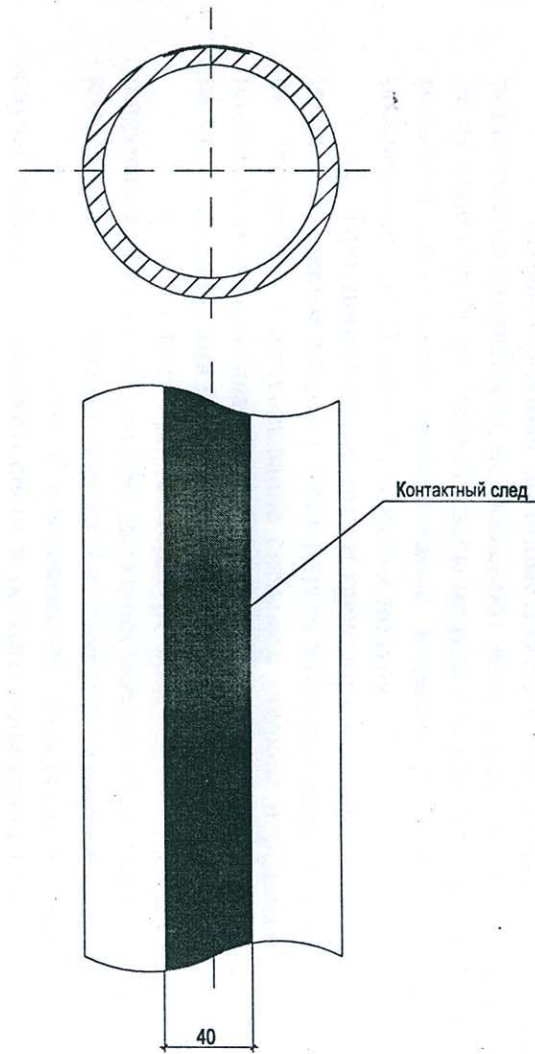


Рис. 2.5.2. Контактный след взаимодействия колеса имитатора транспортного модуля с рельсом путевой структуры



а) после 10 циклов



б) после 70 циклов

Рис. 2.5.3 Контактный след взаимодействия колеса ИМ с рельсом ПС. Форма и динамика изменения.

1. Неблагоприятные погодные факторы в виде росы и выпадение дождя различной интенсивности, не оказывают влияния на динамику движения модуля по путевой структуре. За счет массы модуля и хорошего сцепления обода его колес с рельсами происходит выдавливание водяной пленки из зоны контакта. Это обеспечивает стабильность движения модуля.

2. При движении имитатора транспортного модуля по путевой структуре покрытой мокрым снегом (температура воздуха в районе 0 град.) толщиной до 2-3 см, происходит спрессовывание снежного покрова передними колесами в тонкую пленку, которая скатывается с головки рельсов и не оказывает никакого влияния на характер движения модуля.

3. Сухой снега, при температуре воздуха до -10 град и толщине снежного покрова на рельсах до 3 см при движении модуля сбрасывается с рельсов передними колесами без образования пленки и не влияет на характер движения модуля.

4. Наиболее сложным для движения модуля по путевой структуре является случай выпадения мокрого снега и резкого понижения вслед за этим температуры воздуха. Происходит образование ледовой корки под снегом и примерзание последнего к головке рельсов. В этом случае при трогании с места может наблюдаться проскальзывание колес модуля относительно рельсов. Но при осуществлении предварительного разгона по горизонтальной площадке за счет массы модуля и инерции движения модуль устойчиво движется по обледенелым рельсам, раздавливая ледяную корку и сбрасывая ее.

Результаты исследования динамики взаимодействия системы « рельс – колесо» показали, что выбранные геометрические параметры обода и профиля контактной зоны колеса, а также материалы контактной пары « рельс-колесо» обеспечивают устойчивое движение имитатора транспортного модуля во всех допустимых режимах и условиях внешнего климатического воздействия в полноприводном варианте колесной формулы имитатора транспортного модуля.

2.6. Выводы

В результате проведенных испытаний экспериментально показано следующее:

1. Возможно устойчивое движения имитатора транспортного модуля по путевой структуре за счет своей силовой установки.
2. Конструкция оригинального колеса модуля обеспечивает его эффективное сцепление с рельсом путевой структуры.
3. Штатная автомобильная тормозная система модуля обеспечивает эффективное торможение и фиксацию его на путевой структуре как в плановых, так и в экстренных случаях.
4. Атмосферные осадки в виде дождя различной интенсивности и снега не оказывают заметного влияния на характер движения имитатора транспортного модуля по путевой структуре.

3. Экспериментальное исследование параметров путевой структуры при статическом и динамическом нагружении.

3.1. Описание и технические характеристики путевой структуры

Путевая структура является составной частью однопутного стенда с шириной колеи 2.0 м и уклоном пути 1 : 8. Стенд представляет собой стальную предварительно напряженную канатно-балочную структуру на железобетонных фундаментах общим пролетом в осях 120 м. Стенд состоит из следующих основных элементов:

- свайных фундаментов и ростверков;
- анкерных и промежуточных опор;
- въездной и остановочной площадок;
- путевой структуры.

Подробное описание конструкции стенда приведено в [14].

Путевая структура стенда (Рис.3.1.1. , 3.1.2.) состоит (Рис.3.1.3) из поддерживающих канатов (4), стоек рельсов (7), рельсов-струн (5), перемычек между рельсами, растяжек (6), анкерных устройств.

Анкерные устройства смонтированы на анкерных опорах и обеспечивают крепление концов поддерживающих канатов, рельсов-труб и несущих канатов, а также удерживают их в натянутом состоянии в процессе эксплуатации.

Поддерживающие канаты представляют собой стальной оцинкованный канат двойной свивки диаметром 27 мм. Под каждым рельсом уложено в ряд по три каната. Поддерживающие канаты опираются через специальные ложементы на три промежуточные опоры и натянуты на анкерные опоры с суммарным усилием 90.0 тс.

Растяжки поддерживающих канатов изготовлены в виде цельнометаллических (Ф 16-42 мм) регулируемых тяг и обеспечивают нагружение поддерживающих канатов в заданных точках с заданным усилием.

Стойки рельсов - телескопические трубчатые конструкции, обеспечивающие крепление и рихтовку рельсов в процессе монтажа и передают усилия от рельсов на поддерживающие канаты. Стойки смонтированы на поддерживающих канатах с шагом 1.2 м.

Рельс-струна состоит из рельса-трубы, пропущенных внутри него пяти несущих канатов и введенного в зазор между трубой и канатами связующего компонента из цементного раствора со специальным модификатором.

Рельс – труба изготовлен из коррозионно-стойкой стали, имеет наружный диаметр 102 мм и предварительно натянут на анкерные опоры с суммарным усилием 20.0 тс..

Несущие канаты одинарной свивки, выполнены из стальной проволоки. Внешний диаметр канатов составляет 15 мм. Канаты внутри труб натянуты на анкерные опоры с суммарным усилием 50.0 тс.

Перемычки между рельсами изготовлены из толстостенных труб, обеспечивают сохранение в процессе эксплуатации заданную величину колеи, и установлены с шагом 6 м..

Подобная конструкция ПС обеспечивает необходимые параметры по прочности, жесткости и устойчивости.



Рис.3.1.1. Стенд " Путьевая структура"



Рис.3.1,2 Стенд "Путевая структура"

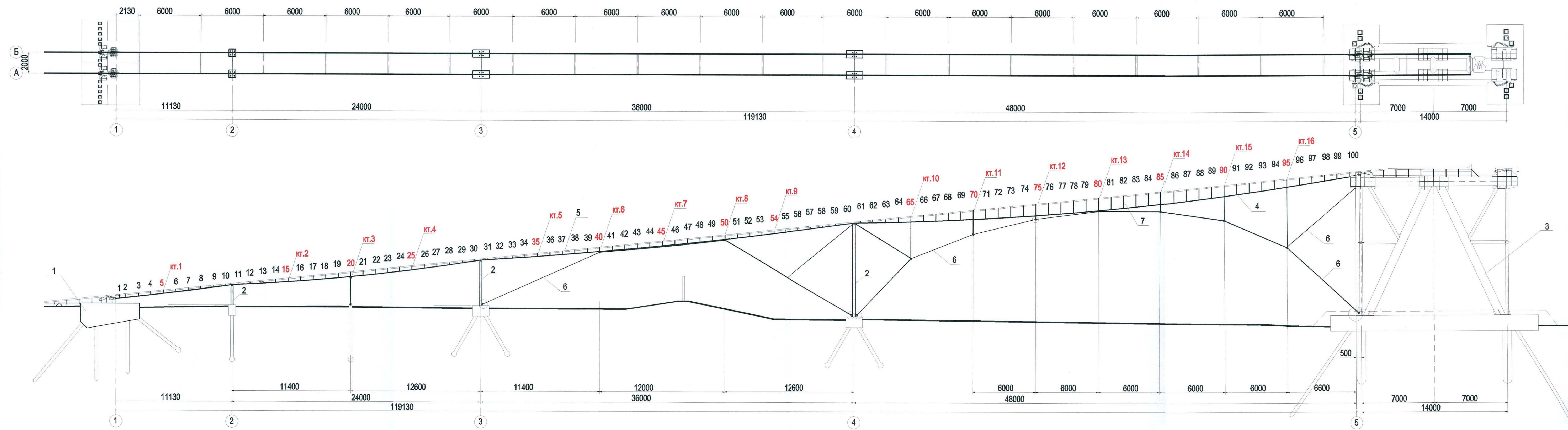


Рис. 3.1.3. Схема путевой структуры с контрольными точками.

- 1 - анкерная опора №1
- 2 - промежуточные опоры
- 3 - анкерная опора №2
- 4 - поддерживающие канаты
- 5 - рельс-труба
- 6 - растяжки
- 7 - стойки

3.2. Методика проведения испытаний

Экспериментальное исследование параметров путевой структуры заключалось в проведении цикла статических и динамических испытаний при внешнем воздействии заданным усилием.

В качестве источника внешнего силового воздействия использовался входящий в состав испытательного стенда имитатор транспортного модуля.

Методика проведения статических испытаний заключалась в следующем. Имитатор транспортного модуля, являясь в данном случае контрольным грузом, равным 6750 кг, перемещался по путевой структуре и фиксировался последовательно в контрольных точках, расположенных в пролетах между анкерными и промежуточными опорами. Фиксация ИМ осуществлялась по совмещению колеса второй по ходу оси с контрольной точкой. После остановки и фиксации модуля в каждой точке осуществлялась выдержка системы в течение 1 – 2 минуты для ее успокоения. После этого производились измерения величины деформации рельсов в каждой контрольной точке. Измерения проводились по методу смещения контрольной метки относительно нулевой линии.

(Рис.3.2.1.) В каждой контрольной точке к поддерживающим канатам укреплялась стальная струна с грузом, выполнявшая роль отвеса. Отвесы устанавливались как под левым, так и под правым рельсами. Между отвесами на стойках, вбитых в землю, натягивалась горизонтальная струна, служившая линией относительного нуля для данной контрольной точки. В ненагруженном состоянии в месте пересечения отвеса с нулевой линией на первом укреплялся контрольный флажок. При появлении деформации в контрольной точке флажок смещался относительно нулевой линии. Величина этого смещения и являлась мерой деформации. Измерения смещения флажка производились металлической линейкой ГОСТ 427-75 с ценой деления 1 мм. Оцененная погрешность измерения в данном случае составляла ± 3 мм. и складывалась из погрешности шкалы линейки, погрешности позиционирования при считывании показаний, конечности толщины линии относительного нуля. В целях максимального исключения влияния внешних факторов на результаты измерений и повышения их достоверности, испытания проводились в безветренную погоду при шестикратном повторении цикла нагружений. В качестве результатов измерений принимались среднеарифметические значения результатов шести измерений в каждой точке. Расчет значений производился по формуле

$$X = (X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6) / 6,$$

где: X_1 - X_6 – результаты единичных измерений.

При статистической обработке данных определялась величина среднеквадратичной относительной погрешности. Расчет производился по приведенной ниже формуле:

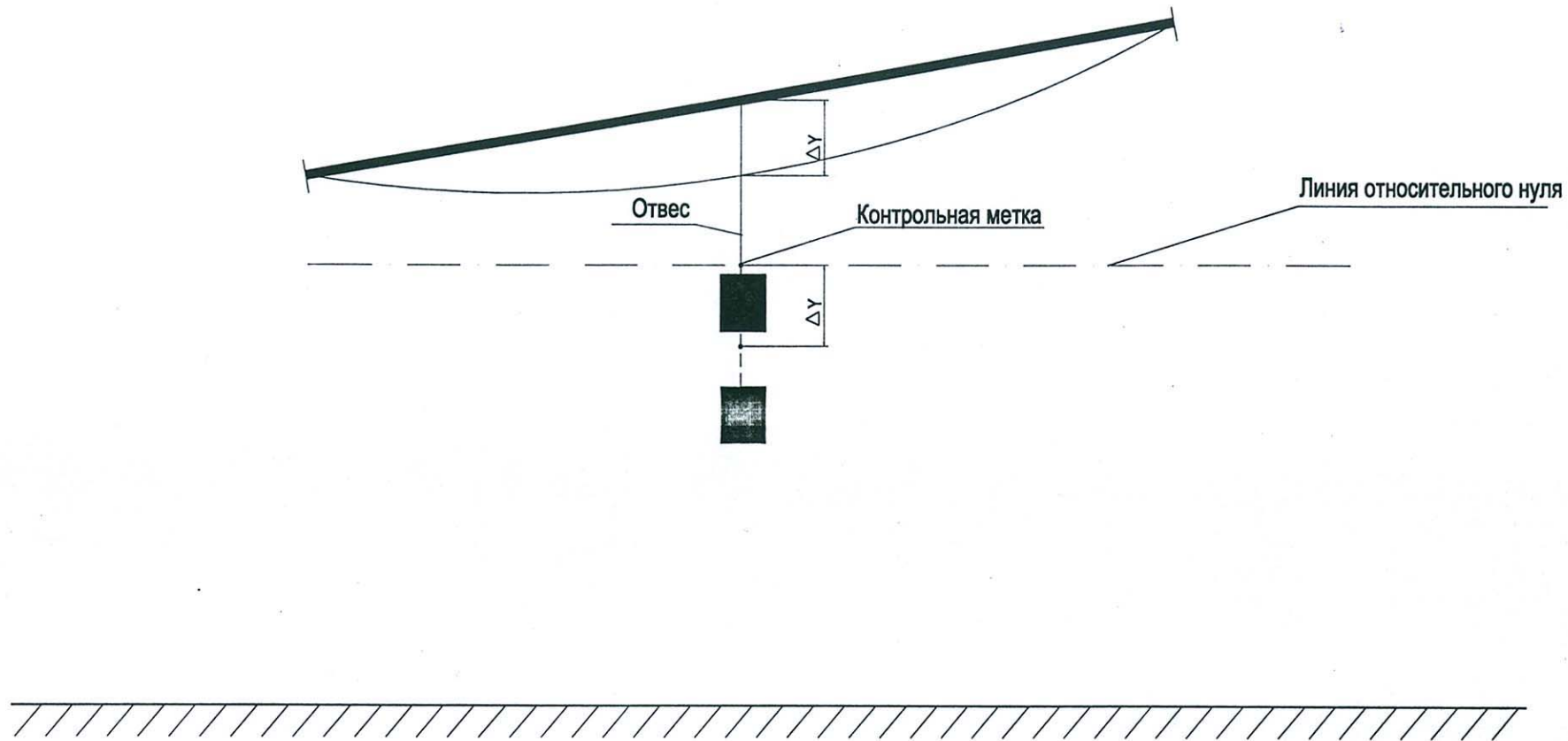
$$\delta = \frac{1}{\bar{X}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^K (\bar{X} - X_i)^2}{30}}$$

Где: \bar{X} – среднеарифметическое значение измеряемой величины;

X - результаты единичных измерений;

K – количество единичных измерений.

Динамические испытания путевой структуры заключались в прогонах имитатора транспортного модуля по путевой структуре с максимально возможной



Условные обозначения:
 ΔY - величина деформации

Рис. 3.2.1. Схема измерения прогибов элементов путевой структуры.

скоростью от первой до второй анкерной опоры. При этом осуществлялись визуальные наблюдения за поведением ее элементов.

Кроме этого в рамках динамических испытаний были проведены измерения отклонения третьей промежуточной опоры от вертикального положения при прохождении модуля по путевой структуре в ее зоне. Измерения проводились с помощью линейки, закрепленной в верхней точке опоры и теодолита, установленного на земле на расстоянии 15 м от опоры. Теодолит в этом случае выполнял роль неподвижного визира. В процессе испытаний фиксировалась величина максимального отклонения верхней точки от исходного положения.

3.3. Результаты проведения статических испытаний путевой структуры.

Статические испытания ПС проводились как в процессе ее монтажа, так и после его завершения.

Первый цикл испытаний был осуществлен на стадии, когда рельсы на опорах были уже смонтированы и натянуты на анкерные опоры, а протяжка несущих канатов внутри рельсов и инъекция связующего раствора еще не осуществлялись. Целью этих испытаний было получение информации о несущей способности отдельных элементов путевой структуры. Испытания проводились на участке между первой анкерной и третьей промежуточной опорами. Производилось измерение величины деформации в контрольных точках КТ1-КТ (Рис.3.1.3.) при температуре окружающего воздуха + 7 град. и полном безветрии.

Результаты измерений приведены в Таблице 3.3.1, а диаграммы деформаций – на Рис. 3.3.1.

Таблица 3.3.1.

Точка приложения силового воздействия	Деформация в контрольных точках, мм			
	КТ 1	КТ 2	КТ 3	КТ 4
КТ 1	+ 27.0	0	0	0
КТ 2	0	+ 42	0	0
КТ 3	0	0	0	+16
КТ 4	0	0	0	+ 47

*) знак "+" означает прогиб, знак "-" означает выгиб.

Испытания показали, что в отсутствии несущих канатов и связующего состава, при обеспечении жесткости только за счет поддерживающих канатов и рельсов-труб, связанных элементами крепления, деформация была максимально для контрольной точки КТ 4 и составила 47 мм.

Второй цикл испытаний проводился после завершения в полном объеме монтажа путевой структуры. Испытания после проведения инъекции связующего состава внутрь рельсов-труб и выдержки по времени, необходимой для набора связующим составом Расчетной механической прочности. Нагрузки проводились последовательно в 16 контрольных точках (Рис 3.1.3.) при температуре окружающего воздуха -13 град и полном безветрии.

Результаты измерений, обработанные по приведенной выше методике приведены в Таблице 3.3.2, а диаграммы деформаций – на Рис.3.3.2., 3.3.3. На диаграммах

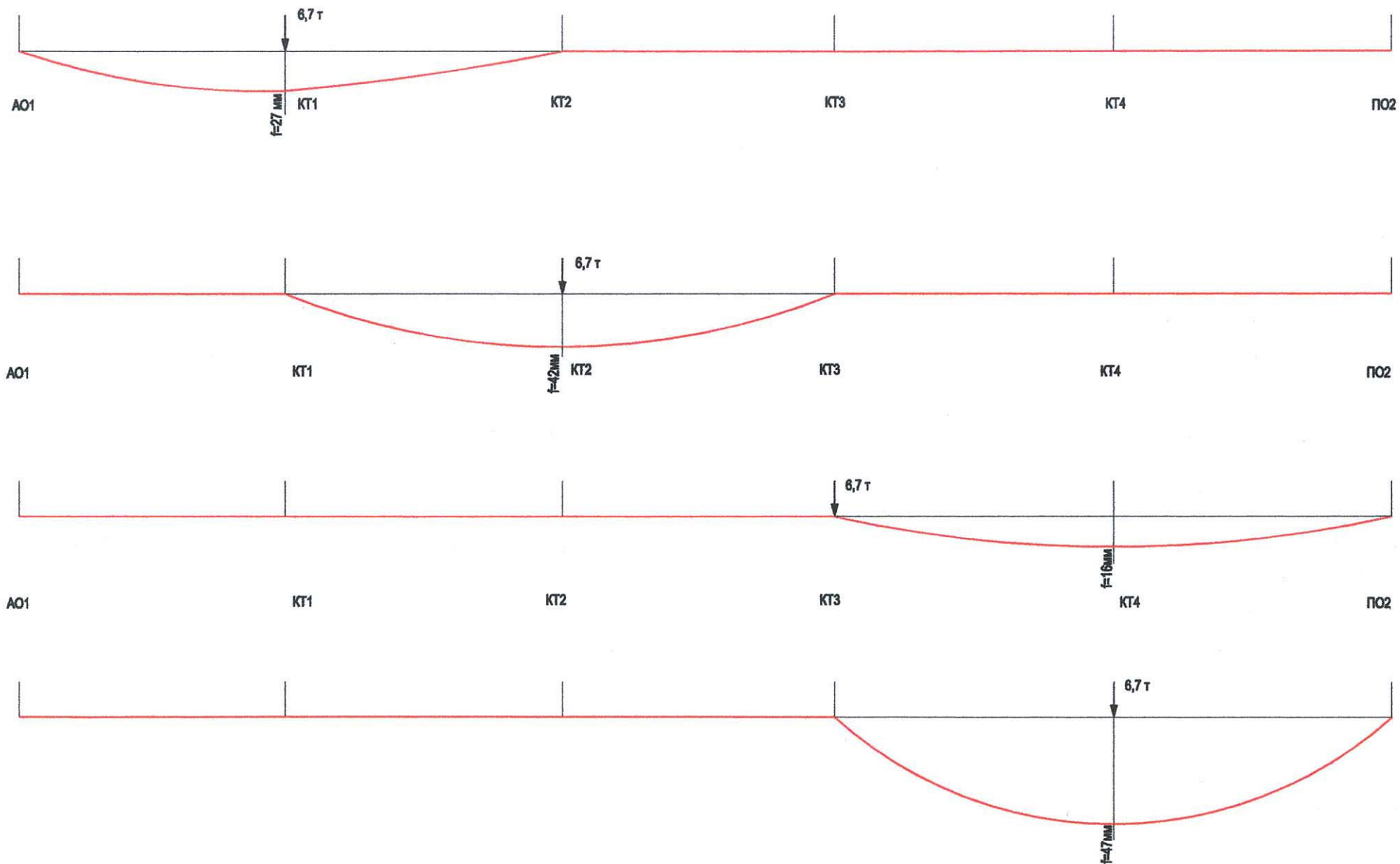


Рис. 4.3.1. Диаграмма изменения величины деформаций элементов ПС при статическом нагружении. Вариант отсутствия внутрирельсовых канатов.

Таблица 3.3.2.

Точка приложения силы	Величина деформации путевой структуры в контрольных точках, мм															
	КТ1	КТ2	КТ3	КТ4	КТ5	КТ6	КТ7	КТ8	КТ9	КТ10	КТ11	КТ12	КТ13	КТ14	КТ15	КТ16
КТ1	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
КТ2	2	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
КТ3	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
КТ4	0	0	0	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
КТ5	0	0	0	0	49	32	10	-8	0	0	0	0	0	0	0	0
КТ6	0	0	0	0	27	44	27	-10	-7	0	0	0	0	0	0	0
КТ7	0	0	0	0	-6	11	43	8	3	0	0	0	0	0	0	0
КТ8	0	0	0	0	-9	-13	6	19	21	0	0	0	0	0	0	0
КТ9	0	0	0	0	-6	-8	0	13	44	0	0	0	0	0	0	0
КТ10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	14	6	0	-3	-3	0
КТ11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	42	26	0	-10	-13	-5
КТ12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	20	47	21	-5	-14	-10
КТ13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-3	13	41	20	-3	-7
КТ14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	-15	-9	12	47	27	4
КТ15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-10	-10	-2	19	41	6
КТ16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-2	0	3	8	6

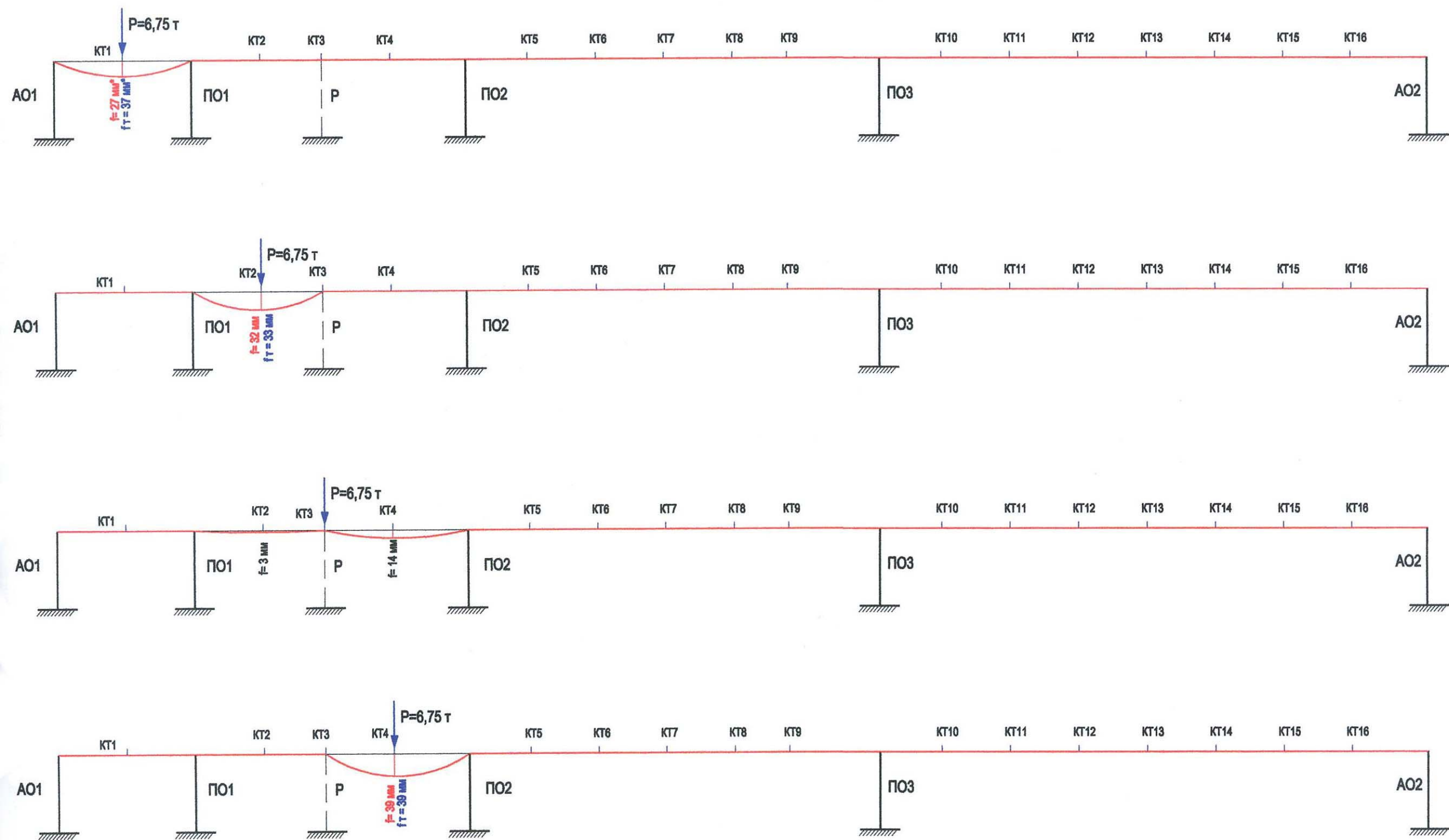


Рис. 3.2. Диаграмма изменения величины деформации элементов ПС при статическом нагружении.

Примечание: * здесь и далее : f - фактическая величина деформаций ПС в контрольной точке

f_T - теоритическая величина деформаций ПС в контрольной точке

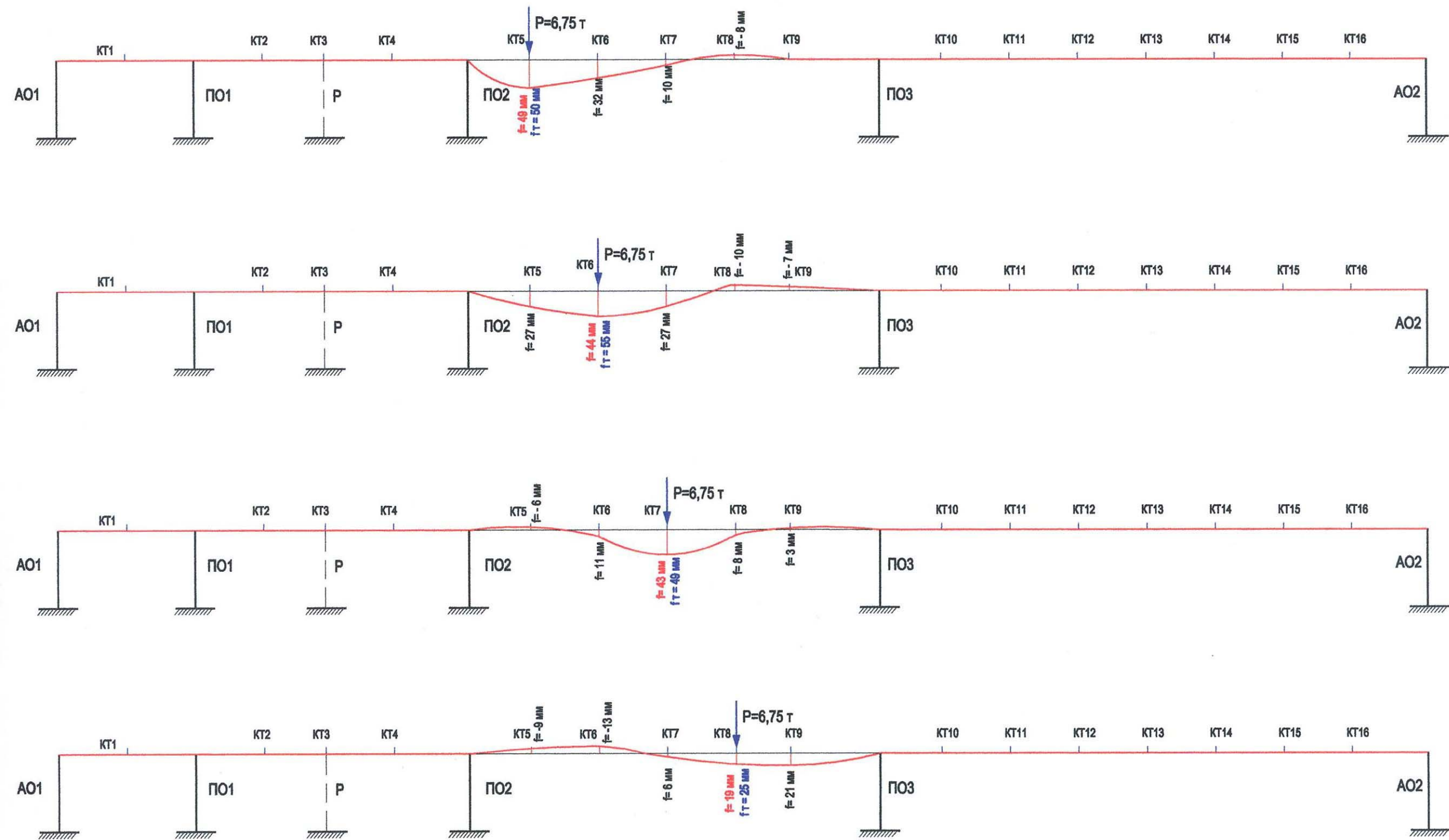


Рис. 3.3.2. Диаграмма изменения величины деформации элементов ПС при статическом нагружении (продолжение).

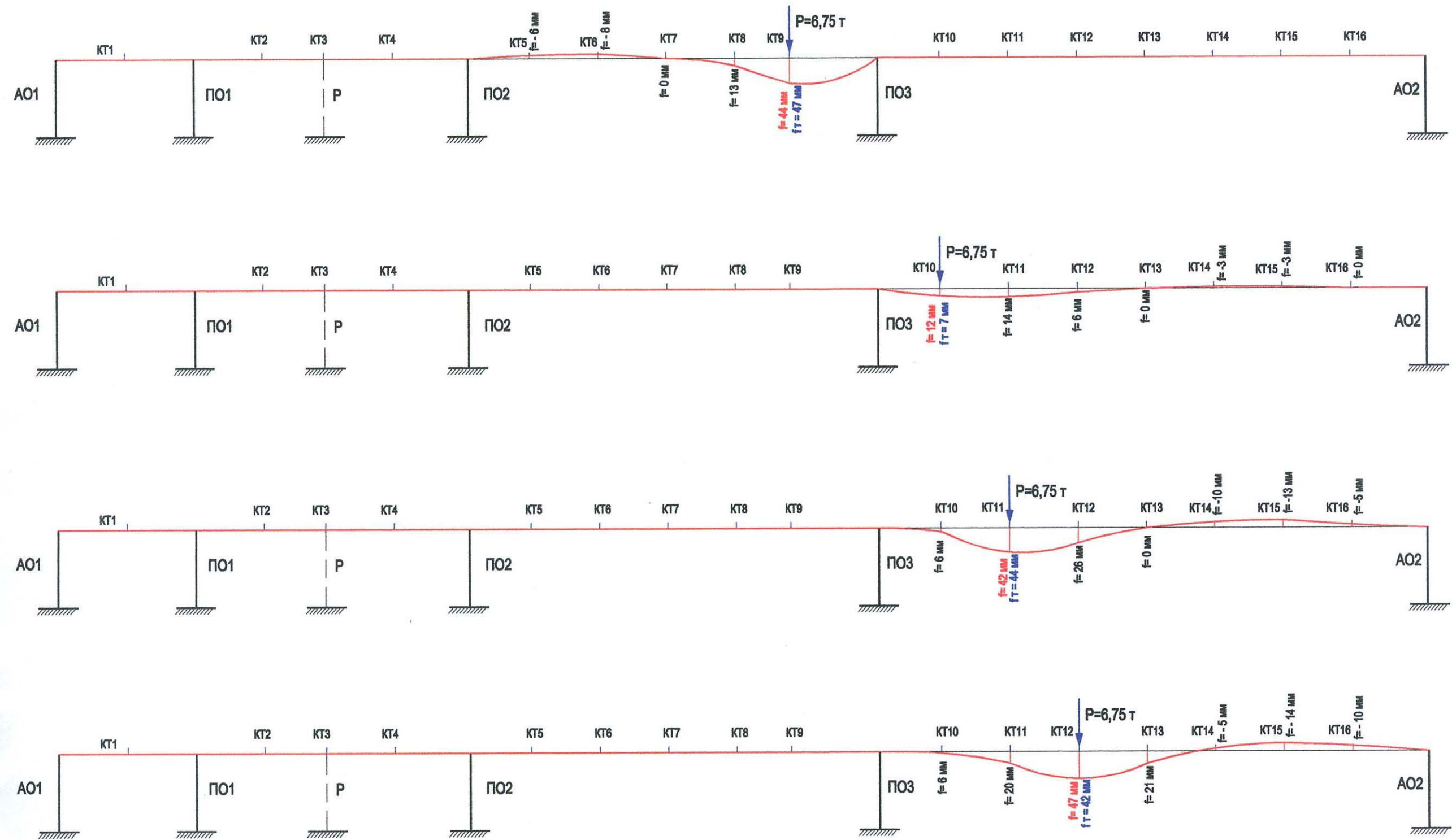


Рис. 33.2. Диаграмма изменения величины деформации элементов ПС при статическом нагружении (продолжение).

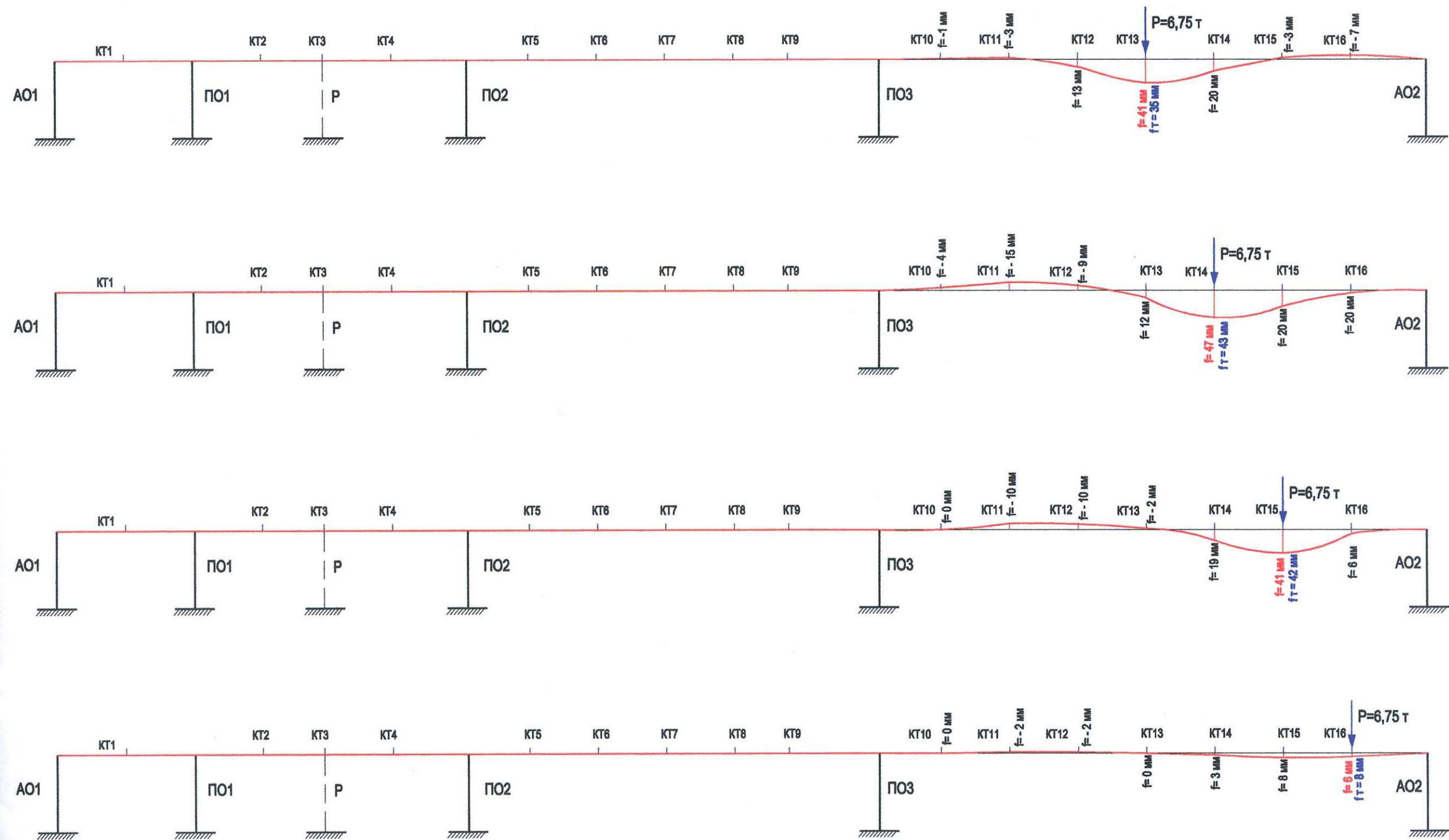


Рис. 3.3.2. Диаграмма изменения величины деформации элементов ПС при статическом нагружении (окончание).

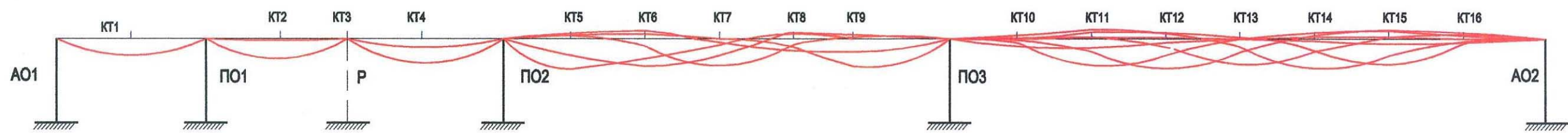


Рис 3.3.3. Диаграмма деформации путевой структуры

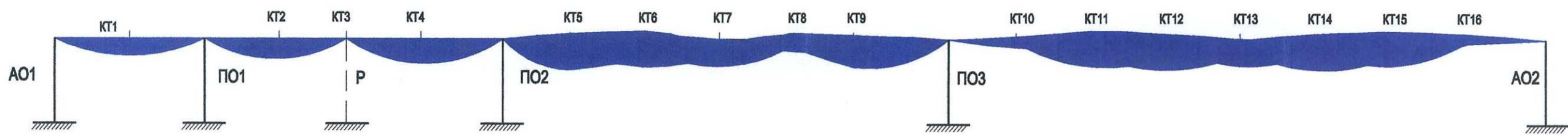


Рис 3.3.4. Диаграмма деформации путевой структуры

деформаций (Рис. 3.3.2.) для сравнения с экспериментальными данными нанесены расчетные значения величины деформаций в точках нагружения. Максимальная величина относительной среднеквадратичной погрешности результатов измерений составила 5%.

Анализ полученных результатов измерений показал следующее:

1. Максимальная деформация наблюдается в КТ5 и составляет +49 мм
2. Экспериментально полученные значения величин деформации в точках приложения силы с точностью до погрешности измерений совпадают с расчетными значениями.
3. Характер деформации путевой структуры (форма линии деформации в зоне приложения силы) полученный экспериментально близок к расчетному.

В ходе проведения испытаний при статическом нагружении производилось наблюдение за поведением элементов конструкции путевой структуры. По результатам наблюдений можно сделать вывод, что все элементы работали в расчетном режиме, а вся путевая структура проявила себя устойчивой.

3.4. Результаты проведения динамических испытаний путевой структуры.

Динамические испытания путевой структуры проводились при движении по ней имитатора транспортного модуля с постоянной скоростью около 20 км/час. Было осуществлено 12 прогонов модуля по всей длине путевой структуры.

При визуальном наблюдении за поведением системы во время движения модуля отмечены незначительная вибрация и локальные боковые смещения модуля в плоскости колеи, что, по всей видимости, вызвано небольшими отклонениями в отдельных точках геометрических характеристик рельсов от расчетного значения. В целом на устойчивость путевой структуры и характер движения модуля это не сказывается.

При движении модуля по путевой структуре во втором и третьем пролетах визуально наблюдалась деформация рельсов перед имитатором модуля в виде перемещающейся волны с выгибом.

Этот эффект коррелирует с результатами измерений, проведенных при статическом нагружении, где также отмечены выгибы в прилегающих к точке нагружения зонах.

По методике, изложенной в п. 3.2. были проведены измерения величины отклонения третьей промежуточной опоры от вертикального положения. Измерения проводились для двух вариантов: первый вариант – гайки крепления поддерживающих канатов к ложементу опоры ослаблены; второй вариант - гайки затянуты до проектного состояния. Измерения показали, что при полностью затянутых гайках крепления отклонений верхней точки стоек опоры практически не обнаружено. При ослабленных гайках крепления было зафиксировано максимальное отклонение верхней точки стоек опоры от исходного положения в размере 65 мм., что объясняется, по все видимости, проскальзыванием поддерживающих канатов относительно ложементов опоры.

3.5. Выводы

По результатам проведенных статических и динамических испытаний путевой структуры можно сделать следующие выводы:

- путевая структура в процессе проведения испытаний проявила себя в целом как жесткая и устойчивая система;
- величины деформаций путевой структуры в контрольных точках, полученные экспериментальным и расчетным путем практически совпадают, что подтверждает

ет правильность выбранных расчетных схем и работоспособность расчетных алгоритмов и программ;

- боковые вибрации, смещения и удары при динамическом воздействии имитатора транспортного модуля на путевую структуру не превышают для выбранного
- режима движения с точки зрения его безопасности величины, и объясняются наличием локальных отклонений линейности рельсов путевой структуры от проектных параметров;

4. Заключение

В ходе работ, проведенных в рамках первого этапа испытаний стенда " Путевая структура", было достигнуто следующее:

1. Экспериментально доказана устойчивость и работоспособность конструкции путевой структуры.
2. Проведены измерения величины деформации путевой структуры при приложении статических нагрузок. Совпадение полученных экспериментальных данных с расчетными показало верность и работоспособность разработанных методов расчета конструкции путевой структуры.
3. Экспериментально подтверждена правильность выбранных размеров, допусков и точности изготовления колес имитатора модуля и рельсов путевой структуры, обеспечивающих гарантированное движение имитатора модуля по путевой структуре при любых погодных условиях.
4. Экспериментально проверена правильность принятых решений по выбору формы обода колеса и профиля рельса. Окончательный выбор геометрических параметров зоны контакта колеса и рельса может быть сделан после проведения испытаний на стенде «колесо-рельс».
5. Подтверждена возможность движения и гарантированного торможения имитатора модуля на горизонтальных и наклонных (с уклоном 10%) участках путевой структуры, в том числе и при атмосферных осадках.
6. Разработан перечень нештатных ситуаций и пути выхода из них. Проведена экспериментальная проверка эффективности принятых мероприятий при возникновении нештатных ситуаций.

Полученные в ходе проведения испытаний данные имеют научную и практическую ценность и могут быть использованы при проектировании различных вариантов струнных транспортных систем. Испытания на стенде будут продолжены в направлении набора статистики экспериментальных данных, построения зависимости изменения основных эксплуатационных параметров от времени и внешних климатических условий, исследования динамических характеристик путевой структуры.

4. Использованная литература и документация.

1. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе /А.Э.Юницкий – Гомель, 1995г. - 337с.
2. СТС- программа в вопросах, ответах и документах. /А.Э.Юницкий.-Москва, 1999-1996гг.
3. Программа работ по подготовке и проведению предварительных испытаний и демонстрационных показов имитатора модуля на стенде «Путевая структура». Утверждена 06.09.01.
4. Технологический план подготовки и проведения предварительных испытаний и демонстрационных показов имитатора модуля на стенде «Путевая структура». Утверждена 06.09.01
5. Положение об испытательной бригаде
Утверждено 06.09.01
6. Инструкция №1 на переоборудование имитатора модуля для проведения предварительных испытаний на стенде – «Путевая структура». Утверждена 26.09.01.
7. Комплект конструкторской документации на аварийно-спасательную лестницу Эскиз № Л.
8. Комплект конструкторской документации на кронштейн крепления поперечной
9. Комплект конструкторской документации на оригинальное колесо ИМ 5111-3100000. рулевой тяги СП-131
10. Руководство по технической эксплуатации автомобиля ЗиЛ-131.
11. Инструкция № 2 по техническому обслуживанию имитатора модуля в период проведения испытаний на стенде – «Путевая структура». Утв. 27.09.01
12. Перечень нештатных ситуаций
Утвержден 26.09.01
13. Программа обучения оператора стенда
Утверждена 26.09.01
14. Стенд для статических и динамических испытаний путевой структуры СКЮ «Юнитран». Рабочий проект.