

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ:

<u>Д.т.н., профессор</u> должн., уч. ст., звание	 подпись	<u>Е.П.Дудкин</u> инициалы, фамилия	<u>Общее руководство</u> номер выполненного раздела
<u>К.т.н., доцент</u> должн., уч. ст., звание	 подпись	<u>Д.В.Козлов</u> инициалы, фамилия	<u>1-5</u> номер выполненного раздела

СОДЕРЖАНИЕ:

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ.....	2
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ОБЪЕКТ ИСПЫТАНИЙ.....	5
2. УСЛОВИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ.....	7
2.1 ЦЕЛЬ ИСПЫТАНИЙ.....	7
2.2 ХАРАКТЕРИСТИКА Ж/Д ПУТИ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ УЧАСТКЕ.....	7
2.3 ХАРАКТЕРИСТИКИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.....	7
2.4 МЕТОД ИСПЫТАНИЙ.....	7
2.5 СРЕДСТВА ИСПЫТАНИЙ.....	8
2.6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ.....	10
2.7 РЕЖИМ ИСПЫТАНИЙ.....	10
3. ОБРАБОТКА ДАННЫХ. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ.....	11
3.1 ТАРИРОВКА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.....	11
3.2 РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ.....	11
4. ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ.....	14
5. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ.....	15
5.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ КОНТРЕЛЬСА ПРИ ПРОХОДЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА.....	15
5.2 ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ ПРИКРЕПИТЕЛЯ КОНТРЕЛЬСА (УПОРКИ).....	15
5.3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ КОНТРЕЛЬСОВЫХ ЖЕЛОБОВ.....	17
ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ.....	19
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	20
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ.....	21
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ГРАФИКИ ПОКАЗАНИЙ ТЕНЗОМЕТРОВ.....	22
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 ФОТОМАТЕРИАЛЫ.....	36

Введение

Железнодорожные пути промышленного транспорта имеют ряд конструктивных и эксплуатационных особенностей, среди которых – большое количество кривых малых радиусов. В кривых малых радиусов наряду с вертикальной составляющей колесной нагрузки возникают значительные горизонтальные, перпендикулярные оси пути силы. Под действием этих сил нарушается стабильность ширины колеи, появляются упругие отжатия рельсов, происходит интенсивный износ рельсов и колес, возможны сходы подвижного состава. Поэтому возникает необходимость усиления рельсошпальной решетки в кривых малых радиусов.

Одним из наиболее эффективных мероприятий по повышению стабильности пути является установка контррельса по внутренней нити. Согласно СНиП 32-01-95 в кривых радиусом менее 250 метров установка контррельсов по внутренней нити является обязательной.

Положительное влияние установки испытываемого устройства, включающего контррельс, на безопасность вписывания экипажей в кривые малых радиусов можно оценить по снижению величины упругого отжатия внешнего рельса, по снижению напряжений в подошве наружного рельса, а также по снижению величины коэффициента f , отражающего неравномерность распределения напряжений растяжения в подошве рельса.

1. Объект испытаний

Наименование объекта – «Устройство для предотвращения схода транспортного средства на криволинейных участках железнодорожного пути» (далее – «устройство», рис.1). **Патент** на полезную модель №93813. Устройство включает в себя рельс, контррельс, установленный сбоку рельса, подкладку, установленную под рельсом и контррельсом, средство крепления контррельса. Средство крепления контррельса закреплено на размещенной под подкладкой удлиненной пластине и содержит опорную стойку с ребрами жесткости, соединенную с шейкой установленного вертикально контррельса разъемным соединением. Подкладка в месте установки рельса выполнена с уклоном в сторону контррельса. Контррельс выполнен симметричным относительно его вертикальной оси, а его подошва имеет ширину, не превышающую ширины головки контррельса. Средство крепления контррельса устанавливается на каждой второй (при радиусе кривой 200 м и менее) или на каждой четвертой (при радиусе кривой более 200 м) шпале участка железнодорожного пути.

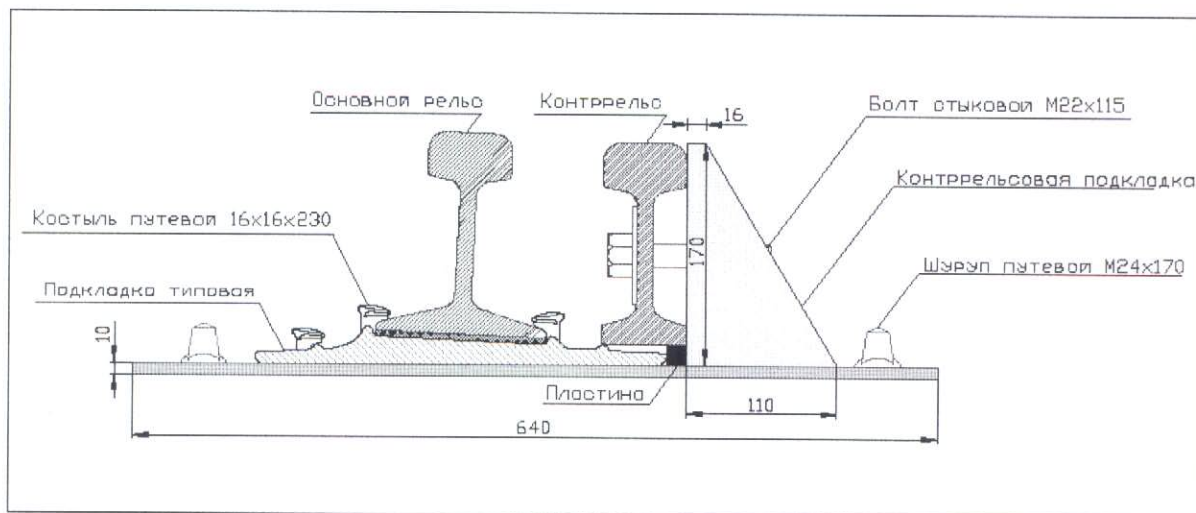


Рис.1. Устройство для предотвращения схода транспортного средства на криволинейном участке железнодорожного пути.

Условия предъявления объекта на испытания: порядок отбора – случайный выбор; количество изделий – 1; полным комплексом с установкой в путь; документальное сопровождение при предъявлении не

требуется.

Объект испытывается на соответствие ТУ 0920-001-30664654-2012
«Устройство для предотвращения схода транспортного средства на
криволинейных участках железнодорожного пути»

Испытания проведены в соответствии с программой и методикой
испытаний устройства для предотвращения схода транспортного средства
на криволинейных участках железнодорожного пути (ПМ, ПГУПС, 2012).

2. Условия, методы и средства проведения испытаний.

2.1. Цель испытаний.

Целью испытаний является определение эффективности устройства по снижению влияния боковых сил на упорный (внешний) рельс кривой малого радиуса.

2.2. Характеристика железнодорожного пути на экспериментальном участке.

Железнодорожный путь звеньевой; кривая радиусом 160 м;
рельсы Р-65; ширина колеи 1540 мм;
шпалы деревянные; крепления костыльные; эпюра шпал 1840 шт./км
балласт щебеночный

2.3. Характеристики окружающей среды.

Испытания проводились в апреле 2013 года, в дневное время суток.

Температура воздуха – 5 – 7 °С. Влажность воздуха – 75 – 80 %.

Атмосферное давление – 750 – 760 мм рт. ст. Атмосферные осадки не наблюдались.

2.4. Метод испытаний.

Механические напряжения и перемещения с высокой точностью измеряются электротензометрическим методом.

Первичные датчики – тензометры, или проволочные датчики сопротивления, преобразующие механические напряжения и перемещения в электрический ток, включаются в мостовую неравновесную схему (рис. 2)

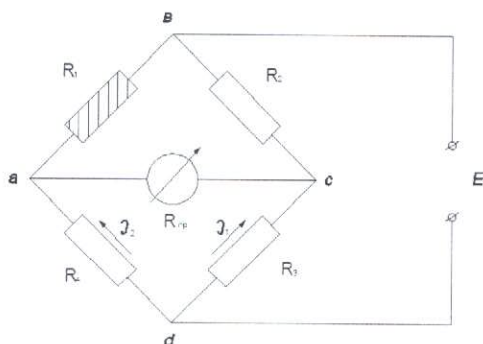


Рис.2. Мостовая неравновесная схема включения тензометрических датчиков.

В неравновесной мостовой схеме реализуется метод непосредственного измерения тока, протекающего через измерительный прибор в случае нарушения равновесия мостовой схемы. При равновесии мостовой схемы потенциалы точек *a* и *c* одинаковы. На основании закона Кирхгофа для замкнутых контуров можно записать

$$I_{ac} = 0, \text{ если } R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4.$$

Это равенство есть условие равновесия мостовой схемы. При изменении сопротивления одного из плеч мостовой схемы равновесие схемы нарушается, и в диагонали *ac* появляется ток, при этом его величина пропорциональна изменению сопротивления датчика.

2.5. Средства испытаний.

- система тензометрического контроля мостовых и инженерных сооружений СТКМ-ИС;
- первичные датчики – тензометры (проволочные датчики сопротивлением 100 Ом);
- электропрогибомер (рис. 3), жестко закрепленный основанием по схеме на рис. 4;
- балка равного сопротивления для тарировки системы;
- ЭВМ для обработки данных.

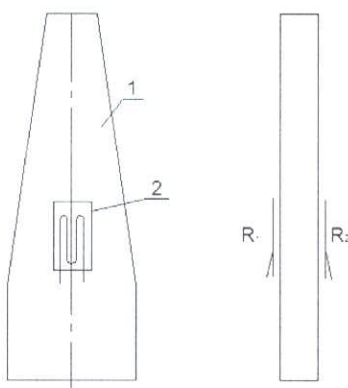


Рис. 3. Электропрогибомер: 1 – упругая металлическая пластина; 2 – тензометр; R_1 , R_2 – сопротивления тензометров

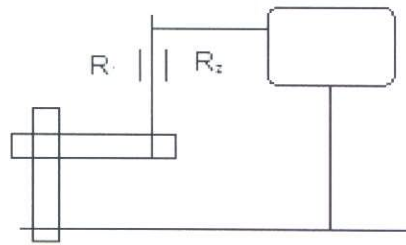


Рис. 4. Схема установки электропрогибомера.

Для измерения упругого отжатия рельса применяется электропрогибомер, представляющий собой балку равного сопротивления 1 с наклеенными на ней тензодатчиками 2 (рис. 3). Для увеличения чувствительности рабочие датчики R_1 и R_2 наклеены на балку с двух сторон и, так как при изгибе они работают с противоположными знаками, включаются в соседние плечи неравновесной мостовой схемы, где R_3 и R_4 – постоянные резисторы. Тарировка данной системы проводится с помощью щупа известной толщины.

Кромочные напряжения измеряются с помощью тензометров, наклеенных непосредственно на подошву рельса. Тарировка этой системы проводится с помощью отдельной тарировочной балки равного сопротивления с наклеенными аналогичными тензометрами, включаемыми в соседние по отношению к рабочим датчикам плечи мостовых схем, и груза известного веса, позволяющего расчетным путем определить напряжение в тарировочной балке:

$$\sigma_T = M/W \text{ (Па), где}$$

$$M = P \cdot l_T \text{ (Н}\cdot\text{м) - момент веса груза; где}$$

$$P \text{ – вес груза, Н;}$$

l_T - расстояние от точки приложения веса груза до точки закрепления тарировочной балки, м.

$$W = b_T h_T^2 / 6, \text{ (м}^3\text{) – момент сопротивления тарировочной балки; где}$$

$$b_T \text{ - ширина тарировочной балки в месте закрепления, м;}$$

$$h_T \text{ - толщина тарировочной балки, м.}$$

Регистрация отжатий рельса и напряжений в подошве рельса, возникающих в результате прохода подвижного состава по кривой, проводилась с помощью системы тензометрического контроля мостовых и инженерных сооружений СТКМ-ИС с дальнейшей обработкой данных на персональном компьютере.

2.6. Порядок проведения испытаний.

1. Установка тензометров на кромки подошвы упорного рельса.

Установка электропрогибомера.

2. Тарировка системы тензометрического контроля.
3. Проход маневрового локомотива по ж.д. пути в месте испытаний при отсутствии средств усиления рельсошпальной решетки.
Регистрация величин упругого отжатия упорного рельса и кромочных напряжений в подошве упорного рельса.
4. Установка в кривую испытываемого устройства с максимальной шириной желоба (зазора между рельсом и контррельсом).
5. Повтор испытания.
6. Установка в кривую испытываемого устройства с оптимальной шириной желоба.
7. Повтор испытания.
8. Камеральная обработка данных испытаний на ЭВМ.

2.7. Режим испытаний.

Подвижной состав – маневровый локомотив ТГМ-4; четырехосный, массой 80 т. Скорость проходов – 12 км/ч. Количество проходов – 3 для каждого случая; направление проходов – одинаковое для каждого случая.

3. Обработка данных. Результаты испытаний.

3.1. Тарировка измерительных систем.

Тарировка системы измерения упругого отжатия рельса в целях повышения точности проводилась с помощью набора щупов общей толщиной 1 мм, 1,5 мм, 3 мм. Графики изменения сигналов тензодатчиков (далее – «графики») представлены в приложении 2 (далее – «П2»), рис. 5

Тарировка системы измерения напряжений в подошве рельса проводилась с помощью тарировочной балки равного сопротивления согласно п. 2.5 настоящего отчета.

Напряжение в тарировочной балке:

$$\sigma_T = M/W \text{ (кгс/см}^2\text{)}, \text{ где}$$

$$M = P \cdot l_T \text{ (кгс}\cdot\text{см)} - \text{ момент веса груза; где}$$

P – вес груза, 2 и 4 кгс;

l_T – расстояние от точки приложения веса груза до точки закрепления тарировочной балки, 22 см.

$$W = b_T h_T^2 / 6, \text{ (см}^3\text{)} - \text{ момент сопротивления тарировочной балки; где}$$

b_T – ширина тарировочной балки в месте закрепления, 5,9 см;

h_T – толщина тарировочной балки, 0,3 см.

При весе тарировочного груза 2 кгс: $\sigma_T = 497 \text{ кгс/см}^2$,

При весе тарировочного груза 4 кгс: $\sigma_T = 994 \text{ кгс/см}^2$.

Тарировочные графики представлены в П2, рис. 6,7

3.2. Результаты испытаний.

Определение величин отжатия рельса (в мм), а также величин напряжений в подошве рельса в результате прохода подвижного состава проводилось путем сравнения величин отклонений сигналов тензодатчиков от «0» при проходах и тарировке.

Коэффициент f , отражающий неравномерность распределения напряжений растяжения в подошве рельса, рассчитывался по формуле:

$$f = 2\sigma_{\text{н}} / (\sigma_{\text{н}} + \sigma_{\text{в}}), \text{ где}$$

$\sigma_{\text{н}}$ – напряжение в наружной грани подошвы упорного рельса

$\sigma_{\text{в}}$ – напряжение во внутренней грани подошвы упорного рельса

Результаты испытаний сведены в таблицы 1,2. Графики изменений сигналов тензодатчиков при проходах подвижного состава приведены в П2, рис.8-30.

Измерения отжатия упорного рельса кривой

Таблица 1

Условия испытания	№№ опытов; величина отжатия, мм			Среднее значение величины отжатия, мм	% снижения величины отжатия относительно испытания без устройства
	1	2	3		
Без устройства	1,4	2	2	1,8	-
С устройством; ширина контррельсового желоба 70 мм	1,2	0,9	1,2	1,1	50
С устройством; ширина контррельсового желоба 65 мм	0,85	0,6	0,6	0,68	62

Измерения напряжений в подошве упорного рельса

Таблица 2

Условия испытания	№№ опытов; напряжения, кгс/см ² , в наружной/внутренней грани подошвы			Среднее значение напряжений в наружной/вн утренней грани	% снижения напряжений в наружной грани относительн о испытания без устройства	Кoeff ициент f	% сниж ения коэф фици ента f
	1	2	3				
Без устройства	742/439	783/348	779/445	768/411	-	1,3	-
С устройством; ширина контррельсо- вого желоба 70 мм	378/344	639/350	539/347	519/347	32	1,2	7,7
С устройством; ширина контррельсо- вого желоба 65 мм	406/350	519/340	439/345	455/345	41	1,14	12,3

4. Выводы по результатам испытаний.

1. Применение устройства в кривой малого радиуса позволяет снизить упругое отжатие упорного (внешнего) рельса при проходе тележек подвижного состава по контрольному участку в среднем не менее чем на 50 %.
2. Применение устройства в кривой малого радиуса приводит к существенному снижению напряжений во внешней грани подошвы упорного рельса (не менее чем на 30 %), а также к более равномерному распределению напряжений растяжения в подошве при нагрузке от подвижного состава.
3. Испытания показали соответствие устройства ТУ 0920-001-30664654-2012 в части нормируемых показателей снижения бокового воздействия подвижного состава на упорную нить кривой.
4. Уменьшение желоба контррельса устройства приводит к дальнейшему перераспределению бокового воздействия подвижного состава на путь от упорного рельса кривой к контррельсу, что благоприятно сказывается на стабильности ширины колеи в кривой и способствует более безопасному вписыванию подвижного состава в кривую малого радиуса.

5. Расчетная часть.

5.1. Определение прочности контррельса при проходе подвижного состава.

Расчетная схема принята в виде балки на двух опорах (рис. 5.1). P - сила воздействия гребня колеса подвижного состава. При эюре шпал 1840-2000 шт/км пролет шпал равен 0,5-0,55 м, крепление контррельса на шпалах практикуется через одну, поэтому величина l принята 1,0 м. Согласно экспериментальным данным [1], контррельс воспринимает на себя 15 – 16 кН направляющего усилия.

Напряжения, возникающие в контррельсе в результате прохода подвижного состава:

$$\sigma = M/W, \text{ где}$$

M – изгибающий момент; $M = P \cdot 0,51 = 80000 \text{ кгс} \cdot \text{см}$;

W – момент сопротивления относительно боковой грани подошвы,
 $W = 50 \text{ см}^3$;

Таким образом, напряжения составят 1600 кгс/см^2 , что в пределах допустимого для рельсовой стали [3].

5.2. Проверка прочности прикрепителя контррельса (упорки).

Расчет упорки произведен как консольной балки переменного сечения (рис.5.2). За расчетное принято сечение $A-A$, расположенное в зоне болтового отверстия с плечом воздействия силы от гребня 7,5 см.

Расчетные характеристики сечения:

J_y - момент инерции расчетного сечения относительно вертикальной оси Y , равен 300 см^4 ;

W_y - момент сопротивления относительно оси Y – 60 см^3 ;

h - плечо воздействия боковой силы - 7,5 см.

Допускаемая сила P составит 12800 кгс, что много больше боковых сил, воспринимаемых контррельсом.

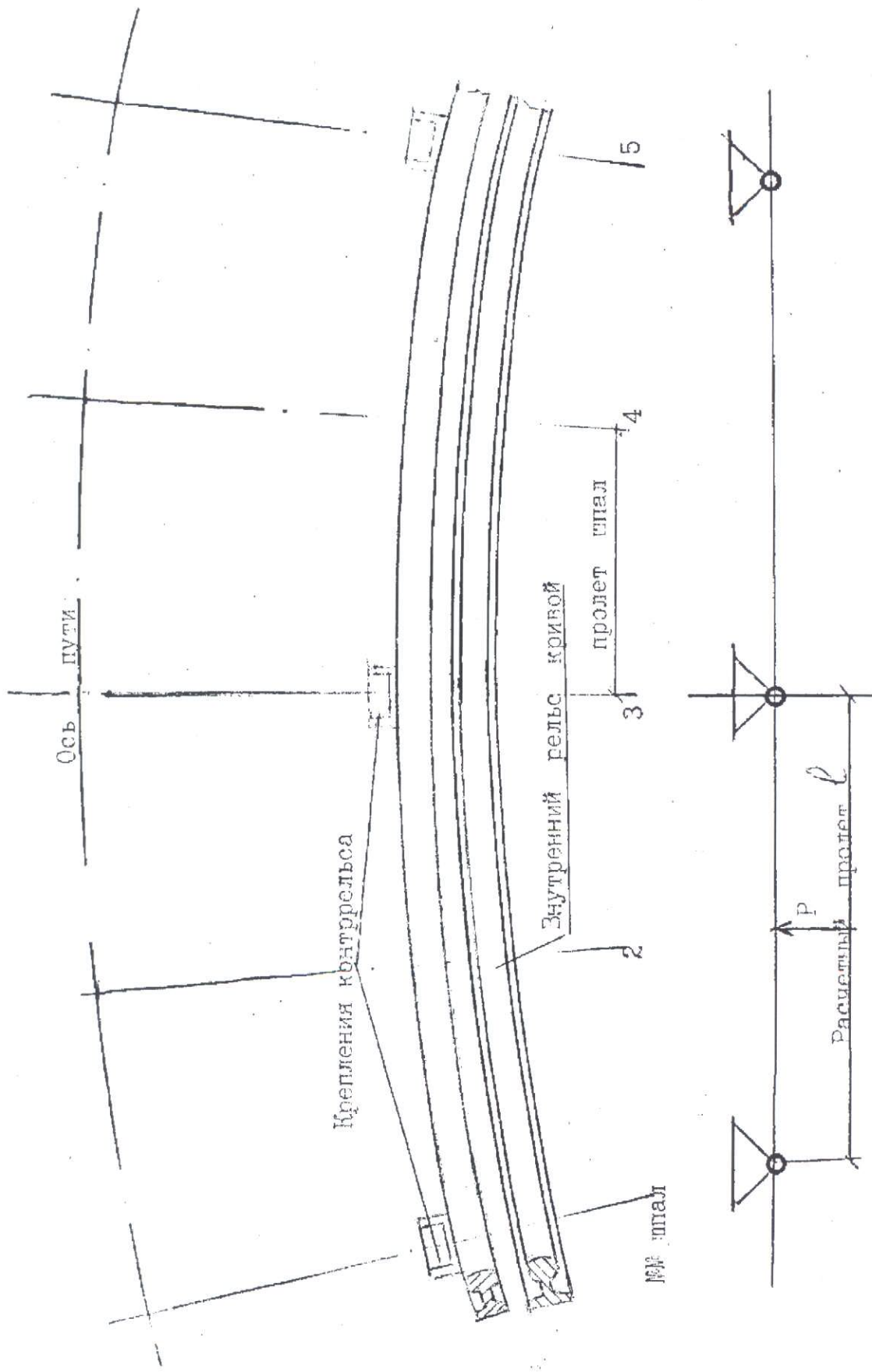


Рис.5.1.1. Схема для расчета контррельса в кривой малого радиуса

5.3. Определение ширины контррельсовых желобов.

Ширину контррельсового желоба устанавливают настолько большой, чтобы в нем могли разместиться без заклинивания гребни всех колес экипажа, катящихся по внутренней нити [2]. Однако, при этом ширину желоба предусматривают настолько малой, чтобы колесо, катящееся по наружной нити, прижималось своим гребнем к этой нити с меньшим усилием за счет передачи части бокового воздействия внутренней поверхностью гребня колеса, катящегося по внутренней нити, на контррельс. Эти требования определяют не только ширину контррельсового желоба, но и допуски по этой ширине. Для большинства типов подвижного состава рекомендуемые значения ширины контррельсового желоба приведены в таблице в зависимости от радиуса кривой и ширины колеи. Исключение составляют специальные типы длиннобазного подвижного состава, для которых вопрос укладки верхнего строения пути должен решаться индивидуально.

Ширина контррельсовых желобов.

Таблица 3

Радиус кривой, м	Ширина колеи, мм	Ширина контррельсовых желобов, мм		
		минимальная	рекомендуемая	максимальная
Менее 150	1546	64	70	85
От 150 до 200	1540	57	65	81
Св. 200 до 250	1535	49	55	73

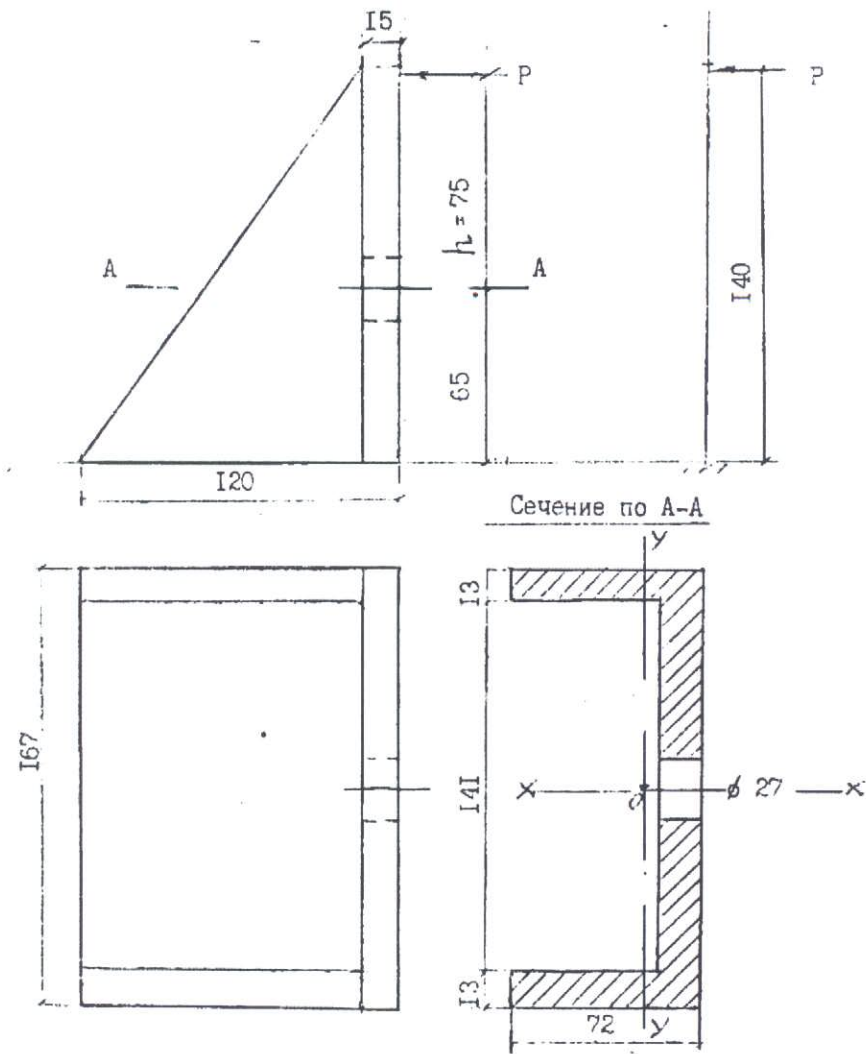


Рис.5.2. Расчетная схема для упорки контррельса в кривой малого радиуса.

Выводы по работе.

1. Применение испытанного устройства в кривой малого радиуса позволяет снизить упругое отжатие упорного (внешнего) рельса при проходе тележек подвижного состава по контрольному участку в среднем не менее чем на 50 %. Применение устройства в кривой малого радиуса приводит к существенному снижению напряжений во внешней грани подошвы упорного рельса (не менее чем на 30 %), а также к более равномерному распределению напряжений растяжения в подошве при нагрузке от подвижного состава.

2. Испытания показали соответствие устройства ТУ 0920-001-30664654-2012 в части нормируемых показателей снижения бокового воздействия подвижного состава на упорную нить кривой.

3. Уменьшение желоба контррельса устройства приводит к дальнейшему перераспределению бокового воздействия подвижного состава на путь от упорного рельса кривой к контррельсу, что благоприятно сказывается на стабильности ширины колеи в кривой и способствует более безопасному вписыванию подвижного состава в кривую малого радиуса.

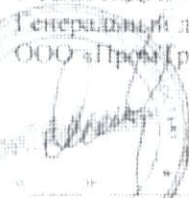
4. Расчеты подтвердили достаточную прочность конструкции испытанного устройства при воздействии подвижного состава.

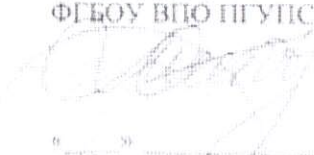
5. Конструкция устройства позволяет варьировать ширину контррельсового желоба с достижением оптимальной величины в зависимости от радиуса кривой.

6. Применение устройства способствует уменьшению износа гребней колес при вписывании в кривую вследствие снижения боковых сил взаимодействия колесной пары и упорного рельса. Для снижения износа внутренней поверхности гребня колеса при контакте с контррельсом рекомендуется применять смазку на поверхности контакта.

Список литературы

1. Фрадкин Л.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава в кривых малых радиусов при усилении их контррельсами. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Ленинград, 1990.
2. Пособие по проектированию сооружений и устройств промышленного железнодорожного транспорта (к СНиП 2.05.07-85). Союзпромтрансниипроект, вып. 5694, Москва, 1988.
3. Справочник инженера-путейца. Под. ред. В.В.Басилова и М.А.Чернышева. Т.1, М., «Транспорт», 1972.

УТВЕРЖДАЮ (Заказчик):
Генеральный директор
ООО «ПромГрансКомплект»

Р.Ф. Ялышев
_____ 2012 г.

СОГЛАСОВАНО (Исполнитель):
Проректор по научной работе
ФГБОУ ВПО ИГУПС

Т.С. Титова
_____ 2012 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

на выполнение НИР по теме:

«Выполнение опытно-конструкторских работ с проведением испытаний устройства для предотвращения схода транспортного средства на криволинейном участке железнодорожного пути».

1. Заказчик: ООО «ПромГрансКомплект».
2. Исполнитель: ФГБОУ ВПО ИГУПС, кафедра «Промышленный и городской транспорт».
3. Содержание работ:
 - 3.1. Проведение тензометрических испытаний устройства для предотвращения схода транспортного средства на криволинейном участке железнодорожного пути (далее – «устройства») с определением упругого отжатия упорного рельса и напряжений в подошве упорного рельса при максимальной ширине желоба контррельса устройства.
 - 3.2. То же, при оптимальной ширине желоба контррельса устройства.
 - 3.3. Оценка эффективности применения устройства в кривой малого радиуса.
 - 3.4. Оформление отчета о проведении испытаний с расчетной частью.

Научный руководитель темы  Д.В. Козлов
_____ подпись

«14» сентября 2012г.

Графики показаний тензодатчиков

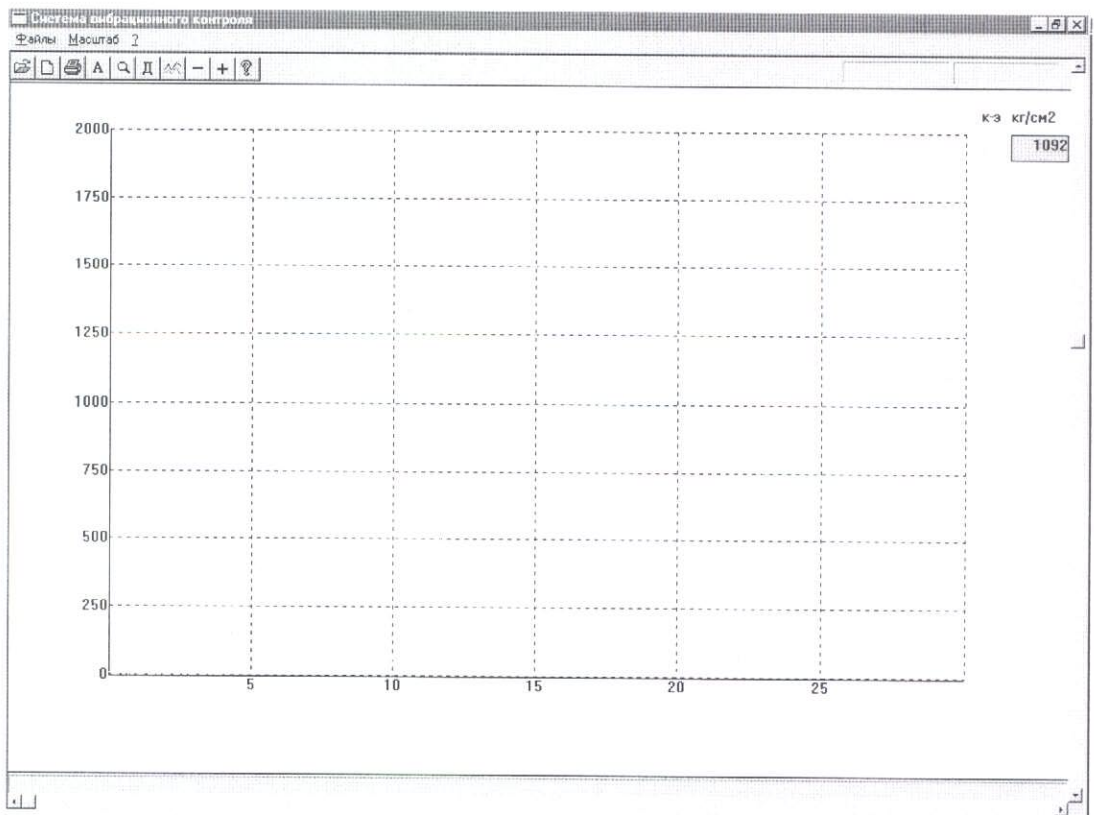


Рис. 5. Тарировка системы измерения упругого отжатия.



Рис. 6. Тарировка системы измерения напряжений. 2 кгс.



Рис. 7. Тарировка системы измерения напряжений. 4 кгс.

Графики регистрации отжатия рельса и напряжений в подошве без установки устройства показаны на рис. 8-16

Графики регистрации отжатия рельса и напряжений в подошве с установкой контррельса (размер желоба 170 мм) показаны на рис. 17-25

Графики регистрации отжатия рельса и напряжений в подошве с установкой контррельса (размер желоба 165 мм) показаны на рис. 25-30

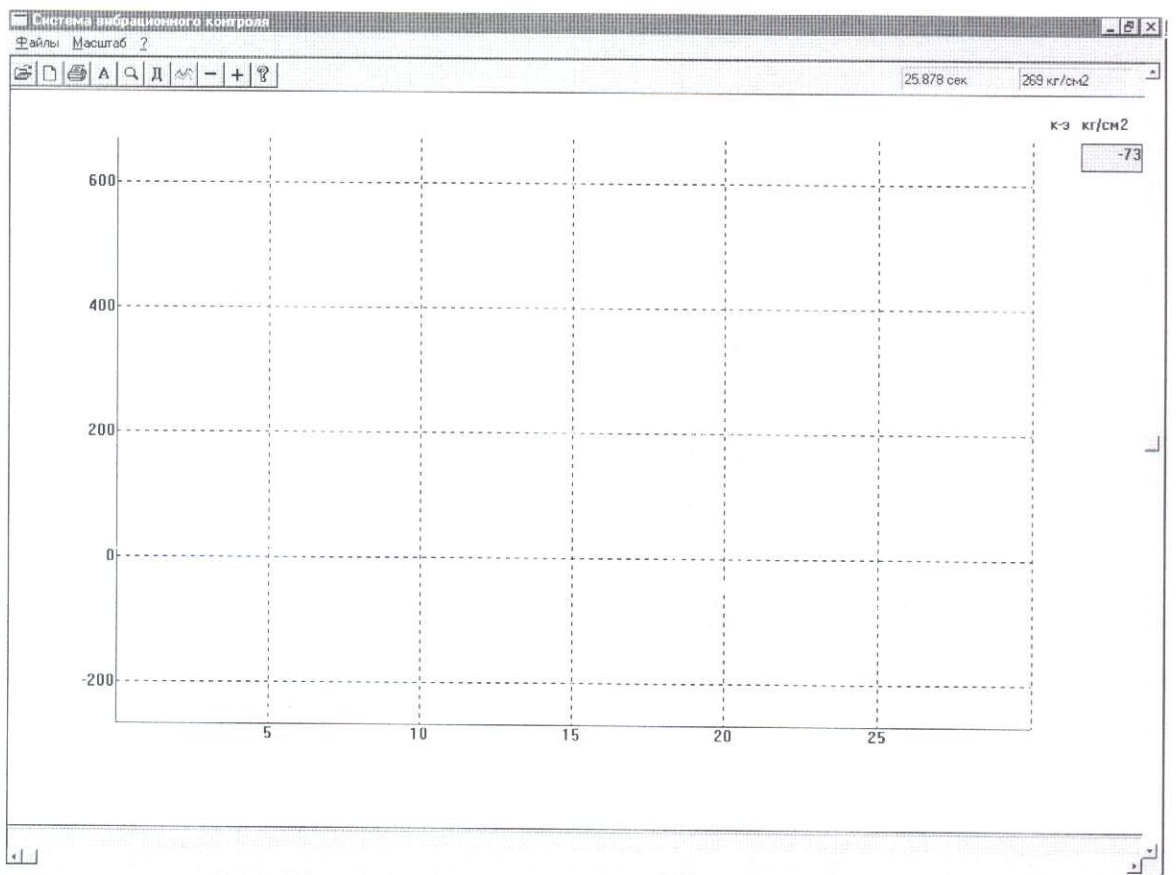


Рис. 8. ОПЫТ 1.



Рис. 9. ОПЫТ 2.

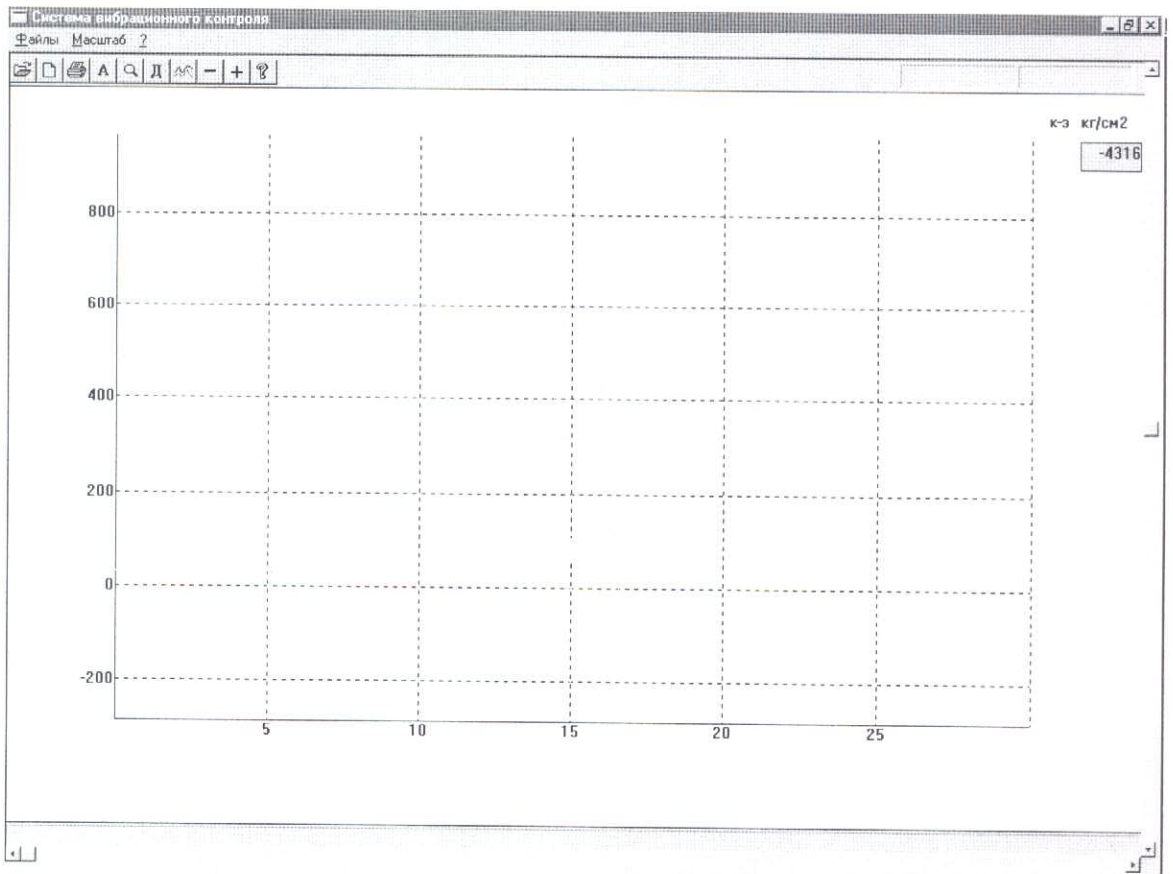


Рис. 10. ОПЫТ 3.

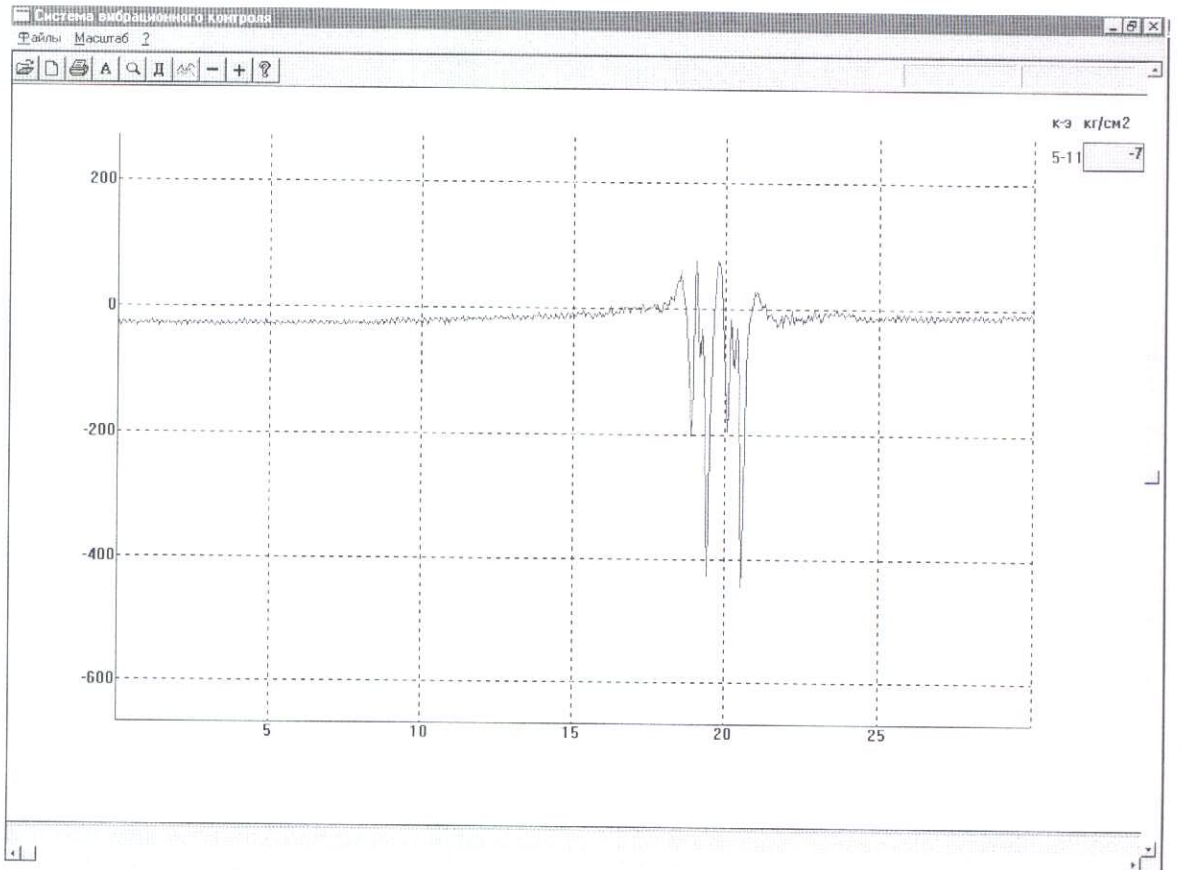


Рис. 11. ОПЫТ 1.



Рис. 12. ОПЫТ 2.

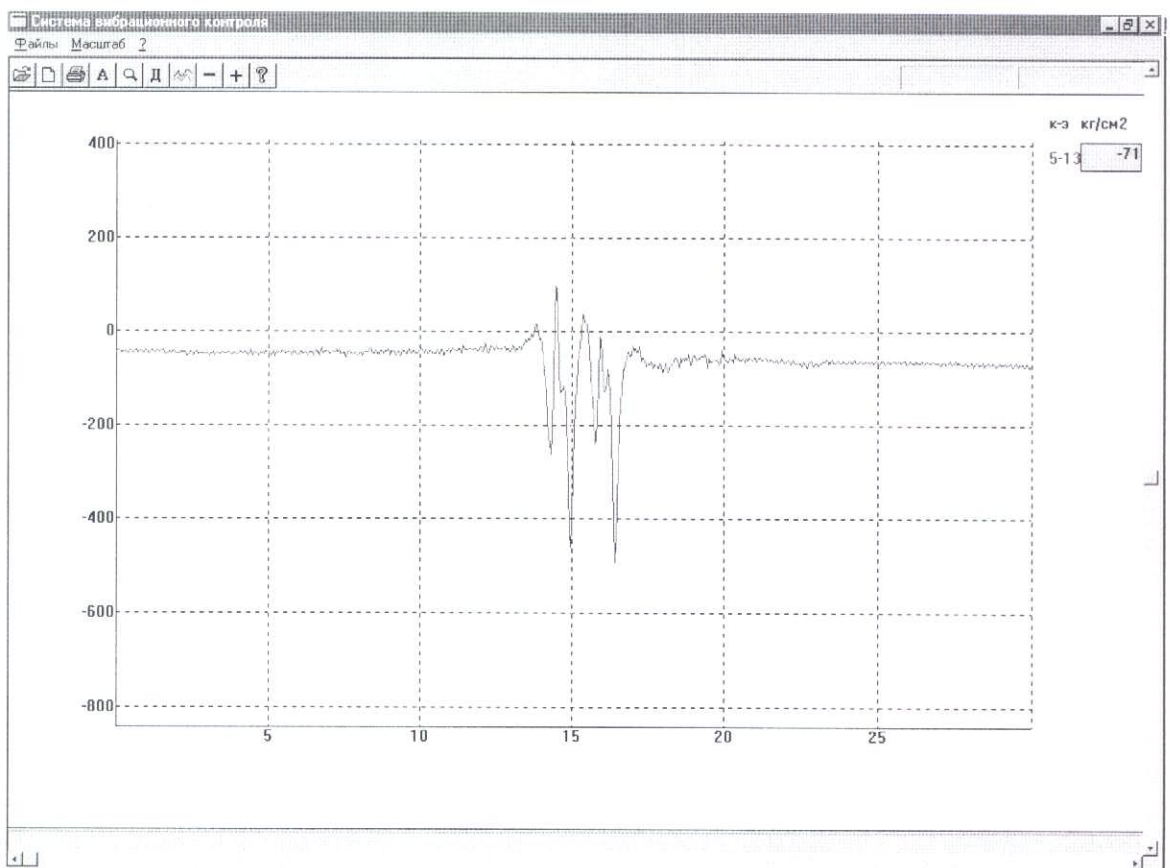


Рис. 13. ОПЫТ 3.

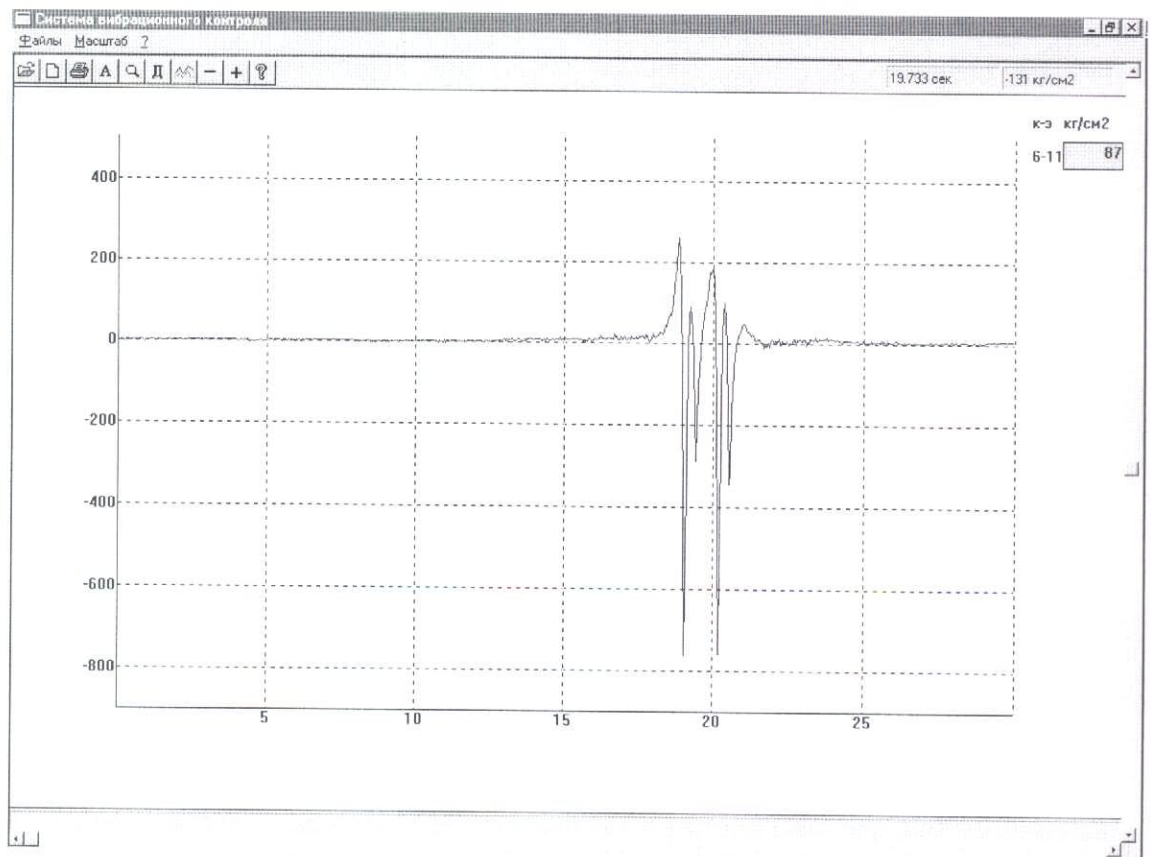


Рис. 14. ОПЫТ 1.

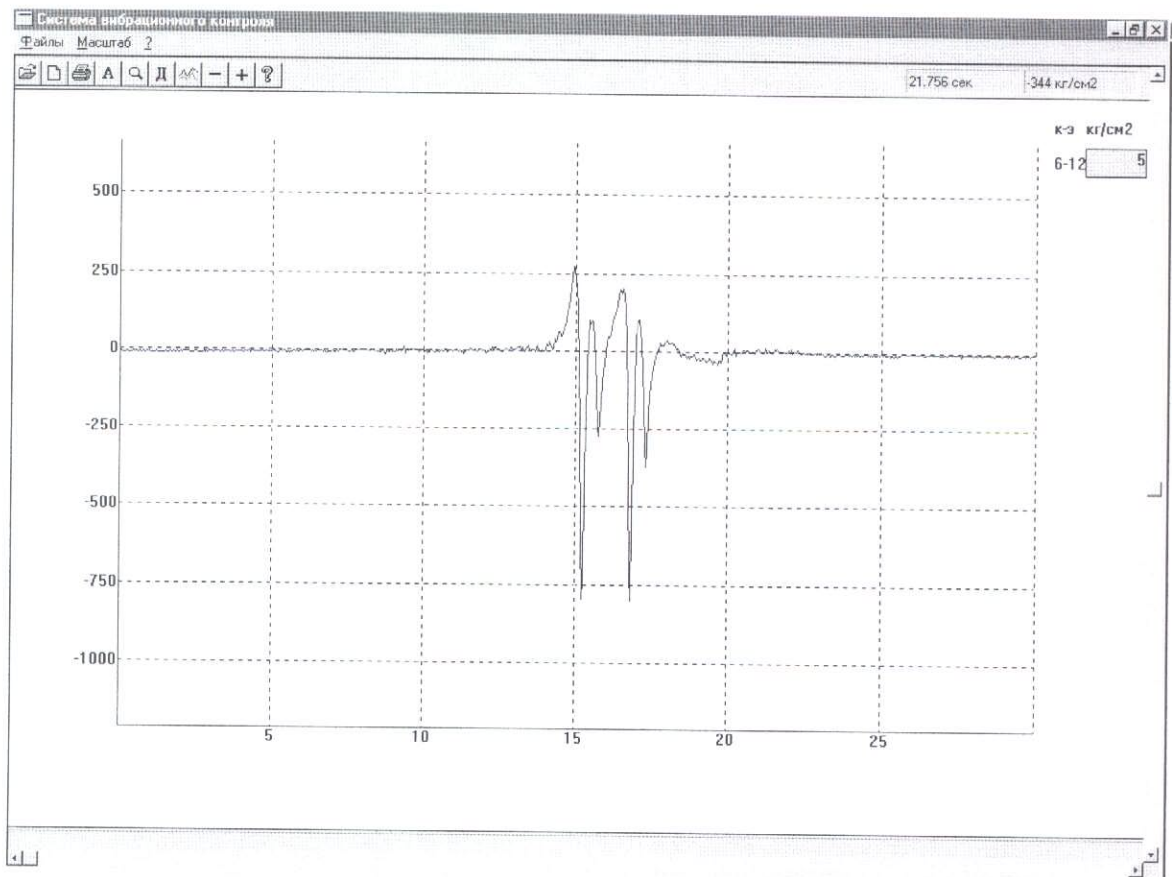


Рис. 15. ОПЫТ 2.

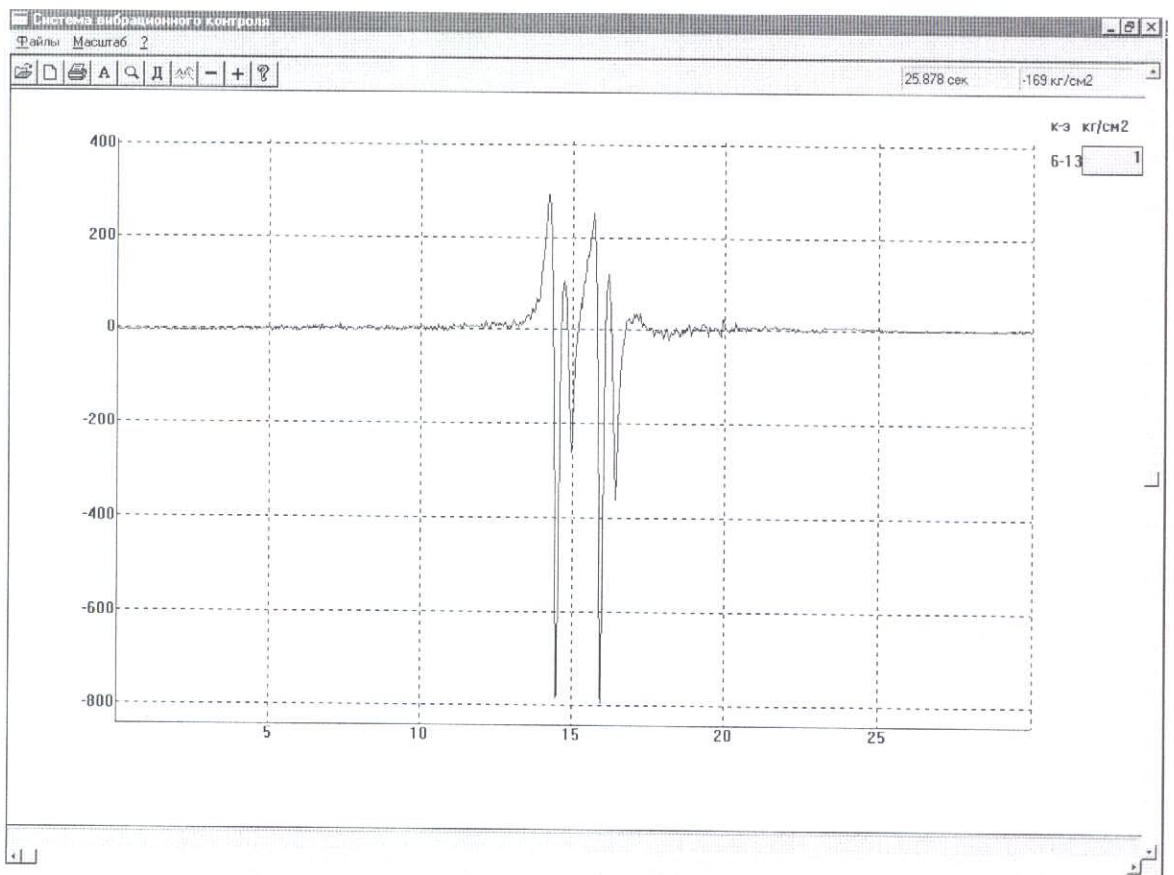


Рис. 16. ОПЫТ 3.

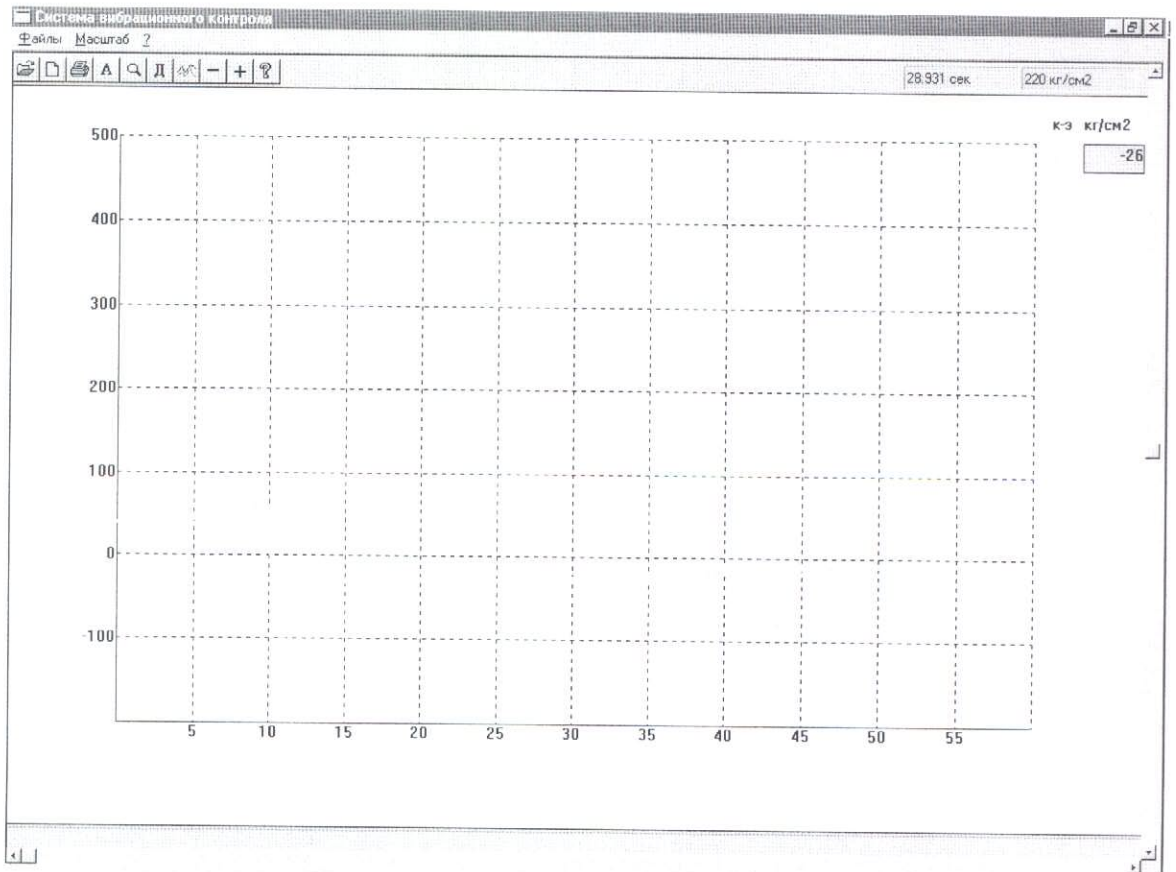


Рис. 17. ОПЫТ 4.

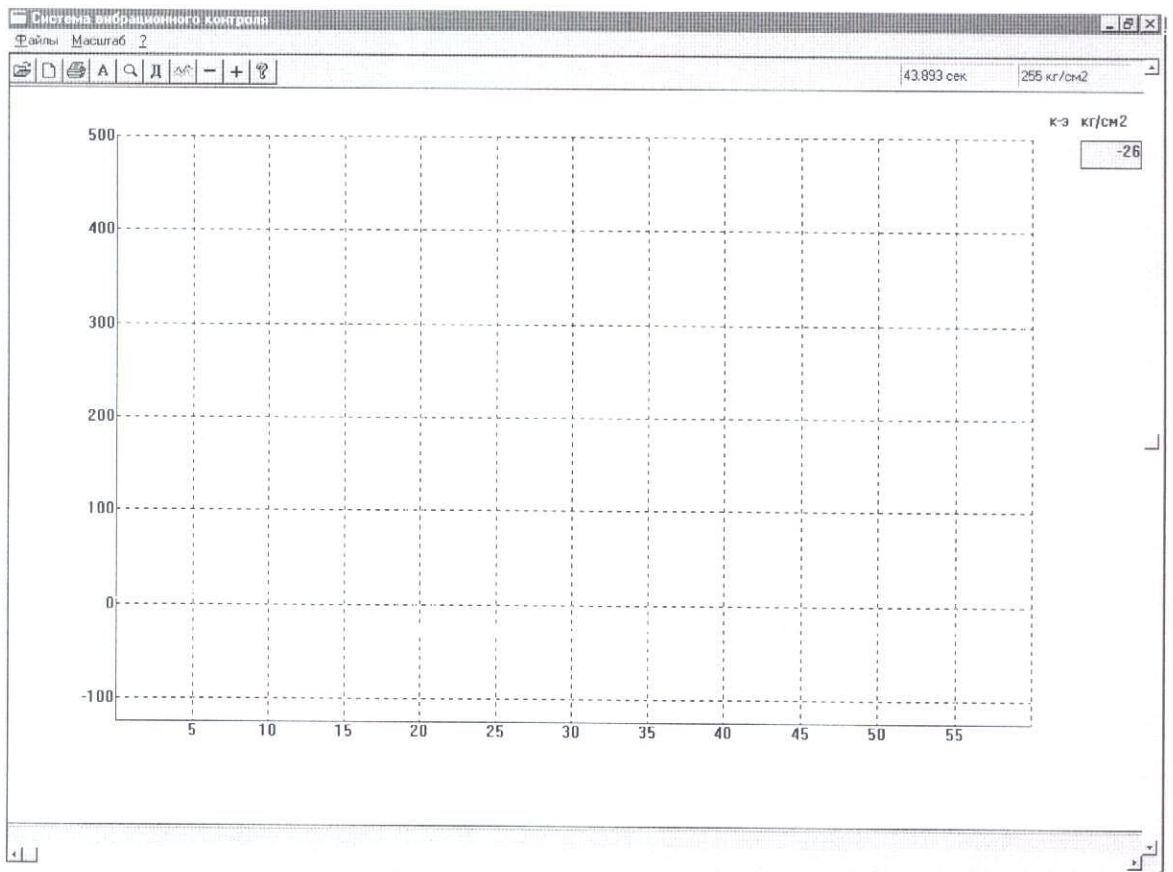


Рис. 18. Опыт 5.

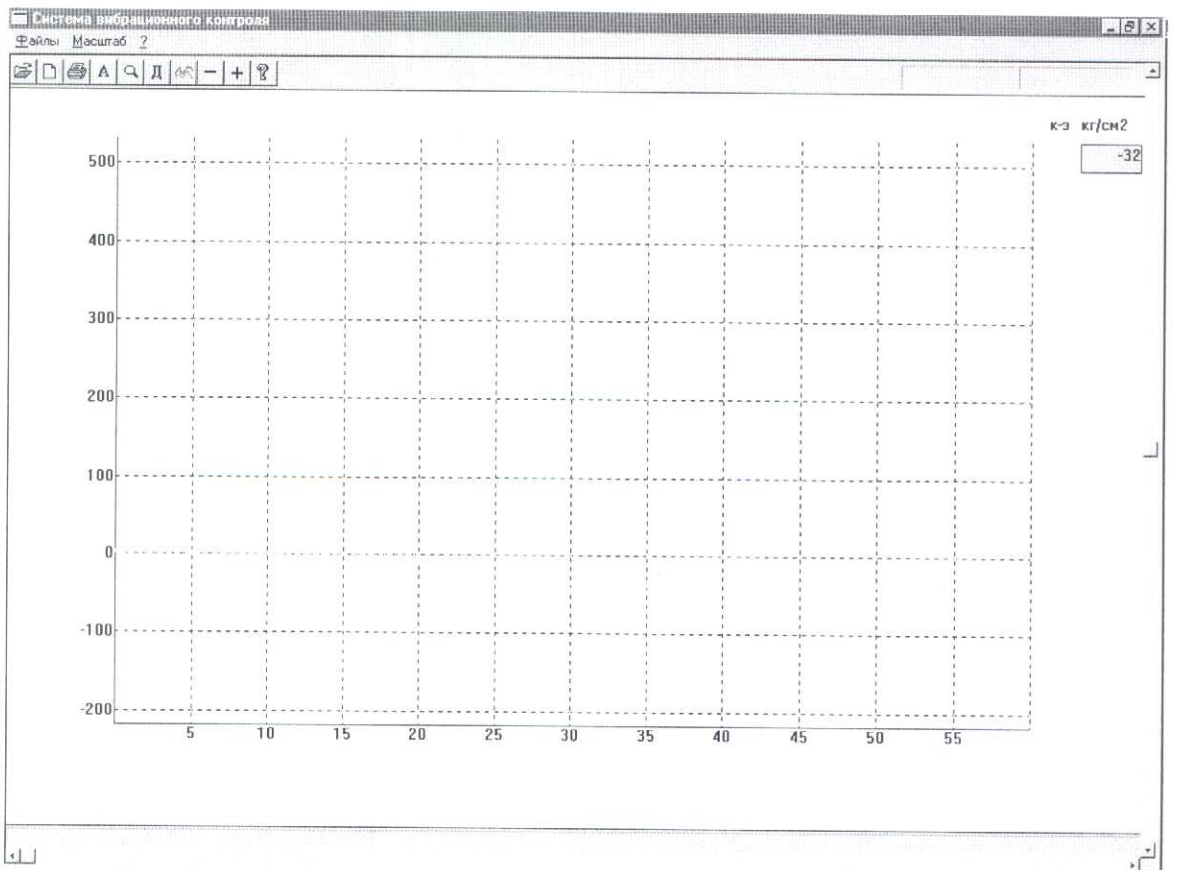


Рис. 19. Опыт 6.

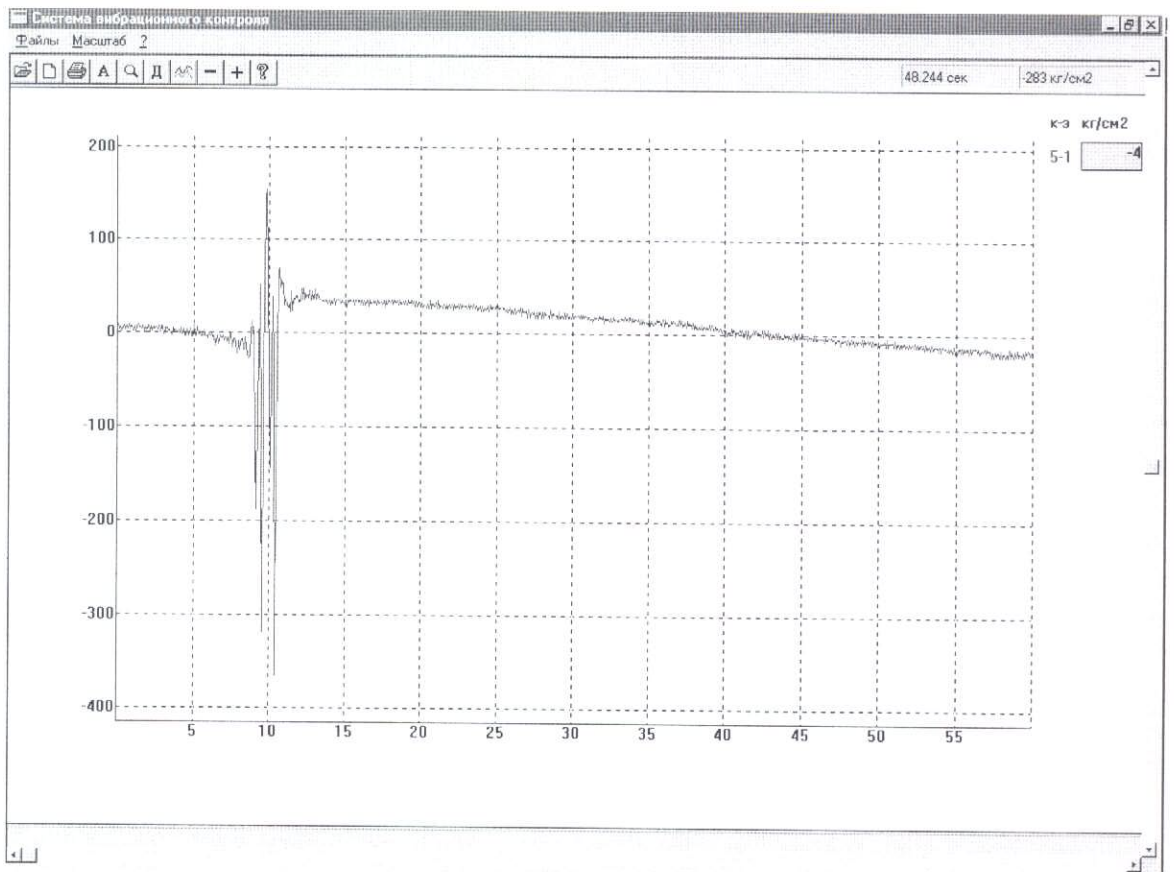


Рис. 20. ОПЫТ 4.



Рис. 21. ОПЫТ 5.

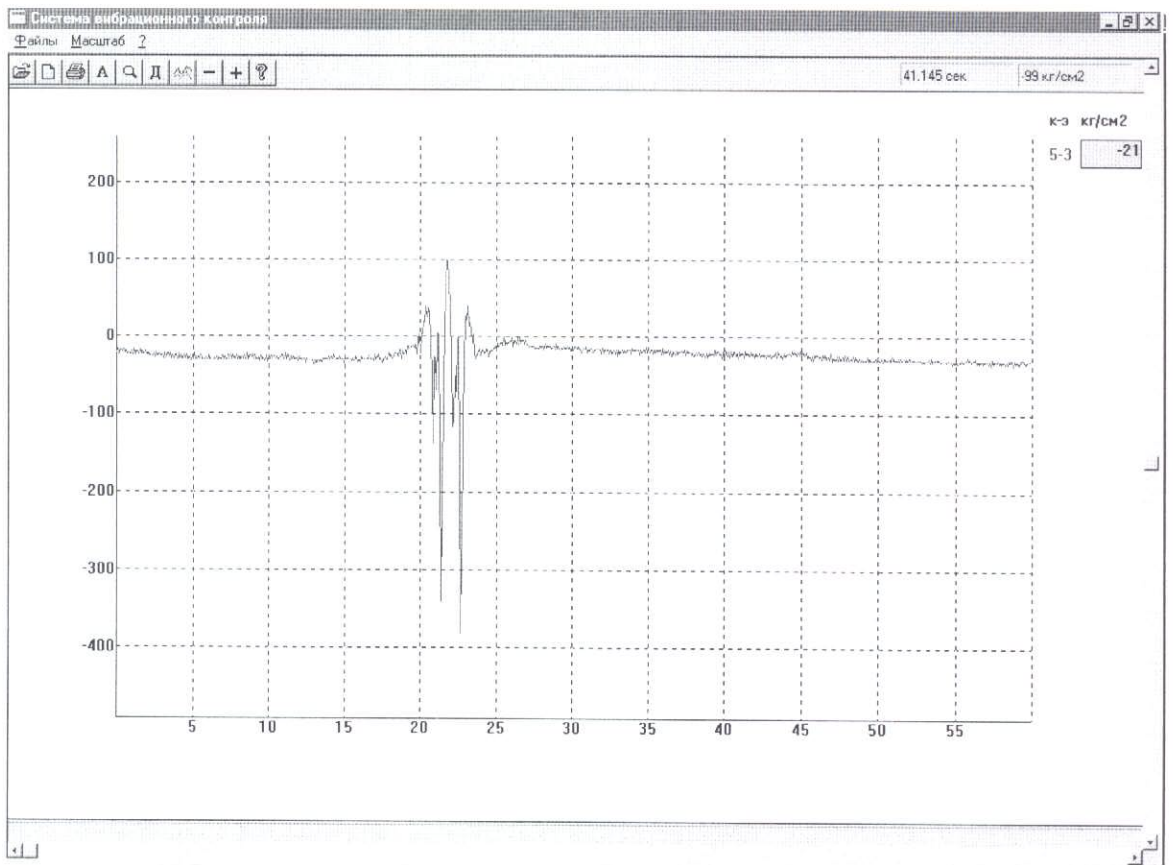


Рис. 22. Опыт 6.



Рис. 23. Опыт 4.



Рис. 24. ОПЫТ 5.

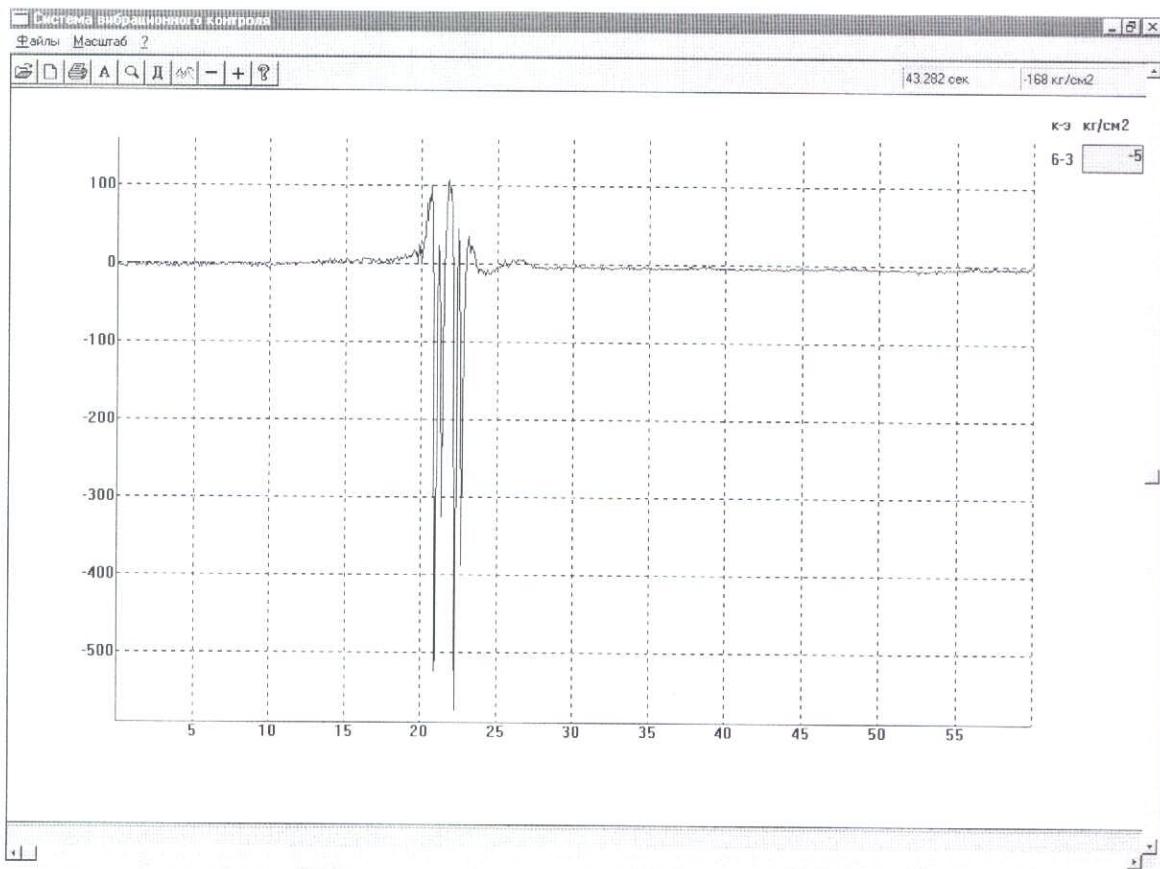


Рис. 25. ОПЫТ 6.

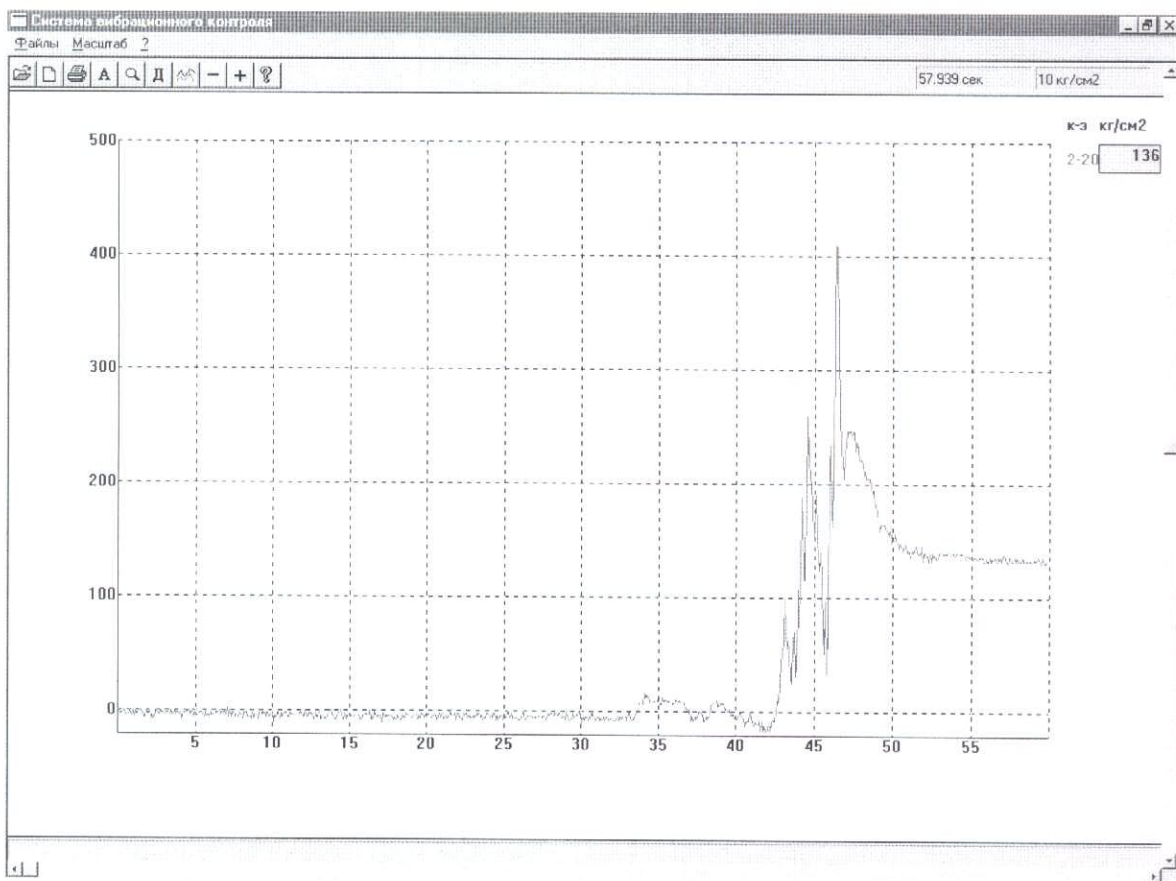


Рис. 26. ОПЫТ 7.

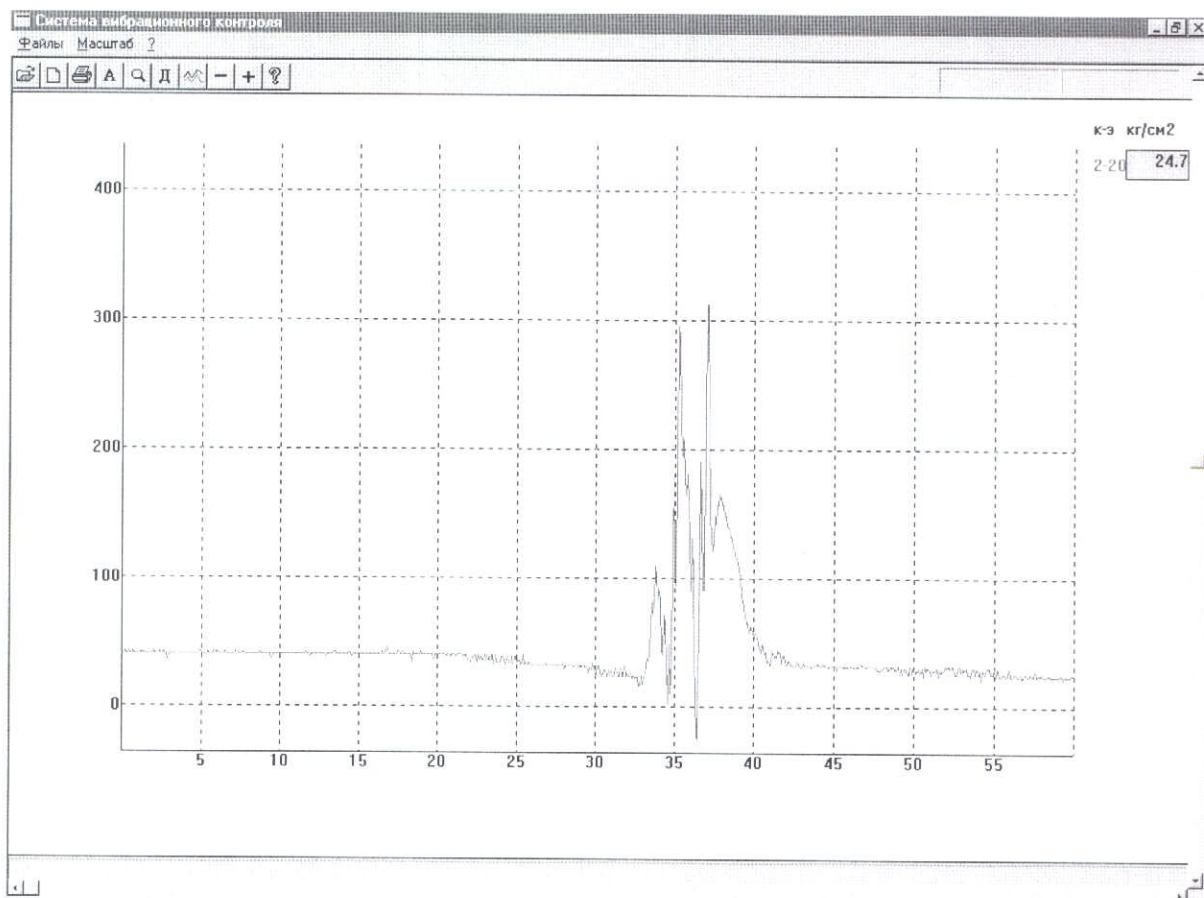


Рис. 27. ОПЫТ 8.

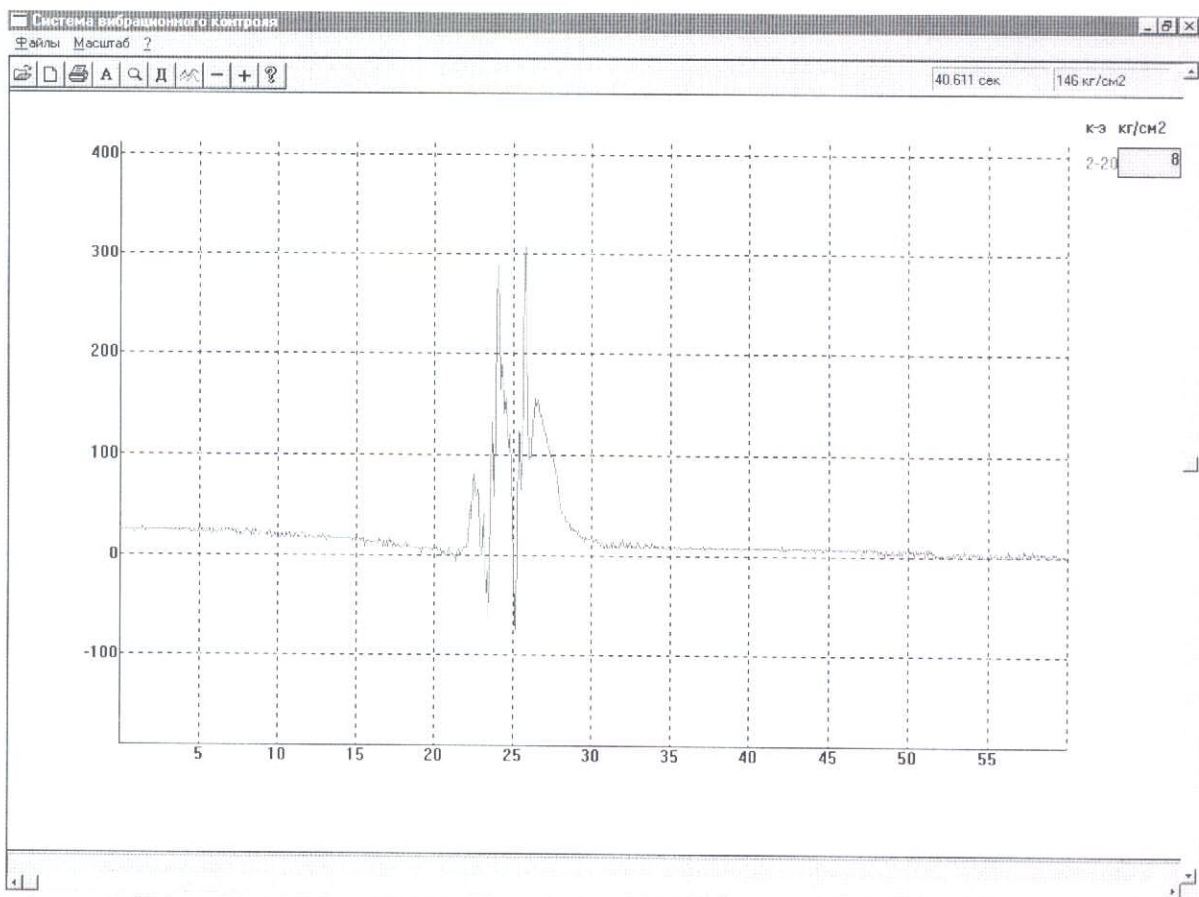


Рис. 28. ОПЫТ 9.

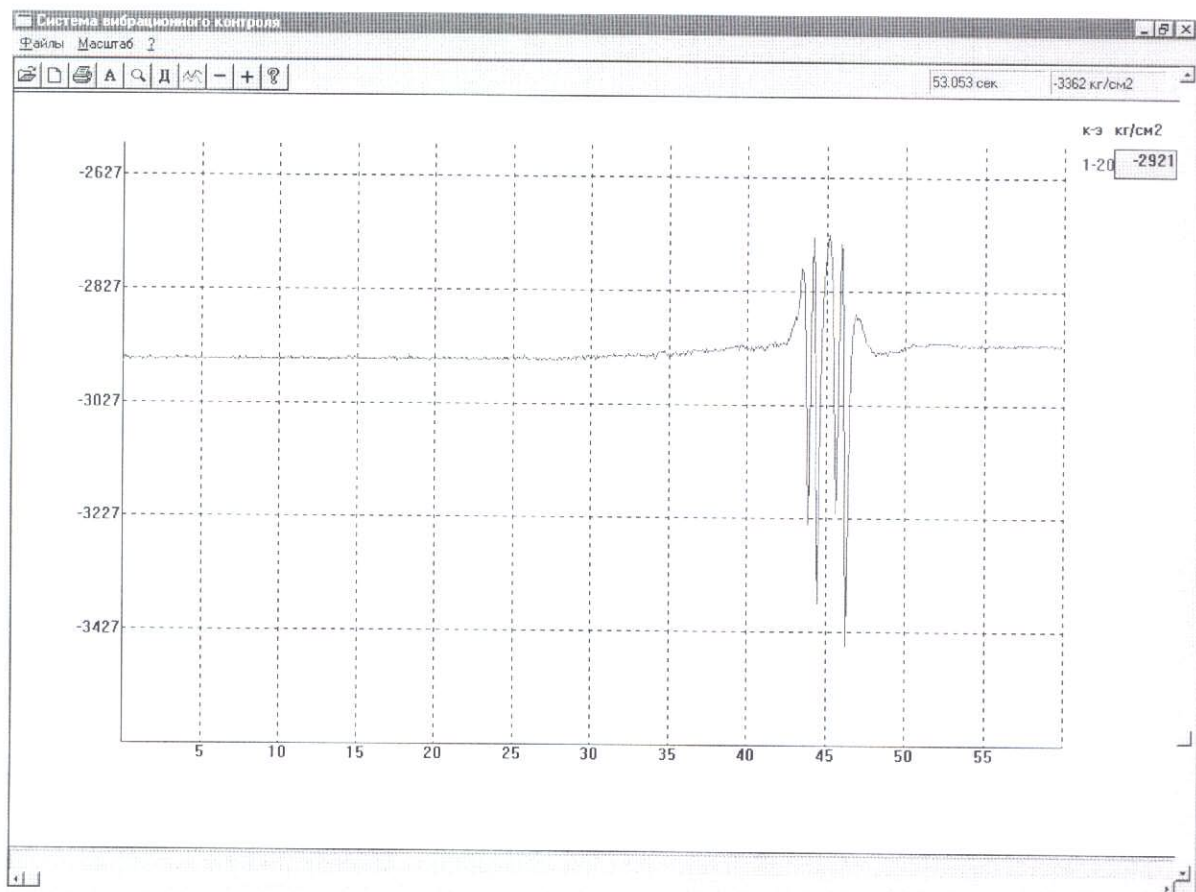


Рис. 29. ОПЫТ 7.

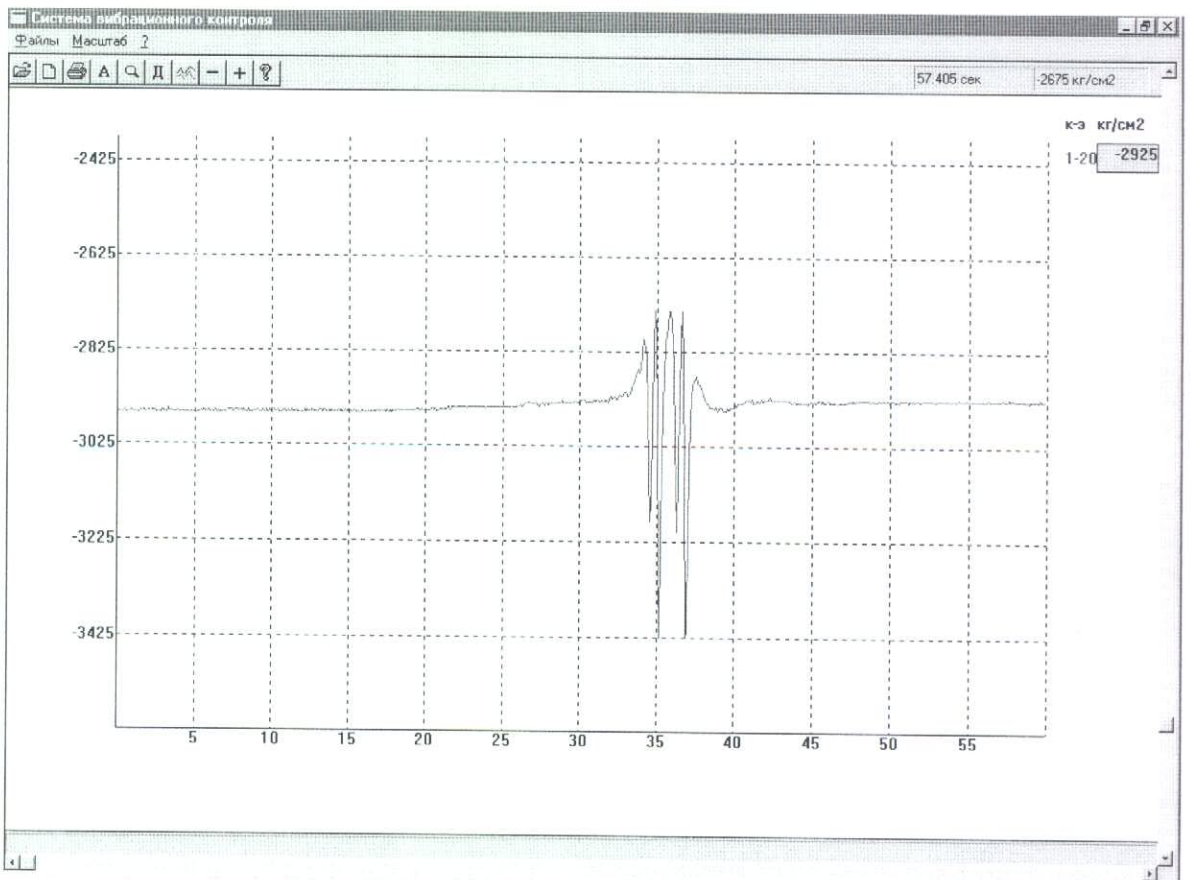


Рис. 30. Опыт 8.

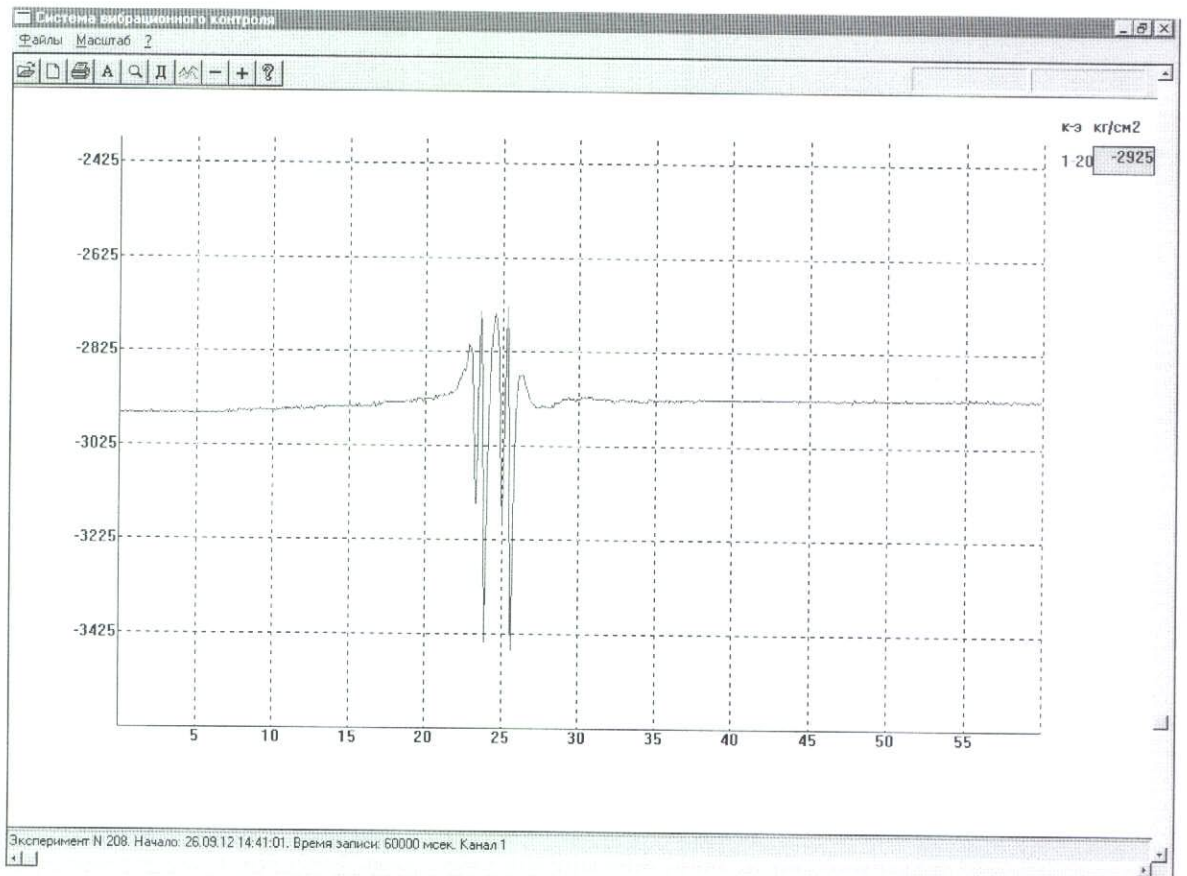


Рис. 31. Опыт 9.

Фотоматериалы

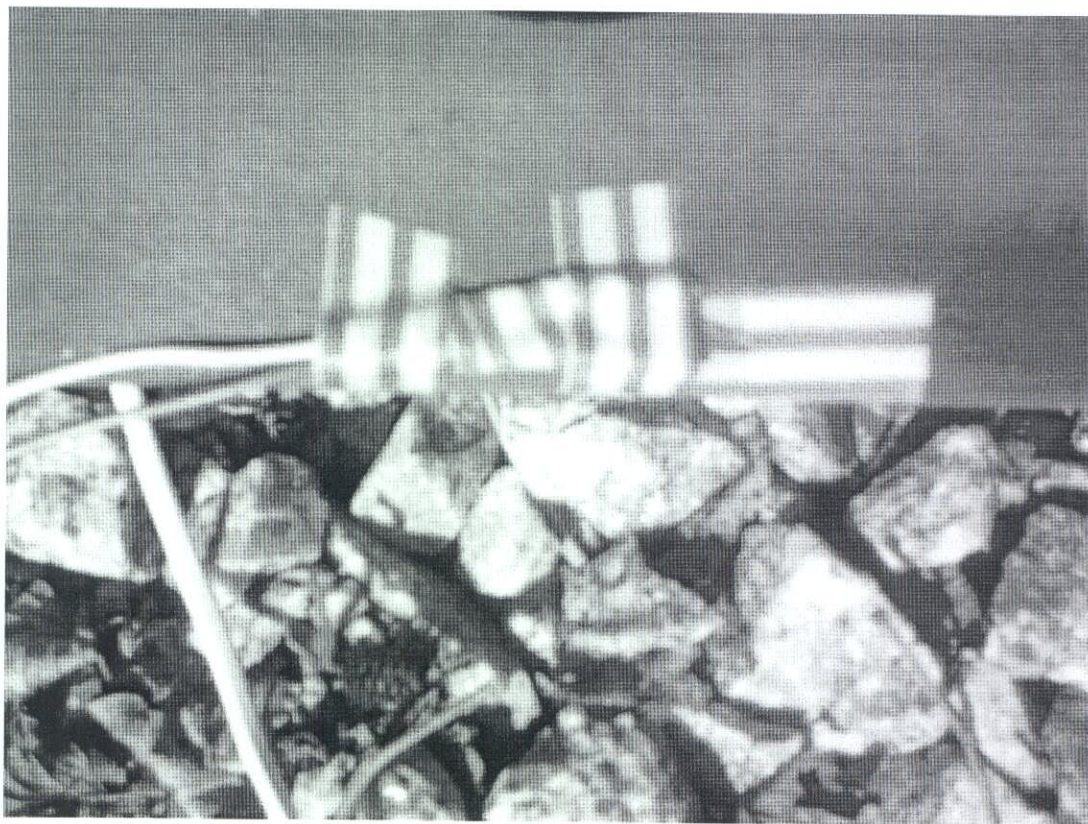


Рис. 32. Тензодатчик, наклеенный на зачищенную поверхность рельса
(защищен изоляционной лентой).

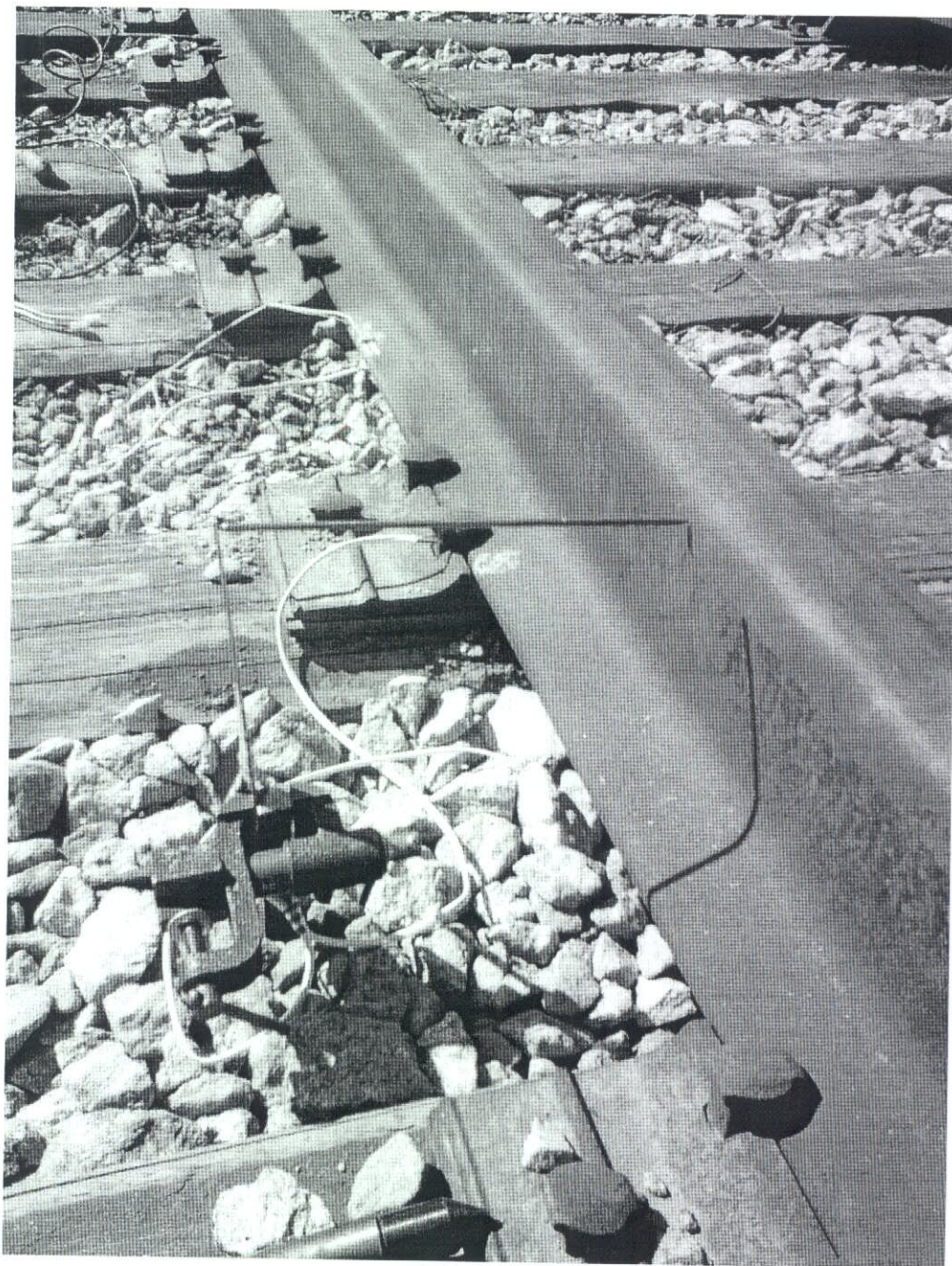


Рис. 33. Электропрогибомер.

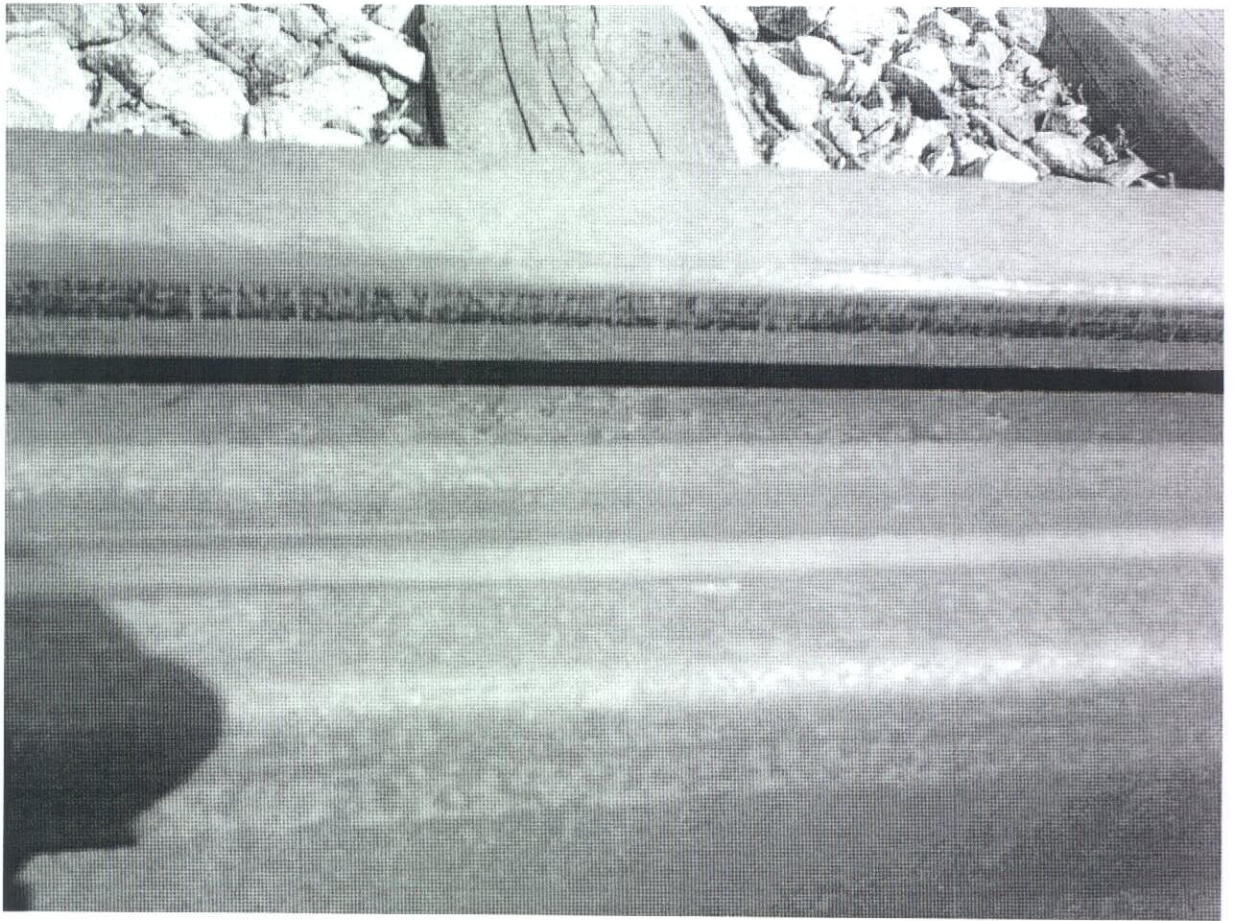


Рис. 34. Следы от контакта колеса подвижного состава с рельсом и контррельсом.