

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ
Наманган муҳандислик-педагогика институти

Қўлёзма ҳуқуқида

Қозоқов Дилмурод

Экспериментальные исследования колебаний цепной балки с
односторонними связями

5A140901 мутахассислиги Касб таълими (Бинолар ва иншоотлар
қурилиши) бўйича магистр даражасини олиш учун

МАГИСТРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ

Раҳбар:

т.ф.н.. доц. С.Ж.Раззақов

Каф.мудири:

доц. Х.Алимов

Наманган 2008

О Г Л А В Л Е Н И Е

Аннотация	.....
Введение	.....
Глава I. КОНСТРУКТИВНО-НЕЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ И СОСТОЯНИЕ ИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	.....
I.1. Теоретические исследования конструктивно-нелинейных сооружений	.....
I.2. Экспериментальные исследования	.....
I.3. Постановка задач экспериментально-теоретических исследований комбинированных стержневых конструкций	.....
Глава II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ ЦЕПНОЙ БАЛКИ С ОДНОСТОРОННИМИ СВЯЗЯМИ	.....
II.1. Характеристика и конструкция моделей цепной балки	.....
II.2. Установка для проведения испытаний	.....
II.2.1. Конструкция станины	.....
II.2.2. Конструкция вибромашины	.....
II.3. Статические испытания и их результаты	.....
II.4. Динамические испытания	.....
II.4.1. Регистрация параметров колебаний	.....
II.4.2. Анализ записи осциллограмм и определение форм колебаний	.....
II.5. Выводы по главе	.....
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ	.....

ВВЕДЕНИЕ

На практике большинство разрушений зданий и сооружений происходит от воздействия нестационарных нагрузок, к которым относятся сейсмические, аварийные, динамические и пульсационные ветровые нагрузки. Эти нагрузки, как правило, вызывают колебание конструктивных элементов либо сооружений в целом, сопровождающихся возможными резонансными ситуациями.

Исследованиям колебаний гибких и жестких конструктивных схем посвящены работы известных ученых Я.Г.Пановко, С.В.Полякова, К.С.Завриева и А.Г.Назарова, В.А.Ивовича, М.Т.Уразбаева, А.П.Синицына, Я.М.Айзенберга, К.С.Абдурашидова, Т.Ж.Жунусова, Т.Р.Рашидова, А.Б.Ашрабова, К.И.Рузиева, Н.А.Николаенко и Ю.П.Назарова, Г.А.Шапиро, В.Т.Рассказовского, В.А.Ржевского, И.М.Бабакова, П.М.Френкеля, Р.В.Клафа и Дж. Пензиева и многих отечественных и зарубежных авторов.

Наряду с традиционными в народном хозяйстве широко используются сооружения и конструкции, которых нельзя с полной уверенностью относить к гибким или жестким схемам. Эти конструкции, меняющие принцип работы в зависимости от величин и направлений перемещений и воздействий. Такие системы принято называть конструктивно-нелинейными. Это вантово-высшие конструкции с элементами жесткости, конструкции с различной жесткостью в зависимости от направления действия нагрузки, комбинированные конструкции из нескольких материалов, системы с выключающимися связями и т. п.

В настоящее время плоские сквозные стержневые конструкции, позволяющие перекрывать значительные пролеты и отличающиеся экономичностью, получают распространение благодаря возможности использования различных конструкционных материалов в сочетании друг с другом (сталь, древесина, алюминий, пластмассы).

Применение древесины в плоских сквозных конструкциях в сочетании с металлом, позволяет снизить собственную массу, уменьшить расход дорогостоящей стали, трудозатраты на изготовление конструкции и получить значительный экономический эффект в народном хозяйстве.

Несмотря на очевидное преимущество системы комбинированных ферм, пока не получили должного применения в нашей стране, ввиду недостаточной изученности характера поведения работы при статических и динамических воздействиях.

В комбинированных несущих конструкциях более полно используются положительные свойства каждого материала. Так, элементы, работающие на сжатие выполняют из железобетона или древесины, а элементы, подверженные растяжению, из металла. Ввиду этого комбинированные конструкции имеют повышенную надежность в работе и большую долговечность.

С другой стороны в стоимости строительства транспортные расходы, начиная от сырьевых карьеров и кончая возведением законченных объектов, составляет около 35%, в трудоемкости – 65%. При применении железобетонных конструкций нужно перевезти и складировать пять раз больше по массе материалов, чем при применении деревянных конструкций, что является также очень важным экономическим фактором.

Поэтому в современном строительстве, особенно в сельском, расширение применения комбинированных металлодеревянных ферм является актуальным вопросом, особенно в сейсмических районах.

Исследованиям плоских металлических и железобетонных стержневых конструкций (ферм) на динамические воздействия посвящено большое количество работ отечественных и зарубежных ученых, а комбинированным металлодеревянными плоскими фермам уделялось мало внимания. Особенно ее поведение при динамических

воздействиях еще требует больших экспериментальных исследований, как на моделях, так и в натуре.

Комбинированные металлодеревянные фермы наряду с физической и геометрической обладают и конструктивной нелинейностью, характеризующихся изменением схемы работы в зависимости от направления действия нагрузок и величин деформаций.

Инерционные силы, соизмеримые силами от полезных нагрузок, как правило, направлены противоположно движению массы, что может вызвать изменения расчетной схемы на данный момент. Такое может происходить во время вертикального колебания комбинированной деревометаллической фермы, что может привести к противоположному изменению знаков усилий в стержнях. Поскольку в них деревянные элементы сопряжены узловым лобовым упором, они не могут работать на растяжение и, следовательно, выключается из работы. Такое включение и выключение должно происходить при определенных значениях характеристик колебательного процесса.

В связи с изложенным, предметом данного диссертационного исследования выбрано теоретико-экспериментальное изучение влияния динамических нагрузок на напряженно-деформированное состояние комбинированных металлодеревянных стержневых конструкций покрытий.

Цель диссертационной работы: исследование влияния динамических (типа сейсмических) нагрузок на напряженно-деформированное состояние комбинированных металлодеревянных стержневых конструкций (ферм) покрытий.

Автор защищает:

- методику учета развития торцевых деформаций в сопряжениях деревянных сжатых элементов сквозных конструкций в процессе колебания;

- результаты экспериментальных исследований торцевых деформаций при многократных повторно-переменных нагрузках с различным уровнем нагружения;

- результаты экспериментальных исследований колебаний цепной балки, моделирующей комбинированные стержневые конструкции.

Научная новизна работы состоит:

- впервые разработана методика учета торцевых деформаций стержней комбинированных деревометаллических конструкций при колебании под динамической нагрузкой;

- в получении теоретических кривых прогнозирования развития торцевых деформаций в зависимости от числа циклов и уровня нагружения, которые подтверждены экспериментально;

- в моделировании комбинированной стержневой системы цепной балкой;

- в разработке испытательной установки (включая динамомашину) для экспериментального исследования колебаний цепной балки;

- впервые установлено, что в любых случаях, в том числе резонансом, не происходит полное размыкание торцевых связей, выполненных лобовым упором. Это подтверждает пригодность использования комбинированных конструкций при действии значительных динамических нагрузок (в том числе сейсмических).

Практическое значение работы заключается в том, что результаты исследований расширяют область применения комбинированных стержневых систем в объектах со значительными-динамическими нагрузками, в том числе в районах с сейсмичностью до 9 баллов включительно.

Внедрение результатов работы. На основе исследований было предложено использование комбинированных стержневых стропильных

конструкций для покрытия сельскохозяйственного объекта-полевого стана возводимого МПМК-141 Наманганоблагропромстроя.

«Методика расчета комбинированных конструкций на динамические нагрузки» разработанная в диссертации принята Наманганским ОКП института «Узгипросельстрой» для использования при проектировании сельскохозяйственных объектов в районах с повышенной сейсмичностью.

Апробация работы и публикации. Результаты исследований докладывались на региональном семинаре-совещании «Эффективные конструкции для строительства в сейсмических районах» (г. Фрунзе, сентябрь, 1989 г.), на Республиканской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Совершенствование управления производством, технологическими процессами и оборудованием в региональных межотраслевых комплексах» (г. Ташкент, апрель, 1989 г.), на Республиканской научно-технической конференции «Строительство и архитектура» (г. Ташкент, апрель, 1989 г.), на Республиканской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Достижения науки молодых в производство» (г. Ташкент, апрель, 1991 г.), на научно-технической конференции ТашПИ (1990 г.), на заседаниях кафедр «Металлические, деревянные и пластмассовые конструкции» (1989, 1990, 1991г.). Основное содержание диссертационной работы опубликовано в 7 печатных работах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введениях 4-х глав, основных выводов и рекомендаций, списка использованной литературы (129 наименований) и приложений. Объем диссертации состоит из 165 страниц и включает 49 рисунков (графиков), 9 таблиц.

Работа выполнена на кафедре «Металлические, деревянные и пластмассовые конструкции» Ташкентского ордена Дружбы народов политехнического института (ныне Ташкентский архитектурно-

строительный институт) под руководством доктора технических наук, профессора К.И.Рузиева, в рамках госбюджетной темы №52/2 «Исследование надежности строительных конструкции при интенсивных сейсмических воздействиях» по проблеме обеспечения дальнейшего развития научных основ и современных методов расчета зданий и сооружений на сейсмические воздействия.

Глава I. КОНСТРУКТИВНО-НЕЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ И СОСТОЯНИЕ ИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

I.1. Теоретические исследования конструктивно – нелинейных сооружений

Основная задача расчета конструкций формируется как задача определения деформированного состояния, вызванного действием эксплуатационных нагрузок. Наряду с физической и геометрической нелинейностью некоторые системы обладают и конструктивной нелинейностью, характеризующейся изменчивостью схемы работы в зависимости от значений действующей нагрузки и величины деформации. Например, могут образовываться новые связи или, наоборот, разрушаться старые.

Конструктивная нелинейность проявляется в процессе монтажа, когда создаются новые связи, при разрушении, когда связи выключаются из работы, а также очень часто при изменении режима нагружения. В процессе нагружения конструкции могут изменяться направления воздействия вследствие динамических или гидростатических нагрузок. Примером конструктивно нелинейных систем могут служить балки на упругом основании (рис1.1) балка с односторонними дополнительными опорами, каменная арка, железобетонная балка с различным процентом армирования сжатых и растянутых зон, вантово-стержневые системы, пневматические сооружения, металлодеревянная комбинированная ферма, рамные

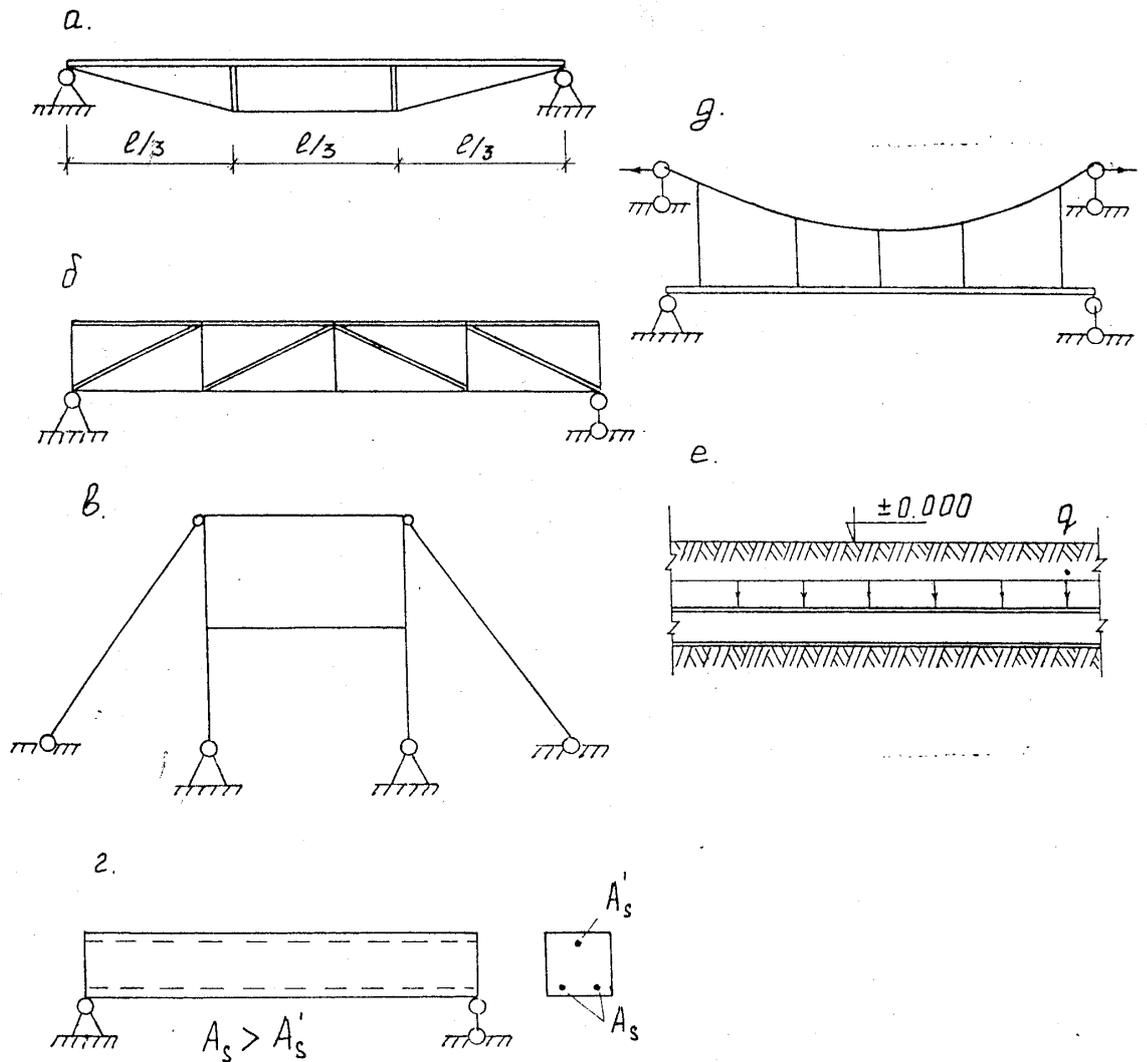


Рис. 1.1. Примеры конструктивно-нелинейных систем:
 а- преднапряженная балка; б – металлодеревянная ферма; в – рамная система с оттяжками; г – железобетонная балка с различным армированием сжатых и растянутых зон; д – вантовая ферма; е- подземный трубопровод.

системы с оттяжками, конструкции, свободно без анкеров установленные на опоры или фундаменты, многослойные листовые конструкции (главным образом емкости, спирально-многостойные сосуды высокого давления, у которых взаимодействие между слоями пакета обеспечивается лишь за счет одностороннего контакта между слоями), подземные трубопроводы и тоннельные обделки (совместно работающие с грунтом, который воспринимает только сжимающие усилия) и другие.

Развития теории систем с односторонними связями (в частности, конструктивно-нелинейные системы) нашли в трудах отечественных ученых И.М.Рабиновича, С.П.Тимошенко, А.В.Перельмутера, В.Н.Гордеева, Л.В.Божковой, К.И.Рузиева, А.П.Синицына, Л.М.Резникова, Ю.Б.Шулькина, Л.П.Портаева, Л.П.Лукаша, А.Ф.Ширяева, Л.С.Ляховича и др.

Конструктивно-нелинейные системы, по-видимому, впервые были рассмотрены С.П.Тимошенко во второй части его книги «Сопротивление материалов», в которой предложено решение нескольких задач, относящихся к конструктивно-нелинейным балкам, в частности подробно рассмотрены важные задачи изгиба стержней, лежащих на упругом основании.

Ряду общих вопросов теории систем с односторонними связями (конструктивно-нелинейные системы) посвящена монография М.С.Бернштейна, в которой рассматривается задача отыскания предельной несущей способности систем, состоящих из бесконечно жестких звеньев, соединенных односторонними связями (каменные своды, сыпучее тело и т. п.).

Этой же задаче посвящены работы А.П.Филина.

Первым численным методом расчета систем с односторонними связями является метод последовательных попыток, предложенный Н.Н.Стрелецким и И.М.Рабиновичем, заключающийся в

последовательном испытании возможных рабочих систем. Этот метод использовался при решении много инженерных задач. Статический расчет конструктивно-нелинейных систем связан с отысканием основной системы для каждого переходного этапа нагружения или деформирования. Конструктивно-нелинейные системы в виде сооружений с односторонними связями рассмотрены И.М.Рабиновичем в работах, где задача решается классическими методами строительной механики. Однако, при большом количестве стержней и односторонних связей, эти методы не могут отразить реальную работу конструкций.

Развернутым использованием классических методов линейной строительной механики, применительно к нелинейным задачам статики нашли применение в работах А.В.Перельмутера. В качестве примеров он рассматривал задачи, связанные с проектированием комбинированных-мачтовых конструкций, вантовых пролетных строений и покрытий большого пролета. Л.П.Портаевым, А.В.Перельмутером, А.Ф.Ширяевым, В.Н.Гордеевым и др. использованы методы линейного и квадратичного программирования при расчете балок и рам с односторонними связями, хотя в упомянутых трудах речь не идет о многостержневых системах. Основанием для этого служит то, что система канонических уравнений, например, при расчете методом сил, выражает условия экстремума потенциальной энергии как квадратичной функции лишних неизвестных, а неравенства, относящиеся к знакам усилий и перемещений, налагают на минимизируемую функцию ряд ограничений. Эквивалентная задача возникает и при расчете по методу перемещений. Этот путь расчета привлекателен тем, что аппарат расчета становится общим и удобным для вычислений на ЭВМ и, кроме того, используются важные качества алгоритмов квадратичного программирования – сходимость, конечность и другие. В связи с этим получили дальнейшее и существенное развитие исследования по статико- кинематическому

анализу, который стал главным образом аналитическим, начал вырабатываться более общий подход к задачам устойчивости систем с односторонними связями, были решены практические задачи по анализу поведения конструкций в геометрически нелинейной и в физически нелинейной постановках.

Комбинированные вантовые фермы, относящиеся к конструктивно- нелинейным системам, были рассмотрены в трудах В.В. Трофимовича и его учеников. Ими в качестве целевой функции принимается масса и стоимость вантовой преднапряженной конструкции при условии неотрицательности усилий в вантах. Используя аппарат симплекс метода отыскивается величина преднапряжения ограничение к знакам усилий.

Недостатком этого метода является ограниченность его применения только для конструкций с регулируемым предварительным напряжением.

При наличии трения задача с трением зависит от процесса приложения нагрузки, поэтому часто для определенности процесс загрузки предполагается простым. Такие задачи рассматривались в работах А.С. Кравчука, Ж.Л. Лионса, Дж. Калкера, А.В. Вовкушевского, Б.А. Шойхета и другими. Для решения задачи применяются как процессы переключения состояние связей, так и итерационные процессы, основанные на построении последовательности более простых нелинейных задач с хорошо изученными свойствами. Однако, здесь, как и в случае с идеальными связями, оставалась проблема эффективности алгоритмов.

На базе теории оболочек, учитывающей деформации поперечного сдвига, в работе Кудрявцева С.Г. рассмотрены задачи взаимодействия тонких пластин и оболочек из нелинейно-упругого материала с жесткими телами, когда размеры области контакта меняются в процессе деформирования и значительно превосходят толщину оболочки.

Исследовано влияние геометрической нелинейности на размеры зоны контакта, распределение контактной нагрузки и характер напряженного деформированного состояния конструктивно-нелинейных систем.

В процессе изменения направления воздействия то же меняется область контакта взаимодействия материалов, что при многократном замыкании и размыкании появляются остаточные деформации. В этой работе это явление не учитывалось.

Более сложной является задача динамического расчета конструктивно-нелинейных сооружений.

Первые отечественные работы, посвященные динамике конструктивно-нелинейных систем, принадлежат А.П.Синицину и В.А.Ивовичу, в которых в основном исследовались висячие системы.

В работе для учета работы односторонних связей балок используются разрывные функции зависимости реакций от амплитуд колебаний. Недостатком метода является необходимость решения систем интегрально-дифференциальных уравнений для каждого шага изменения основной системы.

Попытки по изучению смены рабочих схем при колебаниях конструктивно-нелинейных балок сделаны в работе, где использована симплекс-таблица. Здесь предлагается приведение физической нелинейности материала к конструктивной путем введения систем упруго-податливых связей в шарнирах.

Исследованием колебательных процессов с кусочно-линейной характеристикой занимались Л.П.Субач и С.А.Варсанович.

Ими установлено, что при определенных значениях и мощностях возмущающей динамической силы появляется зоны неустойчивости, характеризующиеся биением или отрывом массы. Подобная задача в трудах Койти Цуда решается с использованием энергетического баланса системы.

В исследованиях Мурашко В.П. рассматривается анализ несущей способности упругопластических стержневых систем при повторно-переменном нагружении с учетом взаимодействия обобщенных усилий, изготовленных из материала, диаграмма деформирования которого достаточно близка к диаграмме Прандтля. Исследованный материал – несжимаемый, циклически идеальный (циклически стабильный). Расчет стержневой системы произведен по недеформированной схеме. Для «упругого» расчета применялись принципы суперпозиции для силовых и других факторов. В данной работе оценка несущей способности системы произведена на основе статической теоремы о приспособляемости, доказанной Меланом. Эта теорема состоит из следующих двух утверждений:

1. Конструкция приспособится к повторным нагружениям, т. е. после некоторого числа циклов ее поведение станет чисто упругим.

2. Приспособляемость невозможна, если не существует никакого не зависящего от времени распределения остаточных напряжений, дающих в сумме с «упругими» напряжениями безопасный вектор напряжений.

Недостатком работы является то, что в расчетах не учитывается явление пластической усталости материала.

В настоящее время все более широкое распространение получают конструктивно-нелинейные ребристые цилиндрические оболочки, изготавливаемые из металлических лент путем спиральной навивки.

В существующих работах, которые посвящены расчету спирально-навивных оболочек, рассматривается, в основном, воздействие осесимметричной нагрузки от внутреннего давления и сил трения.

В то же время, одной из основных нагрузок на сооружения такого типа является ветровая, которая рассмотрена в работе Ким В.Н. В этом случае кроме продольных моментов возникают значительные

поперечные моменты, что представляет собой большую опасность из-за тонкостенности сооружения. Разработанный метод расчета на ветровую нагрузку специфично только для систем оболочек.

Многими исследователями отмечается, что динамические процессы требуют введения эффекта дилатансии, однако, соответствующие реологические модели неоправдано усложняют вычисления на современных ЭВМ.

В работе Кудинова О.А. на основе общего метода построения вариационно-разностных схем для решения динамического расчета строительных конструкций с учетом физической нелинейности и разрушения материала, получена абсолютно устойчивая схема прямого интегрирования движения в свертках, которая для затвердевающих, упругих и части размягчающихся материалов не дает искусственного затухания амплитуды колебаний. В сочетании с предложенной ранее схемой прямого интегрирования приведенная схема позволяет создать абсолютно устойчивый недемпфирующий итерационный алгоритм. Методика и алгоритм динамического расчета, представленного в работе, позволяют проводить вариантное проектирование двумерных строительных конструкций изменением их армирования и физико-механических свойств материала на различные виды нестационарных воздействий.

Как известно, классические вариационные принципы и постановка задач, основанные на этих принципах, обладают тем недостатком, что начальные условия в них не участвуют. Трудности, связанные с появлением в динамической теории начальных условий, решаются по методике, предложенной Л.А.Розиным, используя вариационные принципы Гертца, которые полностью характеризуют решение динамических задач.

Полученное вариационное уравнение позволяет перейти к прямому интегрированию уравнений движения для системы конечных

элементов. В качестве конечных элементов, на которые разбивается рассматриваемая конструкция, используются треугольные конечные элементы с шестью степенями свободы и линейные конечные элементы для моделирования арматурных слоев. В качестве примера, иллюстрирующего применение разработанных схем, рассмотрена задача о колебаниях упругой балки с двумя степенями свободы при действии сосредоточенной импульсивной нагрузки.

Однако, применение этого метода для комбинированных металлодеревянных конструкций является нереальным, где имеются специфические особенности системы работающих стержней.

Силы инерции, возникающие при работе промышленного оборудования, вызывают порой значительные дополнительные напряжения и деформации в различных сооружениях, в том числе и в конструкциях, лежащих на грунтовом основании (балки, плиты и др.).

В работе Тумакова С.А. исследовано колебание балок и плит, лежащих на анизотропном основании. Исследовано влияние изменения деформированных характеристик грунтового основания в совокупности с изменением частоты возмущающей нагрузки на величину амплитуд прогибов и внутренних силовых факторов для гибких и жестких фундаментных конструкций.

Для динамического расчета балок и плит, лежащих на анизотропном основании без учета и с учетом инерционности основания, устанавливается выражение вертикальных деформаций поверхности трансверсально-изотропного упругого полупространства.

Однако, полученные численные результаты исследований применимы только для динамического расчета конструктивно-нелинейных элементов (плит и балок), лежащих на анизотропном основании.

Метод динамического расчета металлодеревянных стержневых систем разработано в работе Рузиева К.И. Показано, при колебании в

зависимости от значения амплитуды происходит включение и выключение стержней в работу, учитывается поэтапным уточнением матрицы касательной жесткости.

Проведенный анализ состояния теории статического и динамического расчета конструктивно-нелинейных систем показал, что этим исследованиям посвящен ряд работ, все же они имеют не прямое, а косвенное отношение к расчету многостержневых решетчатых нелинейных конструкций.

Как известно, деревянные элементы стержневых металлодеревянных ферм сопряжены лобовым упором, что в торцах при колебании происходит развитие торцевых деформаций, вызванное многократным замыканием – размыканием. Возникающие во всех узлах торцевые смятия вызывают дополнительные перемещения узлов, что должно повлиять на напряженно-деформированное состояние.

В связи с этим определена задача теоретического исследования напряженно – деформированного состояния комбинированных металлодеревянных стержневых систем при динамических нагрузках, вызывающих многократное включение и выключение узловых связей в торцевых сопряжениях.

1.2. Экспериментальные исследования.

Обширные экспериментальные исследования стержневых конструктивно-нелинейных систем проведены в ЦНИИСК, НИИЖБ, МархИ, ТашПИ и др.

В железобетонных фермах экономия металла по сравнению со стальными достигается за счет сжатых стержней, главным образом верхнего пояса. Такая конструкция, представляющая собой стальную ферму с верхним поясом из железобетона, сочетала положительные свойства железобетона и стальных конструкций. По сравнению с железобетонными такие конструкции легче, а по отношению к

стальным требуют меньший объем металла и обладают повышенной жесткостью.

В работе Тадевосяна М.С. исследована комбинированная сталежелезобетонная ферма покрытия. Отмечается целесообразность включения железобетонного настила в общую работу системы перекрестных ферм. Работа направлена на снижение затрат стали и трудоемкости при строительстве покрытий различных назначений. Было проведено три эксперимента: 1. Испытание перекрестных безраскосных ферм. 2. Испытание той же системы, но с раскосами в фермах. Раскосы выполнены из гладкой арматурной проволоки СтЗ диаметром 8 мм. Испытание модели с асбестоцементными плитами, включенными в работу верхнего пояса, размерами 1000 x 1000 x 8 мм, с модулем продольной упругости – 9500 МПа, с коэффициентом Пуассона – 0,2, объемной массой – 1,65 кг/м³ и температурным коэффициентом линейного расширения $\alpha_t = 10 \cdot 10^{-6}$. Для модели потребовалось 16 таких плит. Плиты прикреплялись к верхним поясам ферм часто расположенными болтами.

Экспериментальная модель испытывалась в упругой стадии на действие статической нагрузки.

Целью эксперимента являлось определение рациональных схем предлагаемых ферм конструкции от действующих нагрузок. Загружение ферм производилось посредством подвески к нижним узлам ферм платформ. Во всех трех экспериментах модель испытывалась по шести схемам загрузки: полная нагрузка на все узлы, односторонняя нагрузка на половине покрытия, диагональная нагрузка на одной половине покрытия, загрузка двух противоположных секторов, в точке симметрии, каждого узла отдельно.

Экспериментально подтвердилось, что при несимметричных схемам загрузений установка раскосов благоприятно действовала на перераспределение усилий. При включении в работу кровли усилия в

верхних поясах ферм уменьшилось до 6 раз. Почти во всех узлах экспериментальные прогибы получились на 12-17% больше, чем теоретические. Это может объясняться неточностями монтажа, существующими люфтами, погрешностью загрузки.

Как правило, многие часто используемые фермы имеют статически неопределимую расчетную схему и состоят из материалов с различными свойствами по отношению к длительно действующей нагрузке и воздействием окружающей среды, что может привести к существенному перераспределению усилий в их стержнях.

В исследованиях Орловича Р.Б. и Добродеева Н.А. теоретически определены и экспериментально подтверждены степень влияния ползучести деревянных элементов на напряженно-деформированное состояние статически неопределимых металлодеревянных ферм. Эксперимент проводился с целью проверки соответствия расчетных положений действительной работе комбинированных треугольных металлодеревянных ферм и выявления характера их разрушения, а также для определения эффективности предварительного напряжения. В ходе эксперимента было испытано два образца ферм пролетом 24 м, под нагрузку 15 кН/м. Регистрация характеристик напряженно-деформированного состояния ферм осуществлялась с помощью механических приборов и тензорезисторов.

Испытания проводились в 2 этапа. На первом этапе исследовалось влияние предварительного напряжения шпренгелей на напряженно-деформированное состояние конструкций. На втором этапе фермы загружались до исчерпания несущей способности. На всех этапах испытательная нагрузка прикладывалась ступенями, равными 0,25 величины расчетной нагрузки.

При исследовании влияния предварительного напряжения шпренгелей на напряженно-деформированное состояние ферм

варьировались как степень натяжения шпренгелей, так и соотношение усилий в шпренгелях.

Анализ полученных в результате эксперимента данных показал, что предварительное напряжение шпренгелей позволяет снизить рабочее напряжение в деревянном верхнем поясе на 30+40% без дополнительного расхода материалов.

Максимальная величина испытательной нагрузки, достигнутая для первого образца составляла $2,7q$, для второго - $2,5q$. Хотя никаких признаков разрушения по материалу на указанных ступенях не было обнаружено, дальнейшее нагружение не производилось, так как фермы достигли предельного состояния по деформациям. Это свидетельствует о высокой несущей способности исследованной конструкции.

Изменение напряженно - деформированного состояния металлодеревянных конструкций, вызванное ползучестью древесины, не оказывает существенного влияния на результаты, достигаемые с помощью силовой расцентровки в опарных узлах, предварительного напряжения и искусственного регулирования усилий и может быть учтено при расчете.

В этой работе в основном рассмотрены напряженно-деформированное состояние комбинированных конструкций при действии статических нагрузок и ползучести материала, и следовательно, не имеет сведений о развитии торцевых деформаций и их влиянии на общее напряженно-деформированное состояние конструкции.

Работа Джавахия Д.Б. посвящена экспериментально-теоретическому исследованию комбинированного покрытия из железобетонной оболочки в форме гиперболического параболоида и подкрепляющих ферм, облегчающих процесс возведения, а также разгружающих оболочку во время эксплуатации.

Очевидно целесообразность такой комбинации и в случае возведения монолитной оболочки опалубкой, которой служит линейчатый настил из досок, уложенных на вантовые фермы. Надо также отметить, что оболочка – гипар хорошо сочетается с вантовой системой, устраняя ее основной недостаток – большую деформативность. Экспериментальные исследования проведены для подтверждения расчетных предпосылок по передаче реакций вантовых ферм на оболочку. Сконструированная экспериментальная модель оболочки имела размеры в плане 90 x 90 см, толщиной 0,008 м, с тремя вантовыми фермами. Подкрепляющие фермы выполнялись из тросов диаметром 2 мм и из алюминиевых трубок – распорок.

Результаты эксперимента показали, что прогибы уменьшались на 45%, а растягивающие усилия на 50%. В эксперименте, как и в теоретических расчетах бесконтурном варианте наблюдалось резкое улучшение напряженного состояния оболочки при подкреплении.

Статическая часть работы заслуживает одобрения, хотя здесь большой интерес представляла бы работа конструкции на динамическую нагрузку, которая отсутствует.

В работе Пуртова В.В. экспериментально и теоретически изучены легкие деревянные стропильные фермы с соединениями на остальных пластинах и дюбелях. Эксперимент проводился на двух треугольных двускатных фермах (из древесины ели и лиственницы) пролетами 10,6 м с целью выяснения характера их разрушения и определения действительной несущей способности конструкций. Конструкции подвергнуты испытанию кратковременными нагрузками до разрушения.

Разрушение фермы из ели произошло от смятия древесины зубьями пластины, их изгиба и среза в опорном узле. Конструкция из лиственницы, разрушалась от скалывания верхнего пояса у опорного узла и, как следствие, разрыва нижнего пояса. При этом соединяющая

пластина имела толщину 3 мм и использованы дюбели длиной 60 мм, с диаметром 4,5 мм.

Применение в узлах для соединения деревянных стержней металлических пластин и дюбелей могут исключать размыкание узлов ферм при динамических воздействиях, но при этом несущая способность будет невысокой.

Развитие промышленного производства, увеличение выпуска крупногабаритной индустриальной продукции, появление гибких, часто изменяющихся технологических процессов, обслуживаемых подвесным крановым оборудованием, диктует необходимость строительства промышленных зданий с увеличенными пролетами. Кроме того, в процессе эксплуатации покрытия могут подвергаться различным динамическим воздействиям. Учитывая изложенное, возникает необходимость изучения их динамических характеристик в условиях эксплуатации.

В работе Колодежнова С.Н. приведены динамические характеристики перекрестных висячих комбинированных покрытий промышленных зданий, полученные экспериментальным путем. Экспериментальная модель представляет собой каркас, состоящий из шести поперечников рамного типа пролетом 15м с подкреплением ригеля висячим элементом и трех продольных неразрезных связевых ферм, объединяющих висячие фермы в единый пространственный блок.

Эксперимент заключался в определении частоты свободных вертикальных колебаний пролетной конструкции. При испытаниях отдельной рамы ригель раскачивался человеком, а колебания перекрестной висячей системы вызывались отрывом груза 2,5кн.

Экспериментально полученные динамические характеристики крупногабаритной модели висячего покрытия сопоставлялись с теоретически полученными. Так, для отдельной рамы низшая собственная частота, полученная в ходе обработки результатов

эксперимента, составила 8,36 Гц, а теоретическое значение 8,27 Гц. Для пространственной конструкции эти величины соответственно равны 6,64 Гц и 6,25 Гц. Некоторые расхождения в результатах объясняются различными факторами, в том числе дискретным представлением распределенной массы, что обычно приводит к занижению значений частот.

В работе рассматриваются конструкции, где отсутствуют односторонние связи, что делает ее мало привлекательной с точки зрения исследования конструктивно-нелинейных систем.

Создание и усовершенствование новых конструктивных форм повышают значение динамического расчета конструкций с использованием методов оптимизации. Наряду с оптимизацией конструкций необходимо уделять серьезное внимание разработке новых способов снижения передающихся на них динамических нагрузок. Перспективно в этом смысле применение энергопоглощающих неупругих связей, включающих, в частности, демпферы вязкого сопротивления. Динамическому расчету и оптимизации плоских стержневых конструкций с неупругими связями вязкого сопротивления посвящена работа Юманова В.А.

Для подтверждения эффективности применения неупругих связей в пролетных конструкциях проводилось экспериментальное исследование колебаний натурального блока покрытия и балки с подсоединенными к ним неупругими связями. Блок покрытия размером в плане 12х3 м состоит из двух стальных ферм рыбоводного очертания. Две неупругие связи выполнены в виде однопанельных ферм длиной 4 м, параллельных основным фермам блока и соединенных с последними шарнирно в коньковых узлах; демпферы установлены между крайними узлами треугольных ферм и соответствующими узлами основных ферм. Исследования показали, что неупругие связи повысили демпфирование колебаний блока покрытия в 2,3 раза. На основе исследований

предлагаются неупругие связи в рамных каркасах выполнять в виде порталных связей с демпферами, устанавливаемые между верхними узлами портала и соответствующими узлами рамы. Конечно, установленные такие связи препятствуют введению конструкций рамных каркасов в резонансное состояние, но не исключают развития торцевых деформаций деревянных сжатых стержней, если в рамных каркасах имеются металлодеревянные стержневые системы.

Очевидно, что оптимизационная задача обеспечения сейсмостойкости сооружений при минимуме затрат на антисейсмические усиления является важнейшей проблемой.

В последнее время находят широкое применение системы сейсмозащиты, которые обеспечивают снижение сейсмических нагрузок. К числу таких систем относятся системы с выключающимися связями. При выключении связей и соударении основной части здания с ограничителями перемещений возникают динамические явления и переходные процессы, которые могут оказать существенное влияние на динамическое поведение сооружения в целом.

В работе Ногай Р.В. исследована сейсмостойкость зданий с ограничителями перемещений и выключающимися связями. Также приводятся экспериментальные значения коэффициентов восстановления и экспериментальная оценка поведения вертикальных железобетонных диафрагм при ударных нагрузках. Основная цель экспериментов заключалась в том, чтобы выявить зависимости коэффициентов восстановления от скорости и энергии ударяющего тела вплоть до разрушения испытываемого образца. Эти данные необходимы для более точного численного анализа поведения системы с упорами – ограничителями перемещений, работающих в упругой и упруго-пластической стадиях.

Для испытаний моделей диафрагм был сконструирован и изготовлен специальный маятниковый копер, для передачи ударных

нагрузок. Модели диафрагм были изготовлены в 1/2 натуральной величины с использованием метода простого геометрического подобия.

В результате численного эксперимента выявлено, что скачок ускорений, вследствие выключения связей, в несколько раз ниже значений максимальных ускорений, развивающихся в идентичных по жесткости системах со стационарными характеристиками при одинаковых воздействиях. При соударении основной части здания с упором, некоторое количество энергии движения переходит во внутренние колебания конструкций, снижая тем самым значения перемещений и ускорений всей системы. В этих исследованиях речь идет только о железобетонных конструкциях, здесь не рассматриваются сооружения с комбинированными металлодеревянными конструкциями, где они имеют свои особенности при динамических воздействиях.

Работа Штейна А.В. и Зылева В.Б. также посвящена статике и динамике пространственных вантово-стержневых систем при больших перемещениях. Здесь совершенствуются численные методы расчета конструктивно-нелинейных вантово-стержневых систем. Приводятся экспериментально полученные нелинейные диаграммы растяжения стального троса ϕ 4,3 мм и капронового фала ϕ 8 см. При расчетах диаграмма аппроксимируется кусочно-линейной функцией. Все операции по определению концевых усилий и построению эффективных касательных матриц жесткости нитей и стержней остаются прежними. Разница лишь в том, что при определении относительной деформации, например, какого-либо участка нити от продольной силы на этом участке вместо использования закона Гука значение деформации берется из задаваемой диаграммы. Сделан вывод о необходимости учета в целом ряде случаев нелинейно-упругой работы элементов нитевых систем. При динамических расчетах нить заменяется шарнирно-стержневым многозвенником, массы

сосредотачиваются в шарнирах. Численная методика этого анализа основывается на пошаговом экстраполяционном методе Адамса интегрирования уравнений движения. В этих исследованиях в основном рассматриваются пространственные вантово-стержневые системы при больших перемещениях и совершенствуются численные методы статических и динамических расчетов. Здесь не рассматриваются плоские комбинированные, конструктивно-нелинейные вантово-стержневые системы, хотя можно было бы проверять разработанный численный метод для расчета таких систем, чтобы определить ее универсальность.

Представляет особый интерес экспериментальные исследования проведенные Блажко В.П. на балках с односторонними связями, подверженных динамическим воздействиям. Целью эксперимента являлись исследования упругих стержневых систем с большим количеством сосредоточенных масс, исследование резонансных свойств системы. Эксперименты проводились над моделью балки, выполненной из алюминиевого швеллера, который имеет следующие геометрические характеристики: высота стенки - 29 мм; ширина полки – 18,9; толщина полки и стенки – 1,8 мм. В качестве нагрузочного устройства использовалась малогабаритная вибромашина ненаправленного действия. Испытания проведены при различных вариантах включения опор и расположения сосредоточенных масс (рис). Получены записи уравнений движения систем с односторонними связями в форме, удобной для численной реализации и анализа. Эта работа имеет определенное значение в планировании эксперимента при испытании моделей на динамическую нагрузку, но нельзя непосредственно относить к испытаниям комбинированных конструкций.

В 1984 году Исабековым К. проведены экспериментальные исследования моделей пространственных стержневых систем (типа ПСПК) на динамическую нагрузку. Выполнение экспериментальные

исследования позволили получить основные параметры собственных колебаний ПСПК как в вертикальных, так и в горизонтальных направлениях при различных этапах и видах загрузки конструкции. Периоды собственных вертикальных и горизонтальных колебаний ПСПК соответственно находились в пределах от 0,06 до 0,029 и от 0,04 до 0,41 сек. Логарифмический декремент колебаний при вертикальных колебаниях составил от 0,015 до 0,065. Но эти характеристики получены на модели, изготовленные только из одного материала (стали) с обычными узловыми сопряжениями, следовательно, не сравнима с динамическими характеристиками плоских сквозных комбинированных стержневых систем.

В 1987 году К.И. Рузиевым проведены экспериментальные исследования натурной металлодеревянной комбинированной стержневой конструкции на динамическую нагрузку, создаваемой мгновенным сбросом груза, где получены динамические параметры системы простым затухающим колебанием. Здесь не рассмотрены варианты воздействия динамической нагрузки, резонансные ситуации и последствия, связанные с ними.

В работе Турсунова С. исследована ортогональная металлодеревянная структурная конструкция размерами в плане 1400x1400 мм, высотой 200 мм, т.е. 1/7 пролета. Экспериментальные исследования проведены с целью изучения напряженно-деформированного состояния структуры. Как показали исследования, теоретические значения прогибов оказались в среднем в 1,4-1,6 раза меньше, чем фактические экспериментальные.

Такое расхождение можно объяснить тем, что в расчетах исследователем не учитывался дополнительный прогиб от торцевых смятый деревянных стержней.

Особый интерес представляют натурные испытания, проведенные проф. К.С.Абдурашидовым пространственных стержневых

металлических систем на динамическую нагрузку. Декременты колебаний в горизонтальном направлении равнялись 0,15, в вертикальном 0,04. Как установлено, период колебаний в вертикальной плоскости при разрушении конструкции составила 0,86 сек.

Приведенные экспериментальные данные и сведения о конструктивных схемах являются сравнительными параметрами для дальнейших исследований различных стержневых систем на динамическую нагрузку.

Среди зарубежных исследователей выделяются работы Бископа С, Янке Г, Корозека Ф, Кофента В, Менка В, Руга В, Зулинга П, Ценкера П. которые в последние годы успешно работают в области исследований стержневых систем.

Проведенный анализ современного состояния теоретико-экспериментальных исследований показал, что динамике плоских стержневых металлодеревянных систем уделено недостаточное внимание, как в теоретическом, так и в экспериментальном плане.

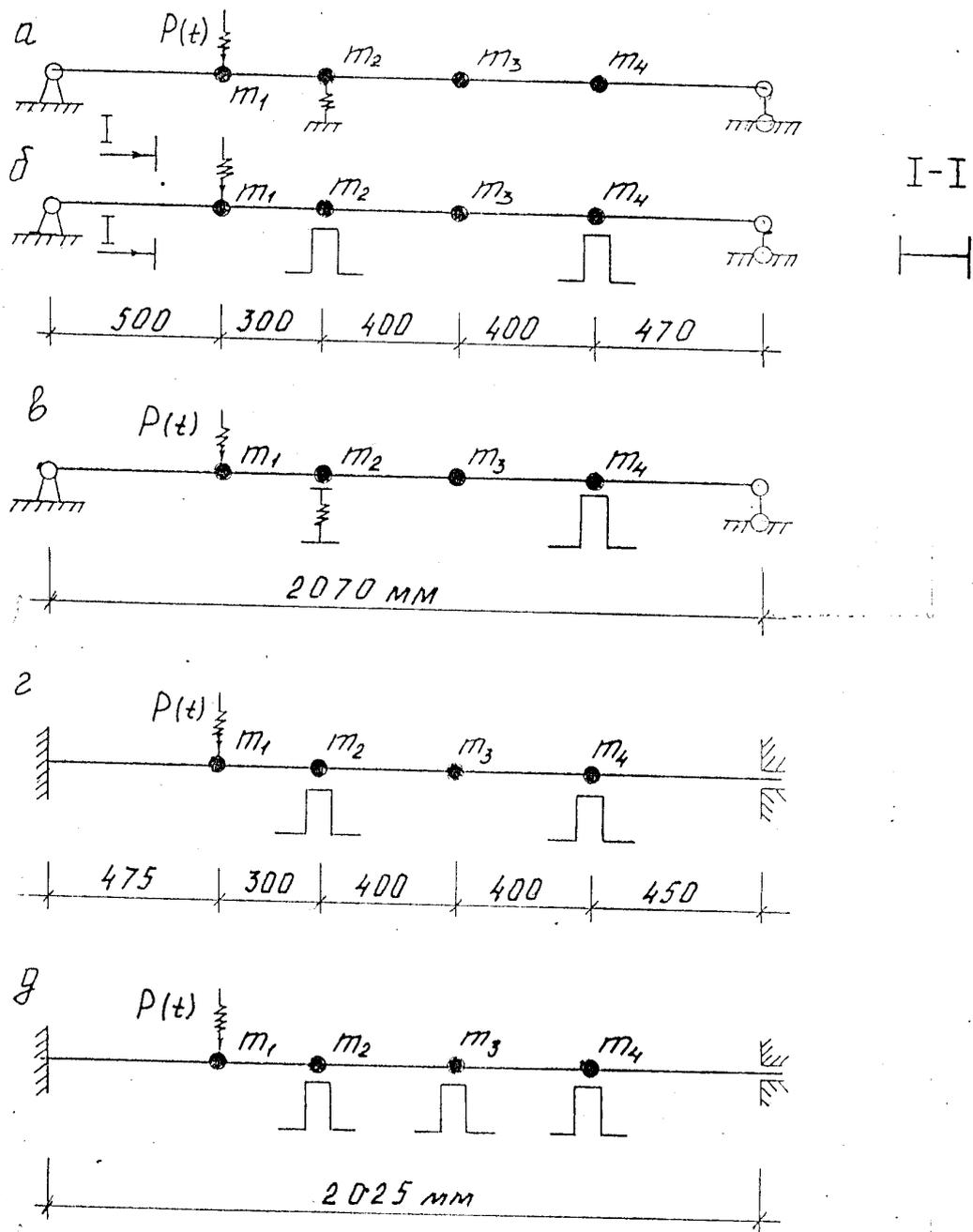


Рис. 1.2 Балки с односторонними связями:

- а - балка с одной упругой односторонней связью;
- б - с двумя жесткими односторонними связями;
- в - одной упругими и жесткими односторонними связями;
- г - балка с жесткими концевыми закреплениями;
- д - тоже, с тремя жесткими односторонними связями.

1.3. Постановка задач экспериментально-теоретических исследований комбинированных стержневых конструкций

Проведенные анализы теоретических и экспериментальных исследований показывают, что поведение конструктивно – нелинейных плоских комбинированных металлодеревянных систем при воздействии динамических сил не рассматривались, следовательно, отсутствуют материалы о сейсмостойкости таких конструкций.

В существующих методах расчета комбинированных металлодеревянных стержневых конструкций не учитывался процесс скапливания торцевых деформаций сжатых деревянных стержней, существенно влияющих на напряженно-деформированное состояние системы. В связи с изложенным поставлены следующие задачи исследований:

- разработать методику учета и изучить развитие торцевых деформаций деревянных сжатых стержней при повторно-переменных нагрузках;
- разработать наиболее простую модель комбинированных металлодеревянных стержневых конструкций (ферм);
- изучить формы колебаний комбинированных конструкций при динамических нагрузках с различными параметрами;
- определить возможность использования комбинированных конструктивно-нелинейных систем в сооружениях с динамическими нагрузками, в том числе в сейсми-активных регионах.

Глава II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ ЦЕПНОЙ БАЛКИ С ОДНОСТОРОННИМИ СВЯЗЯМИ

Теоретически подтверждено отсутствие подбрасывания масс (размыкания узлов, выполненных торцевым упором) в комбинированных стержневых конструкциях при действии различных возмущающих динамических нагрузок. Разработанная автором

методика учета развития торцевых деформаций при динамическом расчете позволила констатировать факт увеличения (до асимптотического уровня) статических (v_{cm}) деформаций, что еще больше увеличит разницу между v_{cm} и максимальной амплитудой $v_{t \max}$. Чем больше $\Delta v = v_{cm} - v_t$, тем менее вероятно размыкание узлов и следовательно, конструкция более устойчива к динамическим воздействиям. Все это требует экспериментальной проверки.

Из обзора современного состояния экспериментальных исследований конструкций на динамику (см. глава I) видно, что конструктивно-нелинейные системы типа цепных балок еще экспериментально неизучены. Ввиду этого, в настоящей главе рассмотрена методика экспериментальных исследований, включая описание конструкций самой балки, экспериментальной установки, испытательной аппаратуры, результаты испытаний и их сравнение с теоретически полученными.

II.1. Характеристика и конструкция моделей цепной балки.

Работа комбинированных металлодеревянных стержневых плоских систем (ферм) с жесткими сжатыми и гибкими растянутыми элементами при динамических нагружениях отличается от работы традиционных конструкций. Наличие односторонних связей, не работающих в одном случаях на сжатие, в другие – на растяжение, представляют определенные трудности при определении форм колебаний комбинированных систем, что требует их специального изучения экспериментальным путем. Однако проведение натурных динамических исследований плоских стержневых систем представляется весьма трудоемким и дорогостоящим.

Исходя из этого, в настоящей работе сделана попытка решить указанные задачи более доступным путем при помощи экспериментальных исследований на малых моделях.

Модель комбинированной металлодеревянной стержневой конструкции представлена в виде цепной балки, состоящей из двенадцати отдельных звеньев размером 45x65x250 мм, изготовленной из древесины сосны не имеющей пороков. Сечения балки были определены из условий прочности по первому и второму предельному состоянию. Связь между звеньями осуществлена с помощью стальной гибкой ленты сечением 0,5x45 мм прикрепляемых с их одной стороны шурупами диаметром 3 мм. Общая длина балки состоящей из двенадцати звеньев 3200 мм (рис 2.1).

Основными критериями для выбора характеристик модели были статические расчеты по первому и второму предельным состояниям.

В нашем случае нормативный прогиб был принят равным $1/300$ пролета балки. При общей длине пролета 3000 мм (расстояния между опорами) максимальный прогиб при нагружении цепной балки весом вибратора и добавочными массами равнялся 9 мм, с учетом податливости, что составляет $1/333$ пролета.

II.2. Установка для проведения испытаний.

Экспериментальная установка состоит из станины, куда закрепляются опытная конструкция и вибромашина.

Рис 2.1. Общий вид станины с установленной цепной балкой

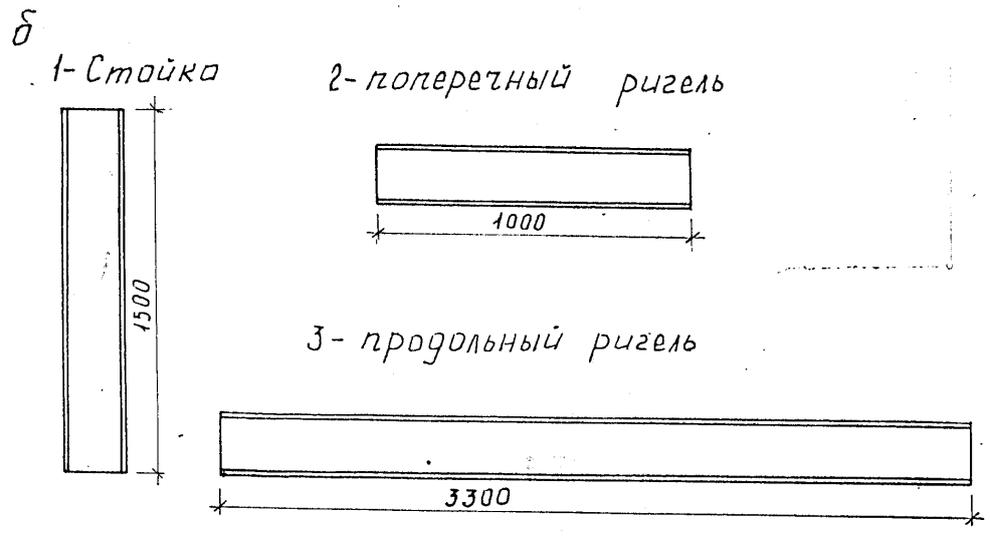
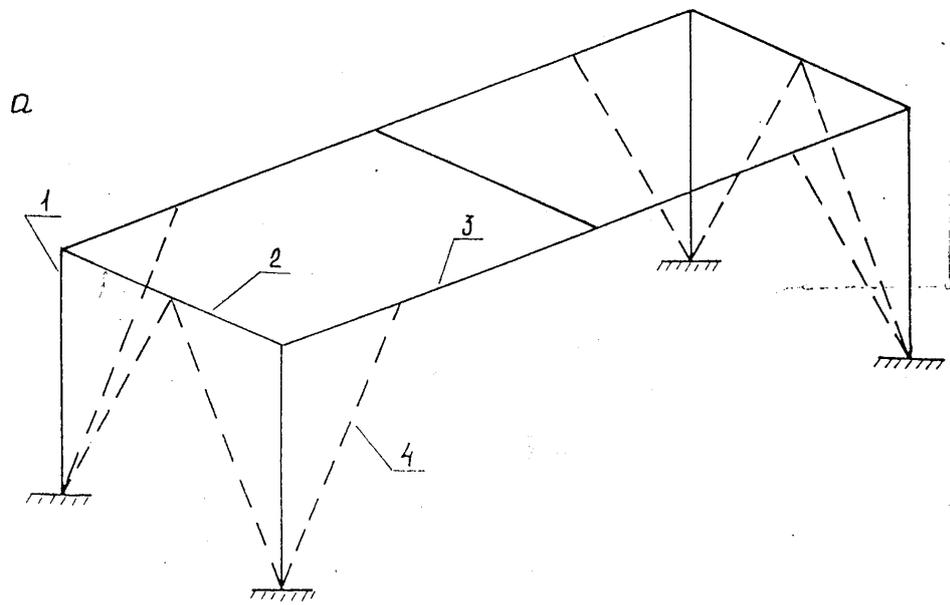


Рис2.2. Станина:
 а- общий вид; б- конструктивный элементы;
 1- стойки; 2- поперечные ригели, 3- продольные ригели, 4- подкосы.

II.2.1. Конструкция станины

Станина представляет собой пространственную раму состоящую из ригелей [12 и стоек, имеет размеры в плане 3000x1000 мм, высота-1500 м (рис 2.2).

Для обеспечения пространственной жесткости, опоры рамы жестко заземлены в основании забетонированием и снабжено подкосными системами. Опытная конструкция прикрепляется на поперечные ригеля с помощью подвижных и неподвижных шарниров. Назначительную горизонтальную возмущающую силу от вибромашины воспринимает станина. В конструкцию шарниров входят: металлические пластинки (размером 200x60x3 мм), цилиндрическая ось ($d = 20 \text{ мм}$, $l = 200 \text{ мм}$), опорные уголки (100x100x10), гайки со стопорными болтами. Пластинки подвижной опоры имеют овалообразные отверстия, допускающие горизонтальные перемещения.

II.2.2. Конструкция вибромашины.

Вибромашина состоит из дебаланса и электродвигателя постоянного тока типа МУН-2 У4 с мощностью 100 Вт и числом оборота 2200 в минуту. Крутящий момент передается от двигателя в дебаланс через муфты сцепления. Возможные несоосности валов двигателя и дебаланса воспринимает резиновая прокладка муфты сцепления. Дебаланс имеет прямоугольный коробчатый корпус (255x150x85 мм), двух шестерен диаметрами по 120 мм, вал для вращения и неуравновешенных масс. Диапазон изменения эксцентриситета неуравновешенных масс до 55 мм. Вибромашина позволяет создавать возмущающую силу в различных направлениях (только вертикальных, только горизонтальных и в сочетании горизонтальных и вертикальных возмущающих нагрузок). С точки зрения поставленной задачи, заключающейся в выявлении динамических характеристик исследуемой конструкции включая и

резонансную, одновременное действие пульсаций в двух взаимно перпендикулярных направлениях нежелательно, так как при этом усложняются проведение необходимых инструментальных измерений и последующая обработка и оценка полученных результатов. Если массы и эксцентриситеты обоих дебалансов соответственно равны, то при постоянной скорости вращения w (по абсолютной величине равны) совпадают также их углы α по абсолютной величине, характеризующие (в любой момент времени) положение вращающихся грузов относительно горизонтали. При соблюдении всех этих условий, вертикальные составляющие при воздействии на испытываемый объект центробежных сил будут суммироваться, горизонтальные же составляющие тех же сил – взаимно погашаются. Вертикальное воздействие в момент положения грузов под углом α будет равно

$$S = \frac{G_{gp}}{g} e \cdot w^2 \cdot \sin \alpha$$

Экспериментальные значения S при $\alpha = \pm 90^\circ$

$$S_{\frac{\max}{\min}} = \pm 2 \frac{G_{gp}}{g} \cdot e \cdot w^2,$$

где: G_{gp} - вес грузов; g - ускорение свободного падения; e - эксцентриситет груза; w - скорость вращения; α - угол определяющий положение груза в момент времени.

Установка вибромашины на цепную балку приведена на рис 2.3, а кинематическая схема вибромашины приведена на рис 2.4, масса вибромашины – 12,7 кг, в том числе: дебаланса – 8,5 кг, муфты сцепления – 0,2 кг, двигателя – 4 кг.

Рис.2.3. Установка вибромашины на цепную балку.

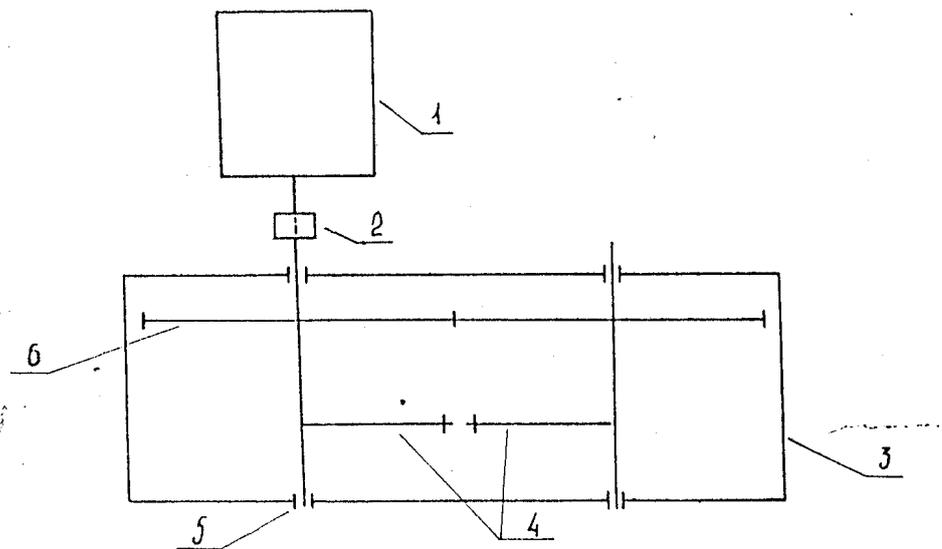


Рис.2.4. Кинематическая схема вибромашины:
1- электродвигатель типа МУН-2 У4;
2- муфта сцепления; 3- корпус вибромашины с размером 85x145x255мм; 4- эксцентрик; 5- подшипник качения ($d = 35\text{mm}$);
6- шестерни диаметров 120 мм.

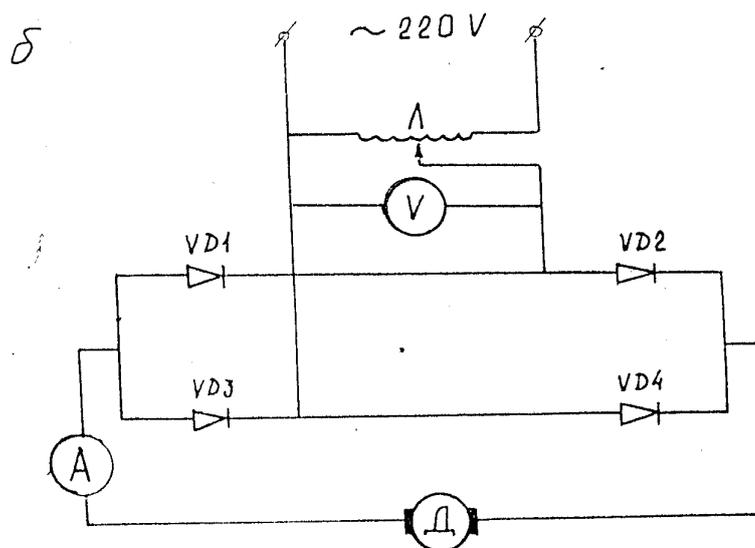


Рис.2.5 Пульт управления (а) и электрическая схема управления вибрوماшиной:
 А -автотрасформатор типа А ОСН-8;
 V- вольтметр, А- амперметр, VD1-VD4-Д248 электродвигатель типа МУН-2 У4

Для крепления вибрوماшины изготовлен кронштейн, состоящий из уголков 32x32 мм, который с помощью подшипников качения шарнирно закреплен к оси вращения (диаметр 20 мм) на станину. Число оборотов вибратора регулировалось с помощью автотрансформатора типа А ОСН-8, введенного в схему управления вибрوماшины. Пульт управления и электрическая схема управления вибрационной машиной

направленного действия с неуравновешенными массами приведены на рис. 4.5.

II.3. Статические испытания и их результаты

Статические испытания модели цепной балки проводились с целью определения возможности ее использования в исследованиях при динамических воздействиях.

В процессе испытаний намечено получение зависимостей: «нагрузка-деформация», «нагрузка-напряжение», а также экспериментальное значение разрушающей нагрузки и сравнение их с расчетное полученными. Конструкция модели цепной балки описана в разделе 2.1. Закрепление опытной цепной балки осуществлено с помощью подвижных и неподвижных шарниров (рис.2.6). Шарнирно-неподвижная опора допускает свободный поворот, но препятствует продольному перемещению, а шарнирно-подвижная допускает свободное перемещение опоры балки вдоль ее оси и поворот.

Нагрузка прикладывалась сосредоточенно, в середине пролета ступенями, каждая из которых не превышала 10% от расчетной нагрузки. Тензорезисторы марки 2ПКБ-20-201, 9Х для измерения фибровых деформаций располагались по высоте сечения: два по краям, где возможны максимальные значения сжимающих и растягивающих напряжений, и три в промежуточных точках (рис. 2.7). Тензорезисторы наклеены симметрично по обеим сторонам сечения цепной балки. Схема тензометрической цепи, включающая 10 активных и I компенсация датчики показана на рис. Прогибомеры марки ПМ-3 и ПАО-6 установлены на правой половине балки с интервалом в два звена (рис). Показания тензодатчиков фиксировались измерителем деформаций цифровым ИДЦ-1. Питание прибора ИДЦ-1 от источника постоянного тока напряжением 12 в. Основная погрешность измерения прибора не более $20 \text{ еод/1 еод} = 10^{-6}$ относительной деформации Δ/l .

Сосредоточенная нагрузка на балку создавалась с помощью грузовой платформы, подвешенной к балке траверсой (рис). Были использованы гири весом 4 и 1,8 кг.

После каждой ступени нагружения снимались отсчеты по ИДЦ-1 и прогибомерам. Результаты фиксировались в журнале испытаний. Время нагружения каждой ступени составляло (при полном нагружении) 3-5 минут, время выдержки для снятия отсчетов 15 мин. При этом велось наблюдение за поведением конструкции. Эксперимент проводился в помещении лаборатории с температурой воздуха $21 \pm 1^{\circ}\text{C}$ и нормальной влажностью воздуха.

Контрольные испытания показали, что цепная балка на всех этапах статического нагружения работала в упругой стадии работы материала. С возрастанием нагрузки пропорционально увеличились деформации. При снятии нагрузки модель восстанавливалась в первоначальном состоянии по прогибам и деформациям звеньев цепней балки (рис.2.10).

Эпюра прогибов от сосредоточенной нагрузки, приведенная на рис. показывает, что экспериментальная модель работала стабильно. В середине конструкции прогиб имел максимальное значение, ближе к опорам – затухающим характер. При достижении значения нагрузки в 156,6 кгс были сняты прогибомеры.

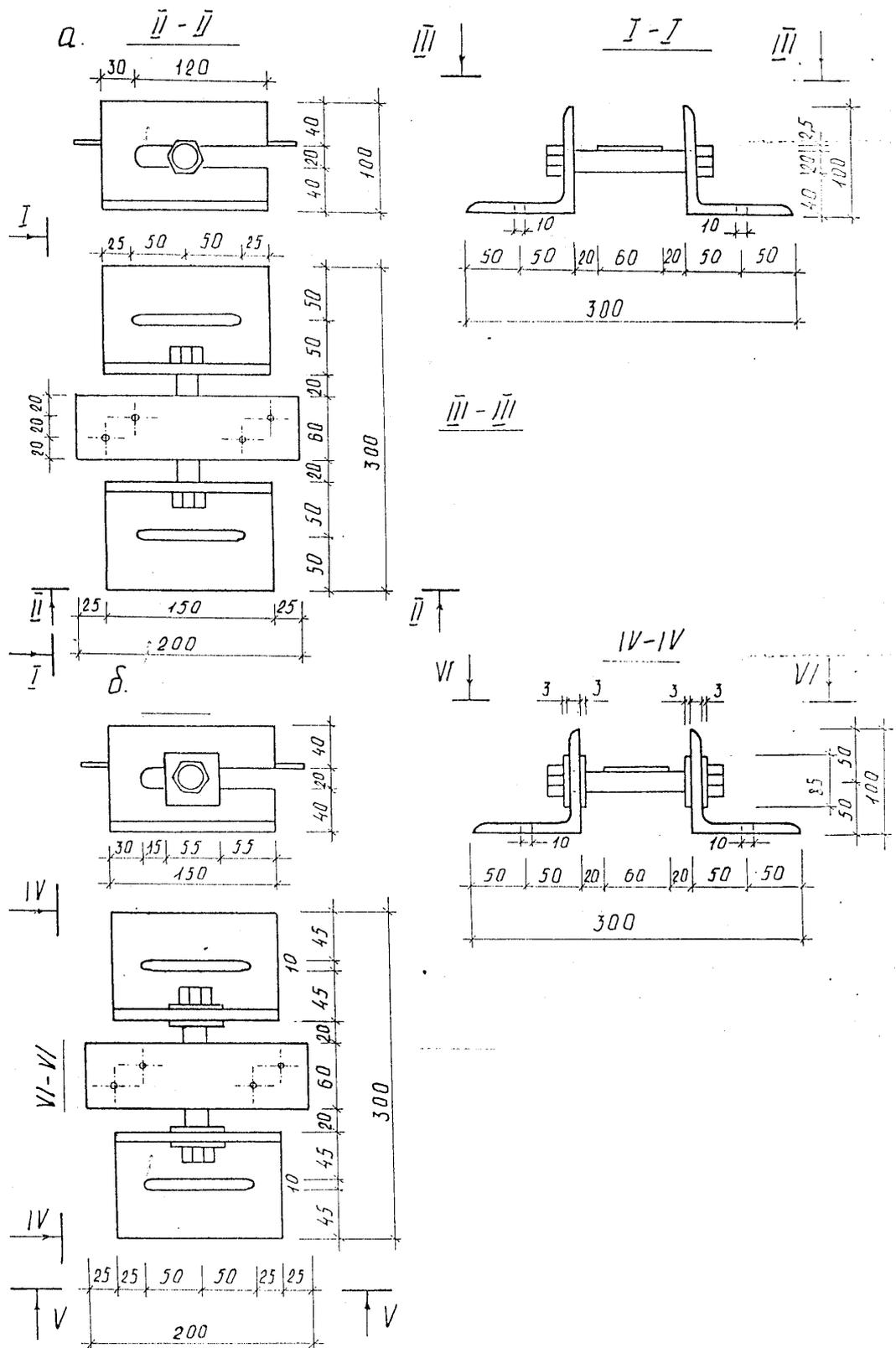


Рис. 2.6. Схемы подвижных (а) и неподвижных (б) шарниров в трех проекциях

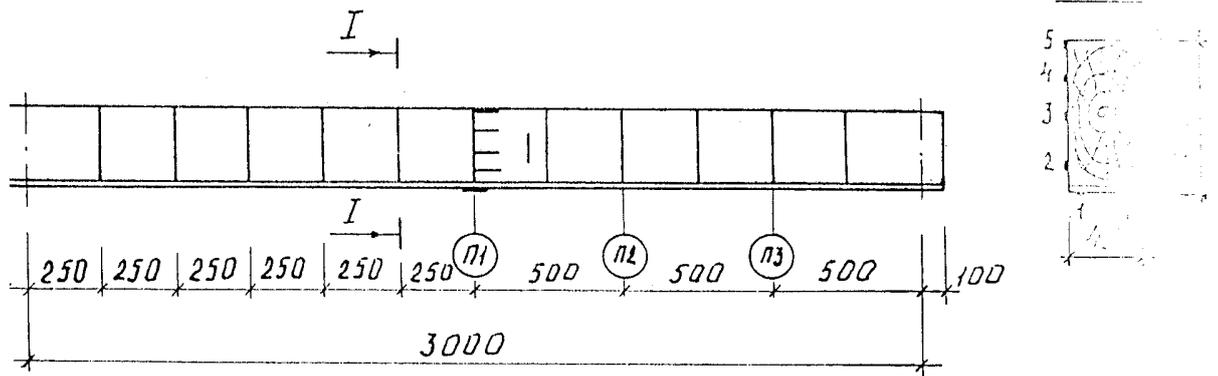


Рис. 2.7. Общий вид расстановки тензорезисторов и прогибомеров:

- тензорезисторы сопротивления – $R = 201,9 \text{ Ом}$ (11 штук); П1, П2, П3, - прогибометры

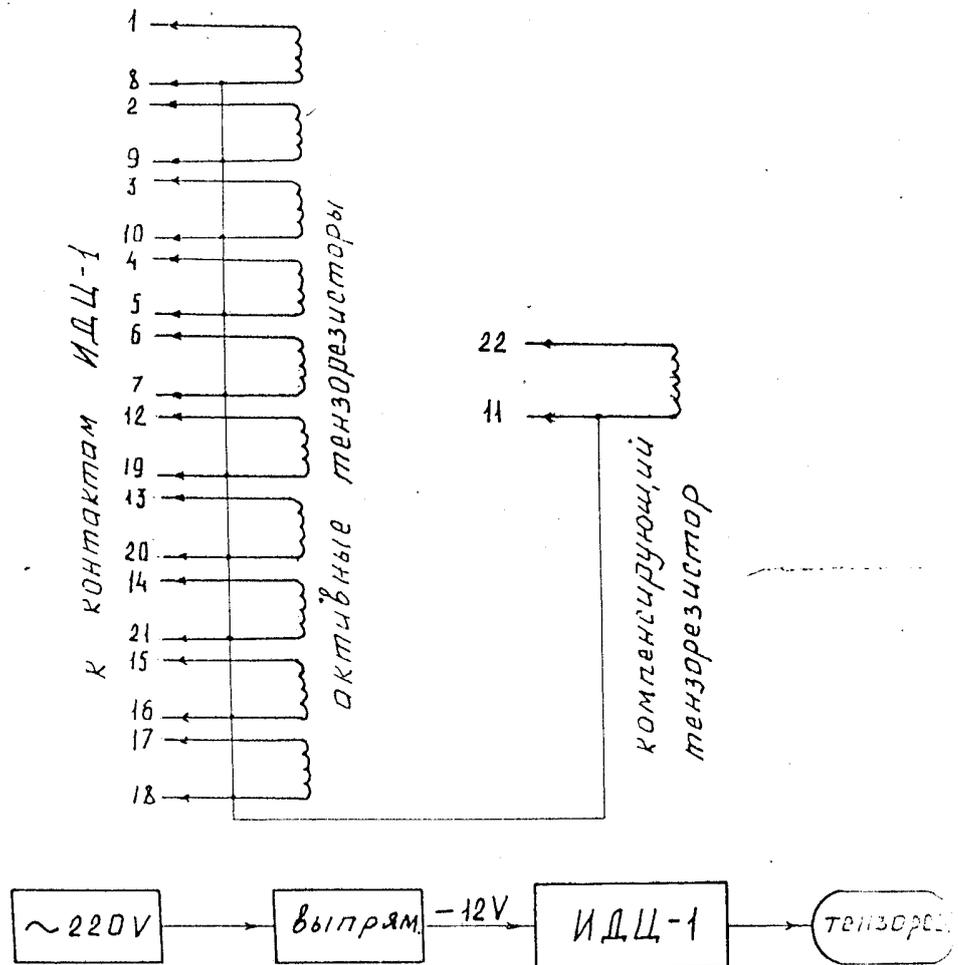


Рис.2.8. Схема подключения тензорезисторов в ИДЦ-1.

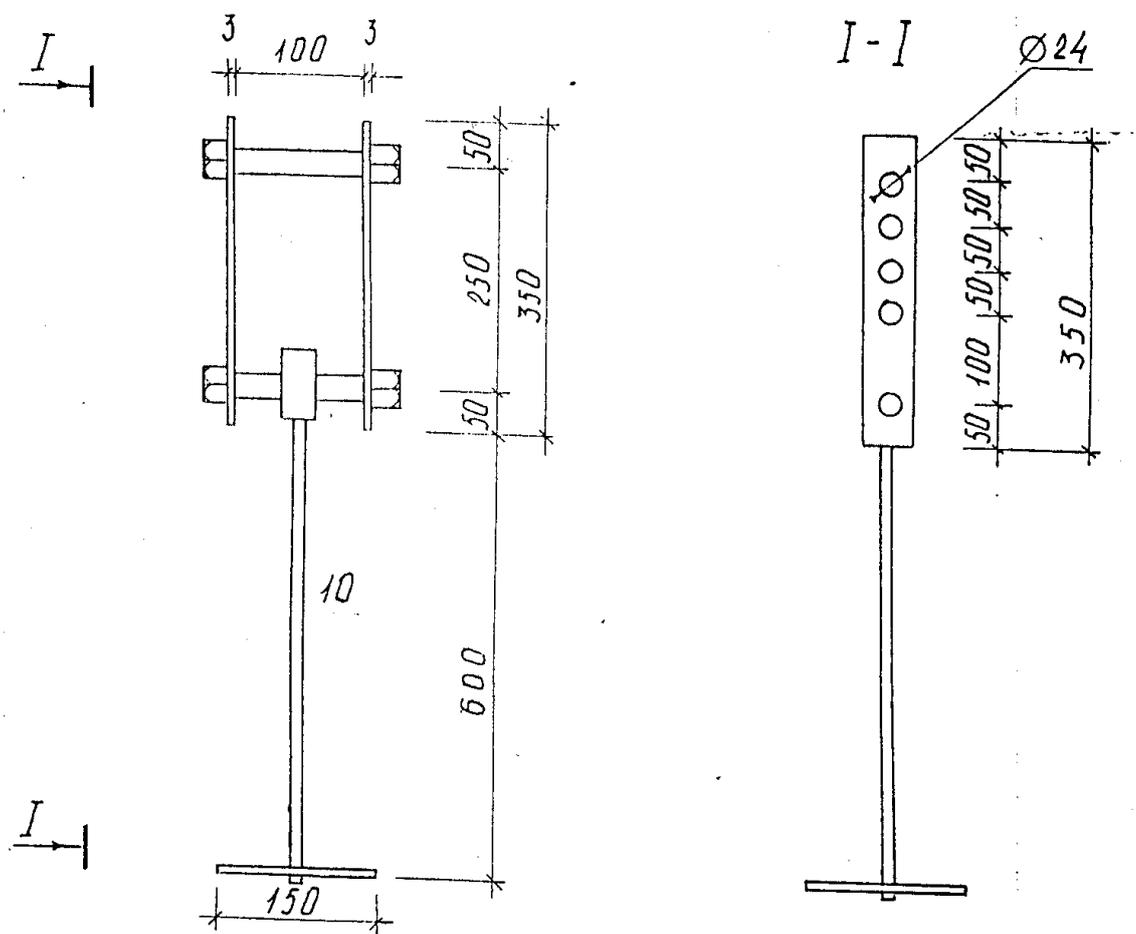


Рис.2.9. Травверса для передачи статической нагрузки.

Рис.2.10. Общий вид установки (а) и грузовой траверсы (б)

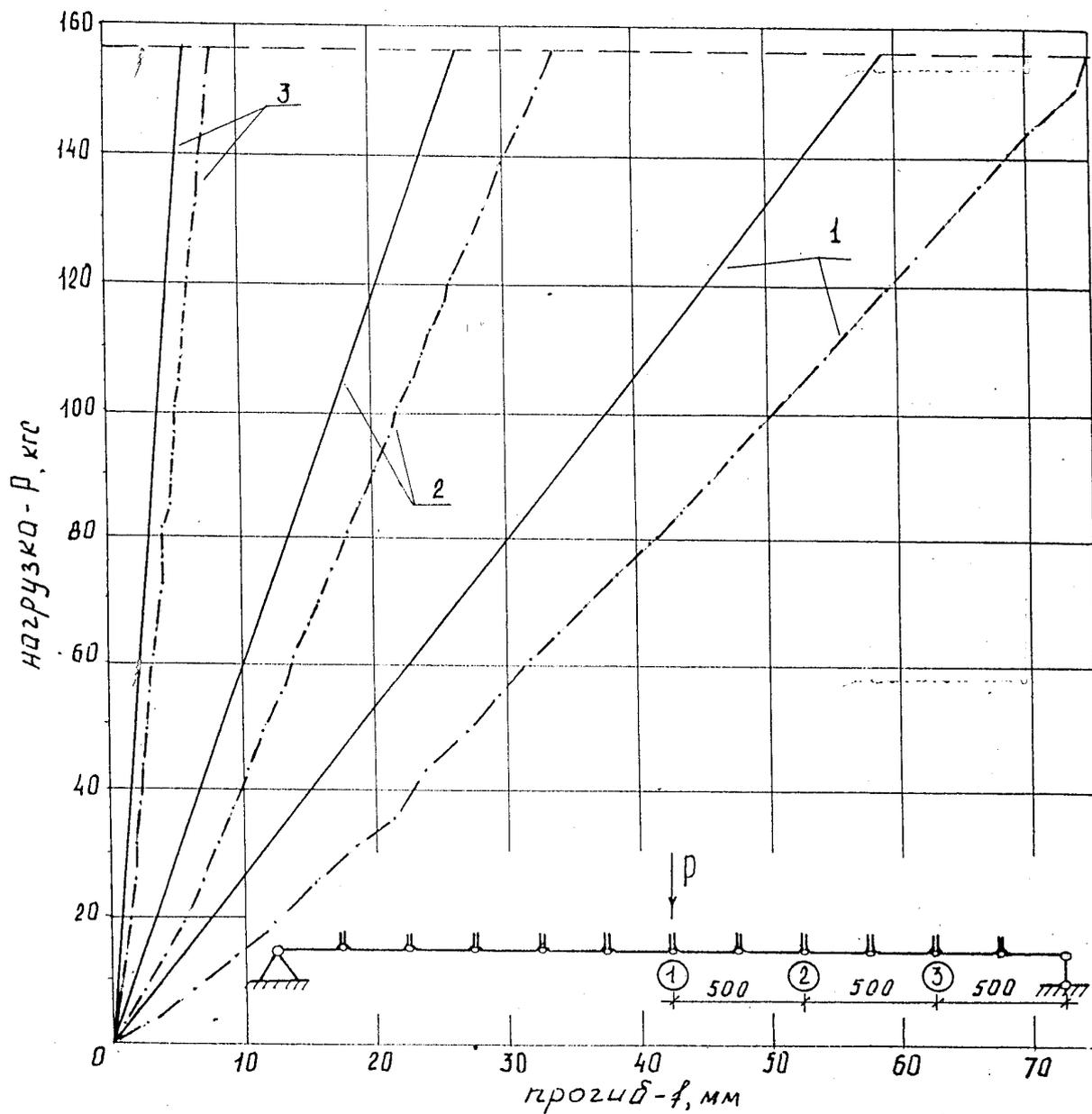


Рис.2.11. Графики зависимости нагрузки – Р и прогиба -f

————— теоретические - - - - - экспериментальные

Рис. 2.12. Разрушения опытной балки.

Разрушения происходили при нагрузке – 168,6 кгс (рис.2.12).

Из графиков зависимостей ($P - f$, рис.2.11) видно, что экспериментальная модель обладает достаточной несущей способностью и жесткостью при относительно малых величинах собственной массы и может быть использована для проведения динамических испытаний.

Обработка данных, полученных по ИДЦ-I произведена с помощью нижеприведенных формул.

Величина деформации при коэффициенте тензочувствительности тензорезисторов – $K=2,19$ определялась по формуле

$$E_{ист} = \frac{2}{K} E ,$$

Где: $E = E_n - E_H$

$K=2,19$ – коэффициент тензочувствительности;

$E_{ист}$ - истинная относительная деформация $\Delta l/l$;

E_n - измерение при нагруженном объекте;

E_H - начальное измерение.

Положение нейтральной оси определялось обычным путем, только здесь стальная полоса заменялась деревянной полосой эквивалентной по прочности. Расчеты проведены по приведенным характеристикам A_{np} , J_{nn} .

Рис.2.13. К определению приведенных геометрических характеристик.

Приведенная площадь поперечного сечения

$$A_{np} = \frac{E_c}{E_d} A_c + A_d, \quad b_{np} = \frac{\frac{E_c}{E_d} \cdot A_c}{\delta_c} = \frac{4,725}{0,05} = 94,5 \text{ см},$$

здесь: A_{np} - приведенная площадь поперечного сечения;

A_c, A_d - площади поперечного сечения стали и древесины;

E_c, E_d - модули упругости соответственно стали и древесины;

δ_c - толщина стальной ленты;

b_{np} - приведенная ширина сечения стали.

Приведенный момент инерции сечения

$$J_{np} = \frac{4,5 \cdot 6,5^3}{12} + 4,5 \cdot 6,5 \cdot 0,455^2 + \frac{94,5 \cdot 0,05^3}{12} + 94,5 \cdot 0,05 \cdot 2,82^2 = 146,48 \text{ см}^4.$$

По рис. находим значение значение разрушающей нагрузки – Р

$$M_{\max} = N_p \cdot Z_0 = \sigma_c \cdot A_c \cdot Z_0$$

$$M_{\max} = \frac{pl}{4} \quad (\text{от сосредоточенной нагрузки в середине пролета}).$$

Приравнивая значения M_{\max} находим

$$\frac{pl}{4} = \sigma_c \cdot A_c \cdot Z_0$$

$$P = \frac{4 \cdot \sigma_c \cdot A_c \cdot Z_0}{l} = \frac{4 \cdot 5100 \cdot 0,05 \cdot 4,5 \cdot 5,315}{300} = 81,32 \text{ кгс},$$

где: M_{\max} - изгибающий момент в середине пролета;

N_p - растягивающее продольное усилие;

- расстояние от нейтральной оси до N_p ;

σ_c - нормативное временное сопротивление стали марки С375;

P - теоретическая разрушающая нагрузка.

При анализе графиков (рис.2.13, табл.П6 и П7 приложения П) выявлено, что экспериментальные прогибы больше, чем теоретические на 21,5% (максимальные). Это объясняется податливостью узловых сопряжений за счет торцевых деформаций. Экспериментальные напряжения в сжатой зоне 2,5-3 раза меньше чем теоретические, а в растянутой зоне, наоборот, экспериментальные напряжения 2,5-3 больше, чем теоретические. Из этого следует, что дополнительные прогибы от податливости узловых сопряжений вызывают развития напряжения в нижней растянутой зоне.

Расчетная несущая способность конструкций составила 81,32 кгс. Разрушения цепной балки произошли при нагрузке – 168,6 кгс от разрыва стальной ленты. Запас прочности составляет $\frac{P_{экс}}{P} = \frac{168,6}{81,32} = 2,07$.

Несмотря на большую гибкость конструкций, она имеет достаточную прочность для дальнейших динамических испытаний.

II.4. Динамические испытания и их результаты

Динамические испытания включают следующие этапы:

- монтаж и подготовка к работе комплекта регистрирующих аппаратур;
- тарировка вибродатчиков;
- исследование собственных колебаний цепной балки при P приложенной в середине пролета;
- тоже, при P в 0,29 l пролета;
- возбуждение гармонических вынуждающих колебаний при $P(t)$ в середине пролета;
- тоже, при $P(t)$ в 0,29 l пролета;

- введение в резонансное состояние при вынужденных колебаниях, диапазоне частот от 0,3 до 20 гц;
- масса эксцентрика во всех испытаниях меняется в пределах 33,1-102,5г, диапазон изменения эксцентриситета e , до 55 мм.

Методика проведения экспериментальных исследований цепной балки на динамические воздействия

Колебания модели конструкции в вертикальном направлении возбуждались вибромашиной направленного действия. С целью управления вибромашиной определена зависимость числа оборотов вала дебаланса от направления при различных массах эксцентрика (рис.2.14).

Для проведения динамических колебаний был использован комплект регистрирующей аппаратуры, который с достаточной точностью и надежностью позволил зафиксировать параметры колебаний модели, обеспечивая при этом получение наиболее полной качественной информации по исследуемому объекту. Выбор аппаратуры для регистрации колебаний производился с учетом возможности записи осциллограмм в диапазоне частот от 0,3 до 20 герц и получение многоточечной записи в перемещениях для выявления возможных форм колебаний. При испытаниях использовалась следующая аппаратура (рис.):

- Преобразователь перемещений в электрические сигналы, выполненный в виде скобы (сегментным очертанием) постоянного сечения из упругого материала (синтетический капрон), жесткость которого непренебрежительно мала. На каждую скобу – вибродатчика наклеивались по одному тензорезистору на бумажной основе с базой 20 мм. Напряжение питания датчиков $9 \pm 5\%$.

- Тензоусилители марки ТОПАЗ-3-01, для усиления выходного сигнала тензометрических датчиков. Выход приборов рассчитан на

подключение к гальванометрам светолучевого осциллографа. Питание прибора производится от специального источника питания АГАТ. Напряжение выходного блока питания варьируется от нуля до 15 в. С целью уменьшения паразитных пульсаций на осциллограмме при питании от сетевого источника, корпуса источников, усилителя, осциллографа соединены с отрицательной клеммой источника, что дало возможность избежать больших погрешностей при записи. Перед каждым измерением производилась балансировка и татуировка каналов тензоусилителей по методу «масштабных» сопротивлений. При этом обеспечивается возможность компенсаций перед измерением нуля усилителя и помех термоэлектрического и гальванометрического происхождения. Принцип действия прибора основан на усилении усилителями постоянного тока сигналов тензорезисторов, соединенных по мостовой схеме. Приборы могут работать при температуре окружающей среды от -10°C до $+40^{\circ}\text{C}$, относительной влажности до 90% при $+20^{\circ}\text{C}$, атмосферном давлении 680-800 мм рт. ст.

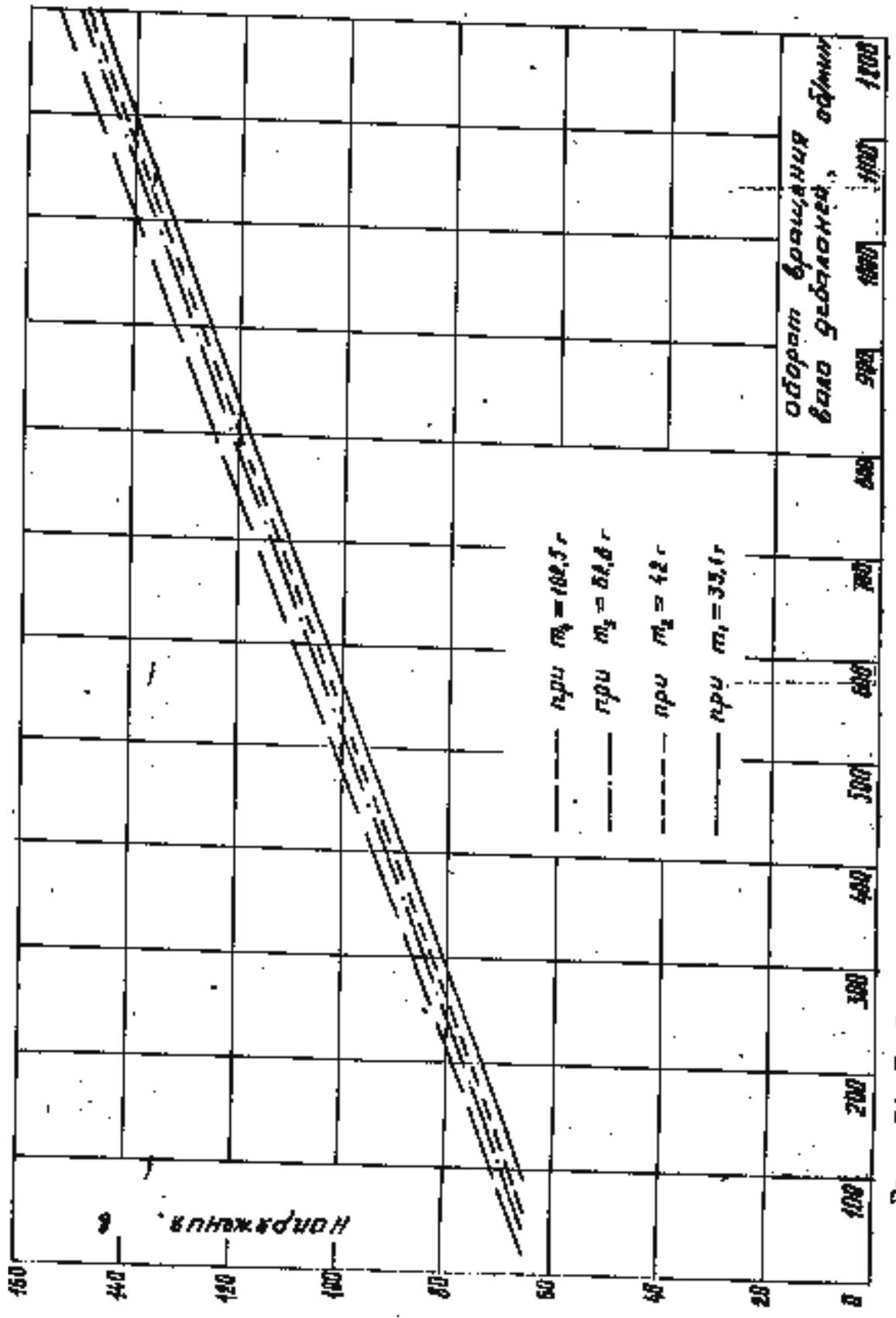


Рис. 14. Графики зависимости количества воды и оборота вращения падающего груза

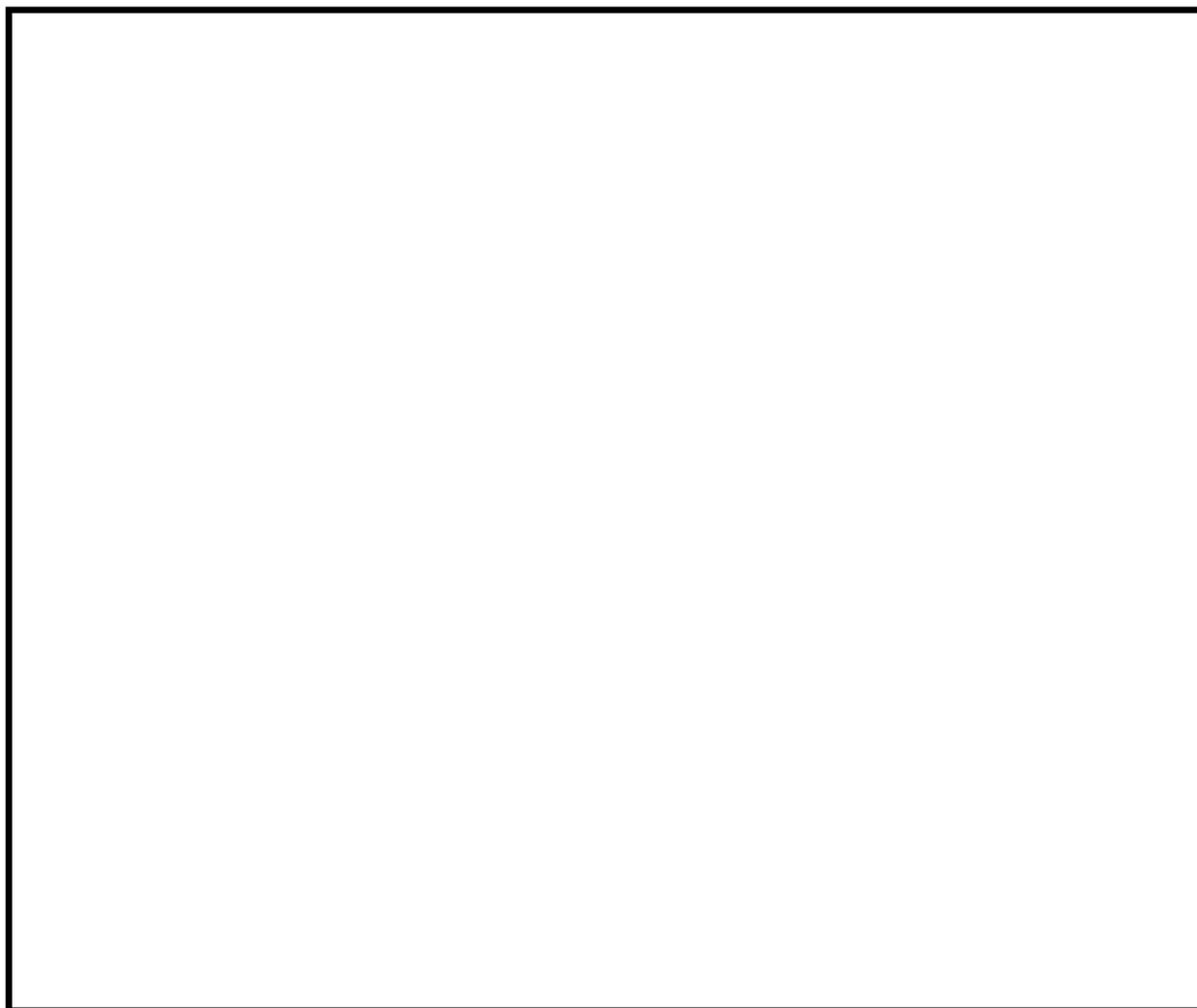


Рис. 4.15. Регистрирующий комплекс состоящий из осциллографов Н700 и Н041 с блоком питания, тензоусилителя ТОПАЗ-3-01 тоже с блоком питания и шунтовой коробки.

- Осциллографы типа Н700 и Н041 для записи процесса колебаний с отметками времени через 0,1 сек, подключенные к одиннадцати вибродатчикам, установленным вблизи шарнирных соединений звеньев. Схема регистрирующей аппаратуры колебаний показана на рис 2.16.

- Шунтовые коробки, подключенные в цепь позволяли при необходимости снизить или увеличить масштабы показаний в кратное число – 2; 5; 10; 50; 100.

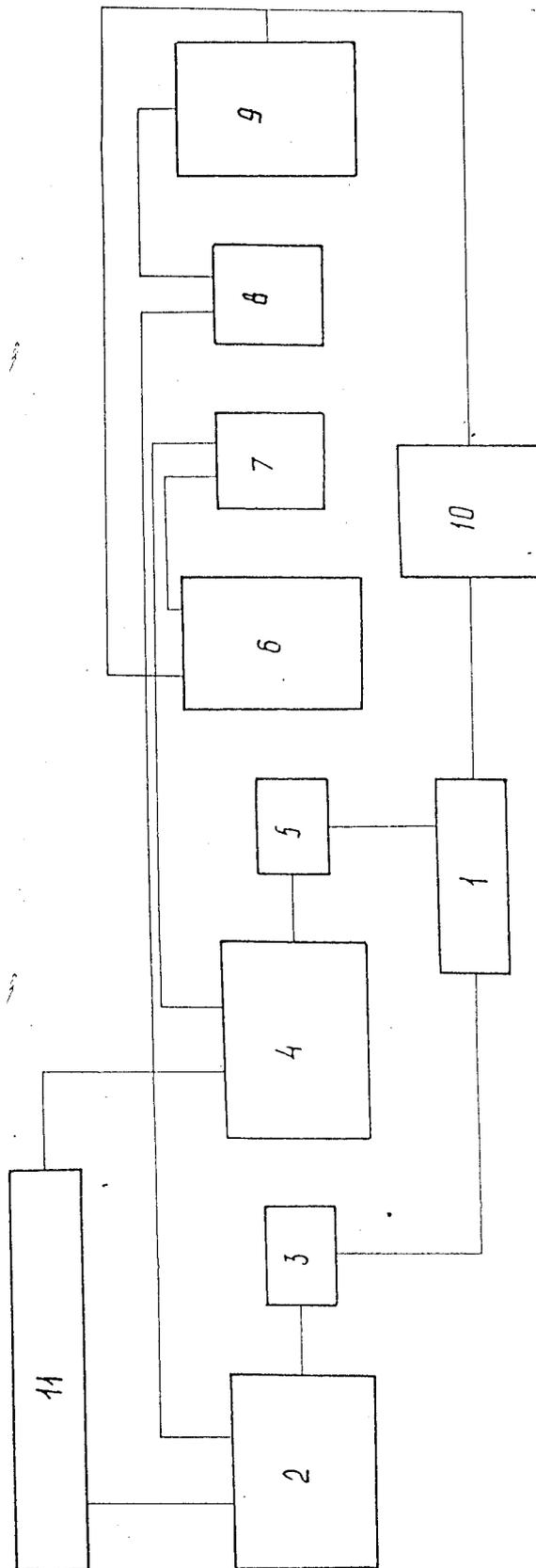


Рис.4.16. Схема регистрации колебаний: I-сеть переменного тока, 2 и 4 – тензоусилители марки ТОПАЗ -3-0 I, 3 и 5 – источники питания тензоусилителей типа АГАТ, 6 и 9 – осциллографы типа Н-700 и Н-041, 7 и 8 – заглубляющие шунтовый коробки, 10 – выпрямитель для осциллографов, II – вибродатчики типа-РС

Были использованы гальванометры типа М001.2, которые подобраны контрольными опытами. Ввиду малой емкости были использованы два осциллографа Н700 и Н041. К осциллографу Н700 подключены: канал 0 (нулевая линия); каналы от 1 до 6 – для записи колебаний от вибродатчиков РС1-РС6; канал – 7 внешний отметчик времени. К осциллографу Н041 подключены: каналы от 1 до 5 для записи колебательного процесса от вибродатчиков РС7-РС11; канал 6 – внешний отметчик времени. Записи осциллографа Н700 пронумерованы от нулевой линии к внешнему отметчику времени, а при Н041 от свободного края к внешнему отметчику и нулевой линии.

Первостепенным по своей важности являлся вопрос выбора схемы расстановки тензодатчиков, позволяющих не только получать общую картину деформированного состояния цепной балки, но и выявлять соответствующие формы колебаний. Для качественного анализа формы колебаний и для определения абсолютных перемещений установлены одиннадцать вибродатчиков (РС1-РС11) в шарнирах. Обработка поверхностей и наклейка датчиков проводились в лабораторных условиях при температуре 20⁰С-30⁰С, с соблюдением технологических требований к подготовке экспериментов. Тензорезисторы наклеены с помощью термопластичного клея холодного отверждения – цианакрилатным Э0, не допуская образования воздушных пузырьков, путем прижима и разглаживания легким усилием. Наклеенные тензодатчики выдержаны в течение двух суток при лабораторных условиях. Тензодатчики присоединены к монтажным проводам с помощью стяжек, что исключало появление растягивающих усилий, повлияющих на показания приборов.

Рис.2.17. Вибратчик -РС(а) и установка его к опытной цепной балке (б): 1- тензорезистор с сопротивлением $R=201.9 \text{ Ом}$; 2 – синтетический капроновой материал; 3 – кронштейн.

Оголенные участки выводов и пайки были надежно изолированы. Схема установки вибродатчиков к опытной цепной балке показана на рис. 2.17. всего наклеено одиннадцать активных тензорезисторов и отдельно одиннадцать компенсирующие тензорезисторы. Испитания проведены при постоянной температуре окружающей среды, что способствовало на качественную работу тензометрической цепи.

Тарировка вибродатчиков –РС произведена сперва при перемишении балки вверх. С помощью специально изготовленного устройства приподнята балка в шарнирах, где были установлены вибродатчики – РС и тензорезисторы с точносью 0,1 мм. При шаге 2 мм вертикальных перемешений сняты отсчеты по осциллографу, где измеряли смещений зайчика соответствующего гальванометра.

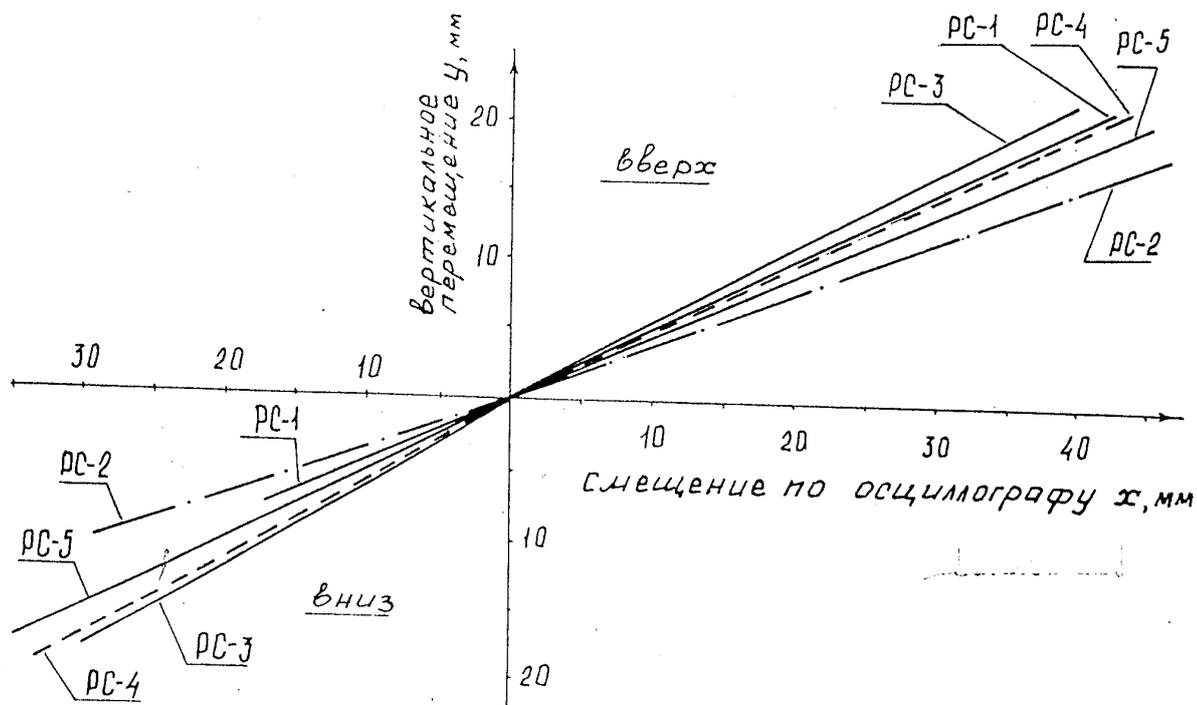


Рис. 4.18. Тарировочные графики для вибродатчиков. РС-1, РС-5

Тарировка вибродачиков –РС

При тарировке была соблюдена следующая последовательность операций:

- при нажатии кнопки «точно» отклонение стрелки прибора тензоусилителя не превышало пол деления шкалы;
- в процессе работы нули каждого канала выставлялись и регистрировались перед началом каждого замера.

Измерения произведены для всех установленных вибродатчиков. Тарировка вибродатчиков проведена также при движении балки вниз путем приложения нагрузки. Для измерения смещения зайчиков гальвонометра на экран был установлена масштабная бумага , где с ее помощью при каждом шаге фиксировались перемещения. Таким образом построены тарировочные графики, которые приведены на рис4.18. и4.19.(приложение Ш, табл. П.8 и П.9).

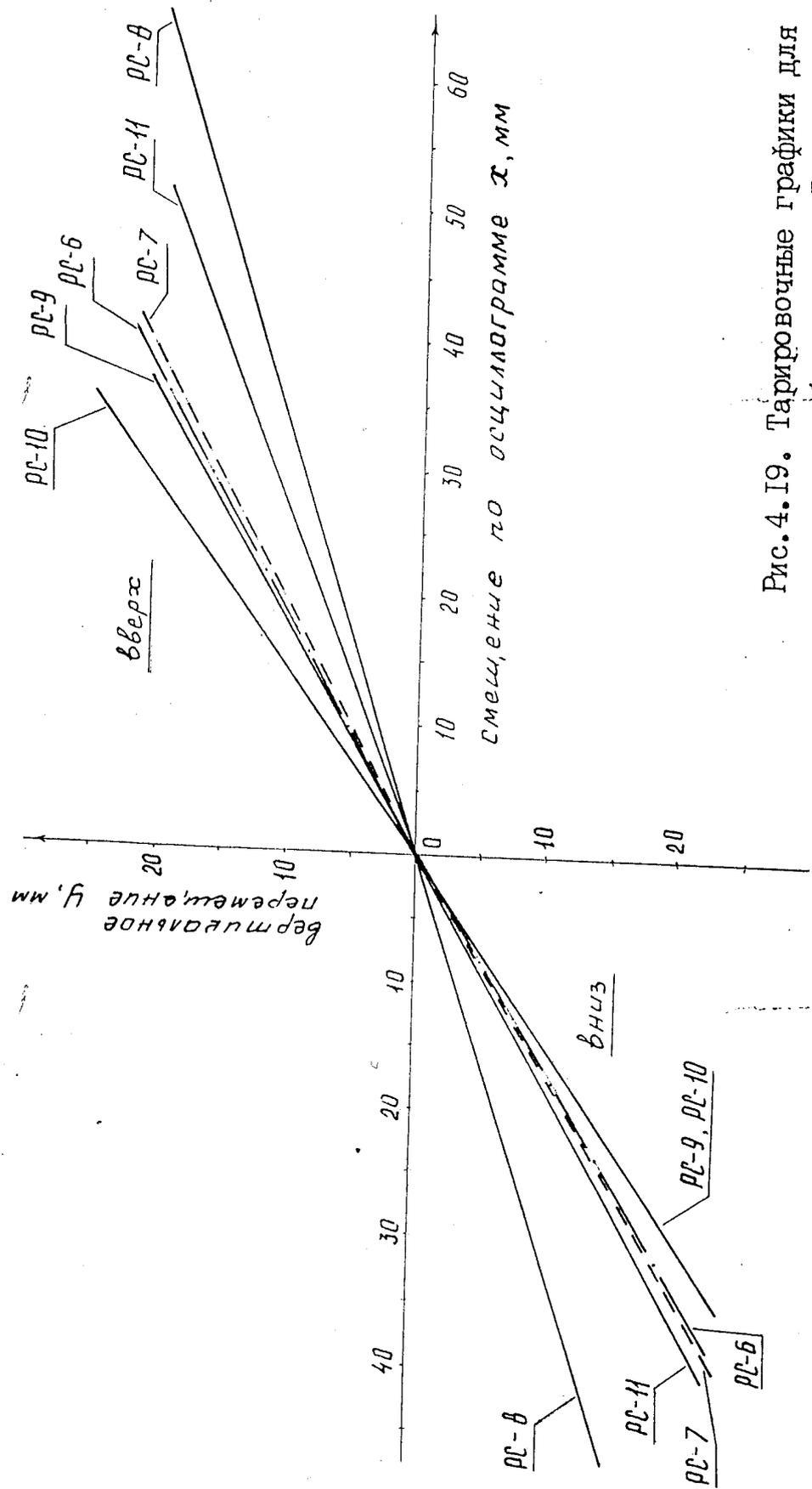


Рис. 4.19. Тарировочные графики для вибродатчиков PC-6-PC-11.

II.4.1. Регистрация параметров колебаний

Комплексные динамические испытания проводились приложением возмущающей нагрузки – $P(t)$ в 0,5l и 0,29l пролете, что на наш взгляд может вызвать 1 и 2 – ю форму колебаний (рис.2.20.). Варьированием массэксцентриков (от 33,1 до 102,5г) передавались $P(t)$ различной интенсивности, что характеризуется различными по величине амплитудами колебаний.

Для определения статического прогиба от собственной массы вибратора использованы вибродатчики, установленные между шарнирами цепной балки и неподвижной жесткой станиной, которые подключены к осциллографам. Для этого вибромашина, неподключенная в сеть опускалась на цепную балку при выключенных осциллографах Н700 и Н041. через время выдержки 4-5с снова повторялся этот процесс. Эюра статического прогиба цепной балки определялась с помощью тарировочных графиков.

После завершения этапа по определению статического прогиба, вибромашина приводилась в рабочее состояние. Вращения вала дебаланса начинались при напряжении 65 в что соответствовало от 20 до 90 об/мин вращения вала дебаланси соответственно при различных массах эксцентриков. Путем главного увеличения напряжения автотрансформатором А ОСН – 8 с одновременной подачей сигнала через каждые 5 в (фиксировали отметки в осциллограмме с помощью переключателя шунтовой коробки) регулировали число оборотов вала вибромашины. Изменения напряжения наблюдались вольтметром, введенным в схему управления. Нагружения цепной балки с $P()$ состояли из следующих этапов. Первой и второй этап нагружения с $P()$ выполнялись плавным увеличением частоты колебания до 116 с^{-1} и обратным плавным уменьшением частоты колебания до затухания колебания. В третьем этапе динамических нагружений цепная балка плавно вводилась до

резонансного состояния и вибромашина мгновенно отключалась от сети.

В процессе нарастания и уменьшения частоты колебаний визуально наблюдается двухкратное резонансное явление при колебаниях цепной балки, которые записаны осциллографом Н700 и Н041 (рис 4.21.) . В результате испытаний получены виброграммы, с помощью которых можно определить формы колебаний и любой момент времени и динамические характеристики колебаний. Каждое испытание и запись виброграмм повторялись четырехкратно и из этих записей для анализа отобраны самые качественные, по которым найдены динамические характеристики цепной балки. При главном нарастании частоты колебаний наблюдались кратные резонансные состояния, т.е.

$$W=2\theta$$

W - частота собственного колебания

θ - частота вынужденного колебания

Но в соответствии с поставленной задачей достаточно было бы изучить поведение цепной балки при $W=\theta$, поэтому при последующих испытаниях удовлетворялись только первым резонансным состоянием.

Рис.2.20. Испытания цепной балки на динамические воздействия

Рис. 2.21. Записи осциллографов Н 700 и Н 041
II.4.2. Анализ записи виброграмм и определения форм колебаний

Анализ динамических процессов широко применяется в самых различных областях: в строительстве в исследованиях сейсмических процессов, в машиностроении и т. д. Обработка результатов динамических испытаний складывается из двух основных операций:

- а) общего анализа исследуемых процессов;
- б) установления численных значений параметров, характеризующих эти процессы.

Основная цель анализа записи виброграмм заключается в определении динамических характеристик а форм колебаний.

Анализ виброграммы собственных колебаний позволил определить величину логорифмического декраменты - δ , коэффициента поглощения энергии - ψ и коэффициента неупругого сопротивления - γ . При анализе собственных колебаний цепной балки при падении груза – Р в $0,29 \cdot l$ пролета коэффициенты логорифмического декраменты вычислены четырехкратно(рис .2.22.)

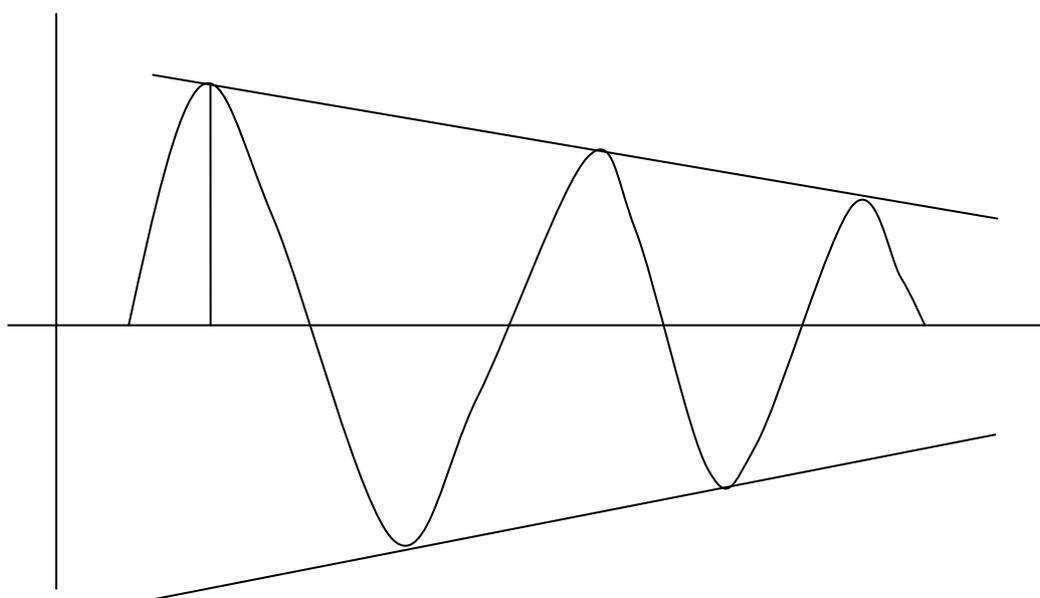


Рис. 2.22. К определению логарифмического декремента колебаний

$$\delta_1 = 1/n \ln U_m / U_{m+n} = 1/2 \ln 1,5/1 = 0,203;$$

$$\delta_2 = \delta_1 = 0,203;$$

$$\delta_3 = 1/2 \ln 2/1,25 = 0,235;$$

$$\delta_4 = 1/2 \ln 3/2 = 0,203;$$

Соответственно коэффициенты поглощения ψ для четырех случаев:

$$\Psi_1 = 2 \delta_1 = 2 * 0,203 = 0,406; \quad \Psi_3 = 2 \delta_3 = 2 * 0,235 = 0,47;$$

$$\Psi_2 = \Psi_1 = 0,406; \quad \Psi_4 = 2 \delta_4 = 0,406;$$

А также коэффициенты неупругого сопротивления:

$$\gamma_1 = \frac{\varphi_1}{2\pi} = \frac{S_1}{\pi} = \frac{0,203}{3,14} = 0,0646 \quad \gamma_3 = \frac{S_3}{\pi} = \frac{0,235}{3,14} = 0,0748$$

$$\gamma_2 = \gamma_1 = 0,0646 \quad \gamma_4 = \gamma_1 = 0,0646$$

При анализе ваброграмм собственных колебаний при падении груза – Р в середину пролета получены следующие значения коэффициентов логарифмического декремента:

$$S_1 = \frac{1}{2} \ln \frac{1,5}{1,25} = 0,091 \quad S_3 = S_2 = 0,077$$

$$S_1 = \frac{1}{2} \ln \frac{1,75}{1,5} = 0,077 \quad S_1 = \frac{1}{2} \ln \frac{3}{2} = 0,203$$

А коэффициенты поглощения энергии φ и коэффициенты неупругого сопротивления γ

$$\varphi_1 = 2 * S_1 = 2 * 0,091 = 0,182$$

$$\varphi_4 = 2 * S_4 = 2 * 0,203 = 0,406$$

$$\varphi_2 = \varphi_3 = 2 * S_2 = 2 * 0,077 = 0,154$$

$$\gamma_1 = 0,029$$

$$\gamma_2 = \gamma_3 = 0,025$$

$$\gamma_4 = 0,065$$

Анализ существующих литературных источников показал, что для висячих комбинированных конструкции покрытий коэффициент логарифмического декремента составляет в пределах $0,02 \leq \delta \leq 0,1$. Как видно из полученных в ходе обработки результатов эксперимента, значение логарифмического декремента находилось в пределах от 0,08 до 0,2, что больше в 2-4 раза, чем у висячих конструкций. А если сравнить с логарифмическими декрементами моделей

пространственных металлических стержневых систем, что составляет 0,065 а для натуральных в вертикальном направлении 0,04 (10, значения этих показателей для цепной балки в 2-3 раза больше. Следовательно, если сравнить коэффициенты поглощения энергии – ψ и коэффициенты неупругого сопротивления – γ , они также больше в 2-3 раза. Коэффициент логарифмического декремента для натуральных пространственных комбинированных металлодеревянных конструкций составляет 0,3 что в 1,5 раза больше, чем у цепных балок.

При вынужденных колебаниях конструкция цепной балки испытывает воздействие одной вертикальной возмущающей силы, поэтому регистрировались колебание одного тона. Развернутая во времени картина записи колебательного движения (виброграмма) имеет отметки времени через 0,1 с. Явления резонанса в виброграмме характеризуется резким увеличением амплитуды с сохранением ее максимального значения в течении некоторого отрезка времени. График зависимости амплитуды при резонансе и масс эксцентриков приведен на рис. 2.23.

Первой задачей анализа виброграмм вынужденных колебаний, являлась определение скорости движения пленки (бумаги), на которую записана виброграмма. Эту скорость в см/сек определяли по формуле:

$$v = \frac{l}{t} \quad v = 4 \text{ см/с} \text{ – для Н700;} \quad v = 3 \text{ см/с} \text{ – для Н041}$$

где – l - расстояние между отметками времени соответствующее интервалу времени t , с.

Период колебание определяли по формуле

$$T = \frac{L}{n v}$$

где T – период колебания, сек.

L - длина записи, на которой помещены n полных периодов; в см; n – количество периодов.

Если возмущающая сила $P(t)$ приложена в 0,29l пролета и $m_l = 33.1$ г то получим

$$T_1 = \frac{12.5}{19 * 4 \text{ см / с}} = 1,164$$

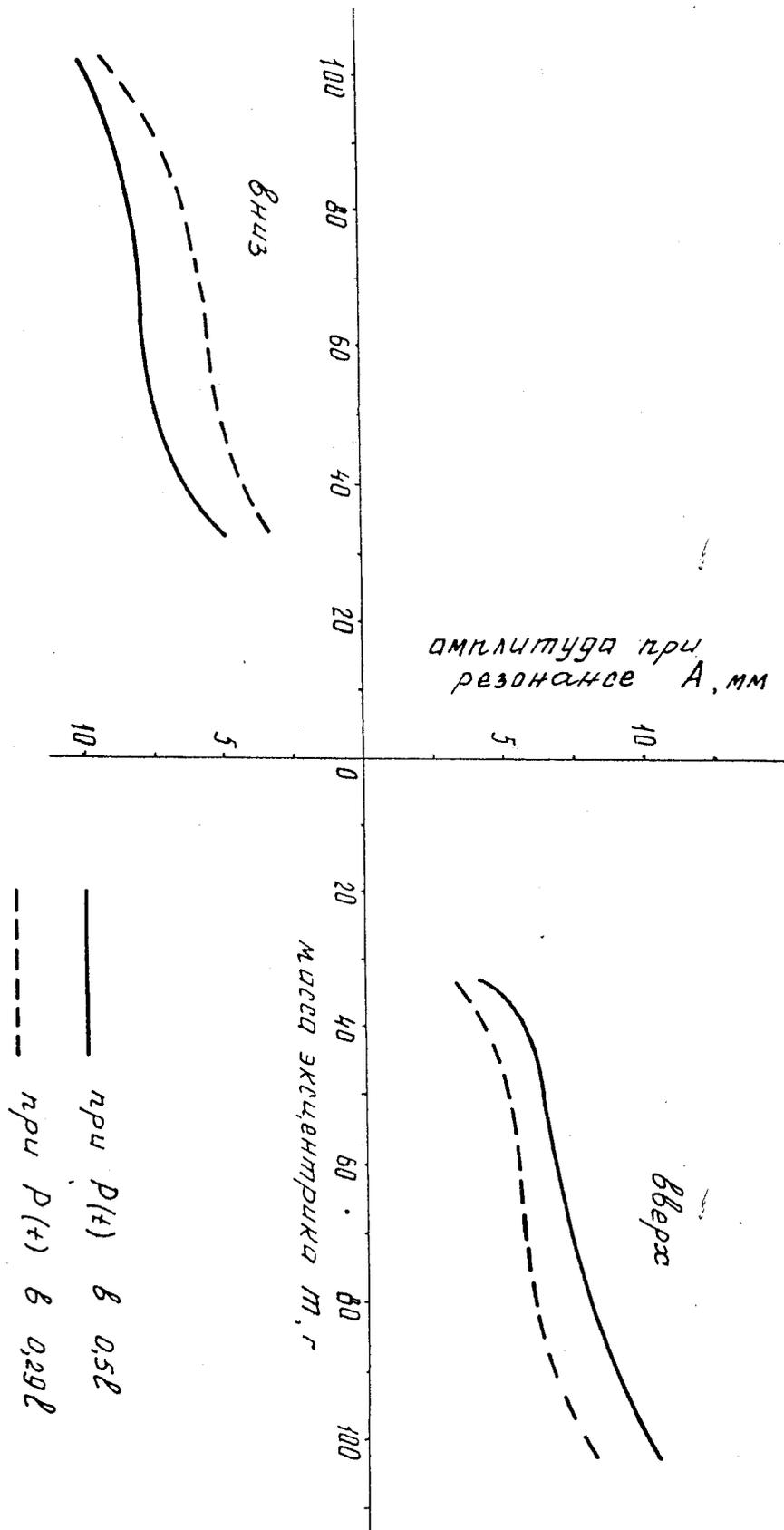


Рис. 2.23. График зависимости амплитуды и масс эксцентриков.

при $m_2=42\text{г}$	$T_2=0,163\text{с};$
при $m_3=62,8\text{г}$	$T_3=0,169\text{с};$
при $m_4=102.5\text{г}$	$T_4=0,174\text{с}.$

Соответственно, частота – ν в герцах и круговая частота – ω , 1/с

$\nu_1=6,098\text{ гц}$	$\omega_1=38,293\text{с}^{-1}$
$\nu_2=6,135\text{ гц}$	$\omega_2=38,528\text{с}^{-1}$
$\nu_3=5,917\text{ гц}$	$\omega_3=37,16\text{с}^{-1}$
$\nu_4=5,747\text{ гц}$	$\omega_4=36,09\text{с}^{-1}$

При $P(t)$ в середине пролёта получены следующие значения периодов колебаний:

при массах эксцентрика де баланса $m_1=33.1\text{г}$	$T_1=0,197\text{с};$
при $m_2=42\text{г}$	$T_2=0,194\text{с};$
при $m_3=62.8\text{г}$	$T_3=0,19\text{с};$
при $m_4=102.5\text{г}$	$T_4=0,29\text{с}.$

А частота- ν в герцах и круговая частота- ω , 1/с соответственно были равны:

при $m_1=33.1\text{г}$	$\nu_1=5,076\text{гц}$	$\omega_1=31,878\text{с}^{-1}$
при $m_2=42\text{г}$	$\nu_2=5,155\text{гц}$	$\omega_2=32,371\text{с}^{-1}$
при $m_3=62.8\text{г}$	$\nu_3=5,263\text{гц}$	$\omega_3=33,05\text{с}^{-1}$
при $m_4=102.5\text{г}$	$\nu_4=4,785\text{гц}$	$\omega_4=30,048\text{с}^{-1}$

Статический прогиб цепной балки в середине пролёта от действия приведённой массы (от массы вибратора и от массы конструкции) был равен $Y_{\text{ст}}=6,528\text{мм}$. Тогда круговая частота свободных колебаний будет равна:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{y_{\text{cm}}}} = \sqrt{\frac{981}{0,6528}} = 38,765\text{с}^{-1},$$

а частота в герцах

$$\nu_1 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{38,765\text{с}^{-1}}{2 * 3,14} = 6,17\text{ гц}$$

Резонансное явление может возникнуть при частоте вращения вала де баланса (при $P(t)$ – в середине пролёта)

$$N_{\text{кр}} = \frac{30 * \omega_0}{\pi} = \frac{30 * 38,765}{3,14} = 370\text{ об/мин.}$$

Теоретический статический прогиб от нагрузки в $0,29*1$ пролёта $Y_{\text{ст}}=0,449\text{см}$.

Тогда частота свободных колебаний:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{981}{0,449}} = 46,742\text{с}^{-1},$$

а частота в герцах

$$\nu_0 = \frac{46,742}{6,28} = 7,44 \text{ Гц.}$$

Значит, экспериментальные значения частоты составляют 5,07 и 6,17 Гц, а теоретические 6,17 и 7,44 Гц. Расхождение между экспериментальными и теоретическими появлялось из-за распределённой собственной массы цепной балки.

Если $P(t)$ приложена в $0,29 \cdot l$ пролёта, резонансное явление может возникнуть при частоте вращения вала дебаланса

$$N_{\text{кр}} = \frac{30 * \omega_0}{\pi} = \frac{30 * 46,742 \text{ с}^{-1}}{3,14} = 447 \text{ об/мин.}$$

Анализ виброграммы показал, что при $P(t)$ $0,29 \cdot l$ пролёта, резонансное явление возникло при оборотах 280-350 об/мин вращения вала вибромашины, соответственно, при разных массах эксцентров и при оборотах 275-340 об/мин, когда $P(t)$ в середине пролёта. Когда выяснилось, в обоих случаях (при $P(t)$ – в $0,29 \cdot l$ и $0,5 \cdot l$ пролёта) реальное резонансное явление происходило раньше, чем ожидалось. Это в основном объясняется большой разницей изгибной жесткости при действии нагрузки сверху вниз и снизу-вверх.

С целью графического анализа поведение цепной балки при резонансных ситуациях, определялись формы колебаний с помощью виброграммы и тарировочных графиков. Точность анализа зависела от количества установленных вибродатчиков и точности максимального увеличения масштаба показаний. В нашем случае при количестве звеньев 12 шт, установлено 11 вибродатчиков.

Тарировка вибродатчиков и записи виброграммы производились при одинаковых коэффициентах закруглений шунтовой коробки: $\beta = 2$ (РС-1-РС-11, кроме РС-8), $\beta = 5$ (РС-8) и $\beta = 50$ для отметчика «напряжение». Это позволило определить абсолютные перемещения без тарировочных коэффициентов, непосредственно по тарировочным графикам. Состояние нулевой, т.е. нейтральной линии определялось с

помощью записей виброграмм, полученных при снятии и опускании вибромашины. Для определения амплитуд колебаний на виброграмме измерялись расстояние между нейтральной линией и вершинами полуволн. Откладывая величину динамических перемещений на соответствующую точку балки получена истинная форма колебаний в различных режимах работы вибромашины.

На рис. 2.24, приведены формы колебаний при вынужденных колебаниях в отрезке $\Delta t=0.08$ с времени ($m_1=33.1$ г, $e=55$ мм и период $T_1=0,164$ с). Как видно, из эпюры прогибов опытной конструкции колебания происходят вокруг деформированной оси конструкции от статической нагрузки. В резонансном состоянии частота достигала до $\omega_1=38,293$ с⁻¹ и получена первая форма колебаний. Максимальные амплитуды $A_{\max}=325$ мм-вверх и $A_{\max}=3,5$ -вниз, оказались меньше, чем статический прогиб соответствующего сечения $U_{\text{ст}}=11,25$ мм. Естественно, подбрасывание масс не наблюдалось, но происходило размыкание узлов при шарнирах 3,6,9 и через время $\Delta t=0.021$ с в 1,3,6,9 при двух верхних формах и при нижних формах в шарнирах 4,9 и 5.

На рис.2.25 показаны формы колебаний при массах эксцентрика $m_2=42$ г и $e=55$ мм в отрезке $\Delta t=0.082$ с времени. Период колебаний при резонансном состоянии достигал до $T_2=0,163$ с и частота до $\omega_2=38,528$ с⁻¹. Максимальные амплитуды ($A_{\max}=4,5$ мм-вверх, $A_{\max}=4,5$ мм – вниз) появились при движении вверх в шестом шарнире, а при движении вниз в 5 и 6 шарнирах. Во втором, 6 и 8 шарнирах происходит размыкание узлов при максимальных амплитудах вверх. Через 0,02с, начиная с верхней точки размыкания узлов, наблюдается в узлах 3,6,9,10 при двух нижних формах наблюдались в шарнирах 2,7,10 и 2,4,10. Статический прогиб при этом $U_{\text{ст}}=11,75$ мм, что больше чем $A_{\max}=4,5$ мм. Формы колебаний при массах эксцентрика $m_3=62.8$ г и $P(t)$ в $0,29*1$ пролёта показаны на рис.4.26. Здесь период колебаний и круговая частота были равны соответственно, $T_3=0,169$ с и $\omega_3=37,16$ с⁻¹. Значения

максимальных амплитуд $A_{\max}=5,5\text{мм-вверх}$ и $A_{\max}=5,5\text{мм-вниз}$. Размыкание узлов происходит в шарнирах 3,5,6,8,9,11 и 3,7,10,5 в нижних двух формах. Статический прогиб был равен $U_{\text{ст}}=12,5\text{мм}$, что больше чем A_{\max} .

На рис.2.27 приведены эпюры прогибов оси цепной балки при вынужденных гармонических колебаниях, когда масса эксцентрика дебаланса была $m_4=102,5\text{г}$ и $P(t)$ приложена в $0,29*1$ пролёта. Резонанс наблюдался при частоте $\omega_4=36,09\text{с}^{-1}$ с периодом колебаний $T_4=0,174\text{с}$.

Максимальные амплитуды появились в 6 и 7 шарнирах со значениями $A_{\max}=8,25\text{мм-вверх}$ и $A_{\max}=9,25\text{мм-вниз}$, что меньше чем $U_{\text{ст}}=12,5\text{мм}$. Размыкание узлов происходило в шарнирах 3,5,6,8, а через $\Delta t=0.022\text{с}$ в шарнирах 2,6,7,9 при двух верхних формах от деформированной оси цепной балки, а при двух нижних формах колебаний в шарнирах 1,5 и через $\Delta t=0.022\text{с}$ в шарнирах 2,4,8,10. С перемещением $P(t)$ в середину пролёта амплитуды колебаний увеличивалась, которые характеризовались формами колебания, приведенными на рис. 2.28, 2.29, 2.30, 2.31.

Из рис. 2.28 видно, что максимальные амплитуды наблюдались в шестом шарнире и были равны $A_{\max}=10,5\text{мм-вверх}$, $A_{\max}=10\text{мм-вниз}$. Статический прогиб $U_{\text{ст}}=13,75\text{мм}$, что больше чем A_{\max} . Следовательно «подбрасывание» масс не происходило. Размыкание узлов произошло в шарнирах 3,6,8,9,11 при верхних двух формах и 4,8,10-в нижних двух формах колебаний.

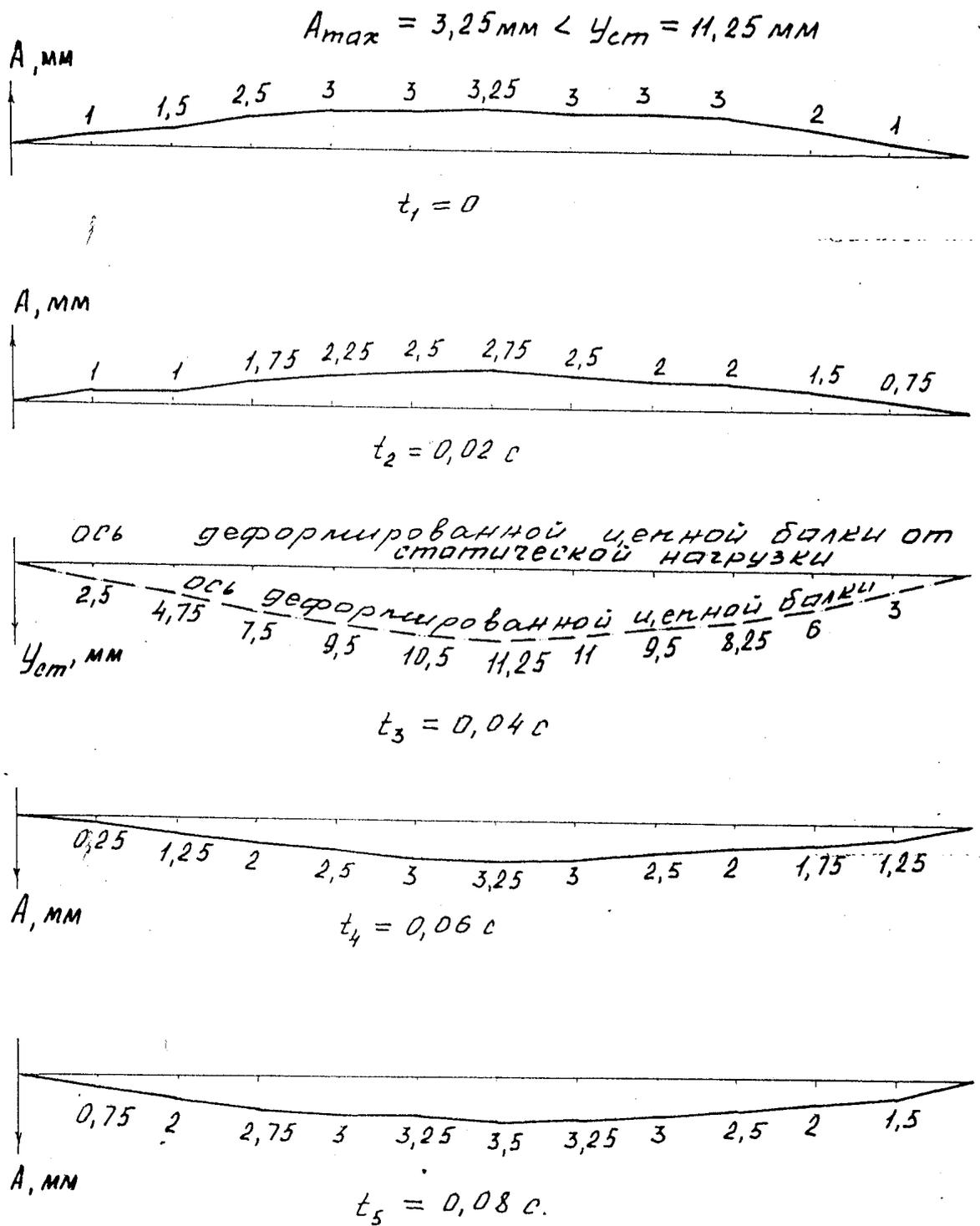


Рис. 2.24 Формы колебаний цепной балки

при $P(t)$ в $0,29 l$
 ($m_1=33,1$ и $e=55 \text{ мм}$).

$$A_{\text{max}} = 4,5 \text{ мм} < y_{\text{ст}} = 11,75 \text{ мм}$$

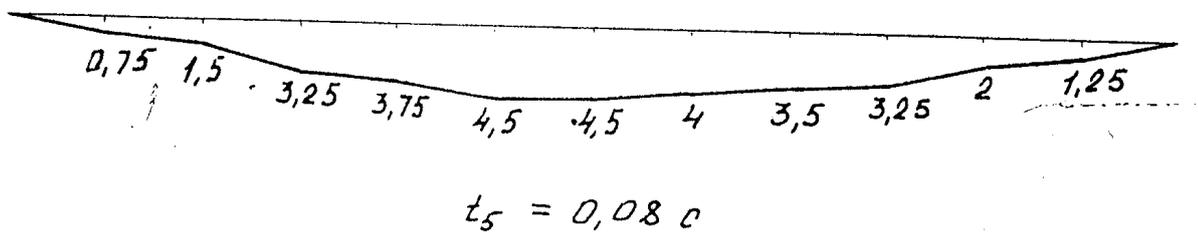
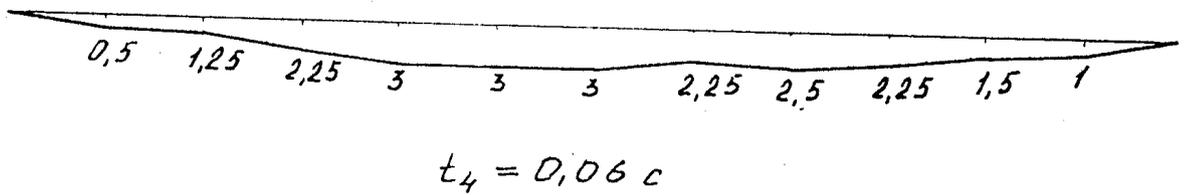
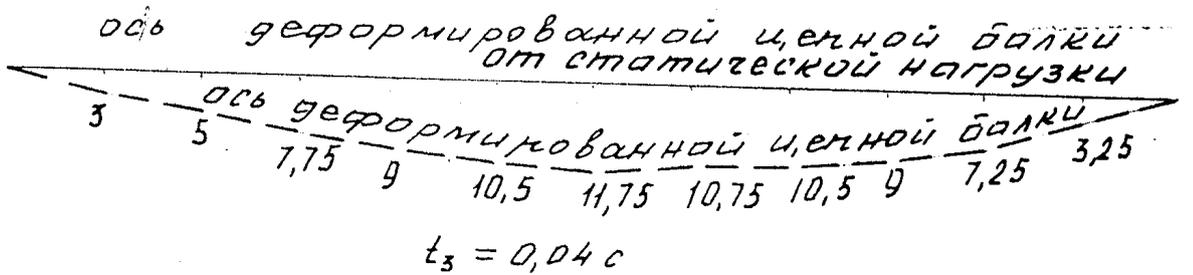
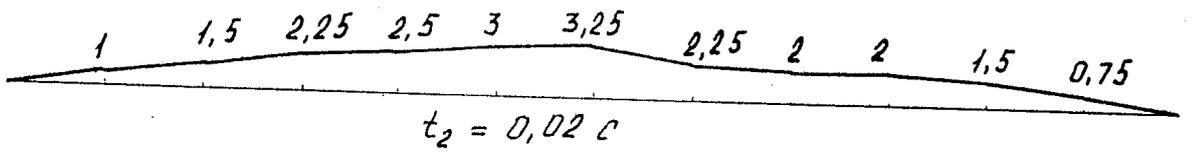
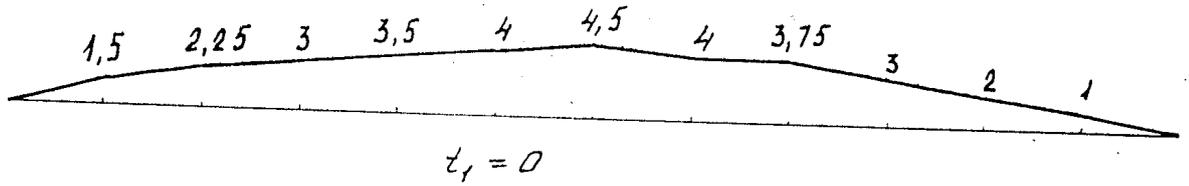
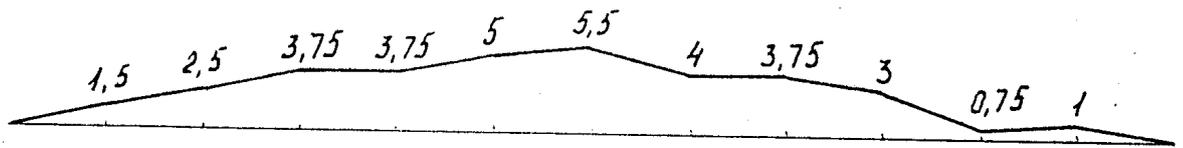
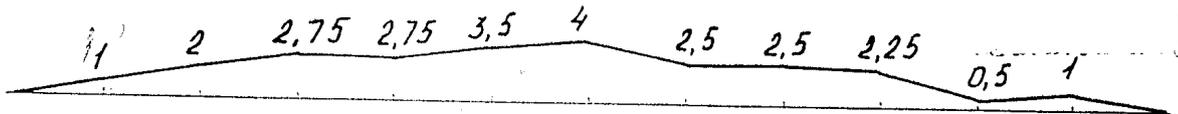


Рис. 2.25. Формы колебаний при $P(t)$ в $0,29 l$
($m_2=42$ и $e=55$ мм).

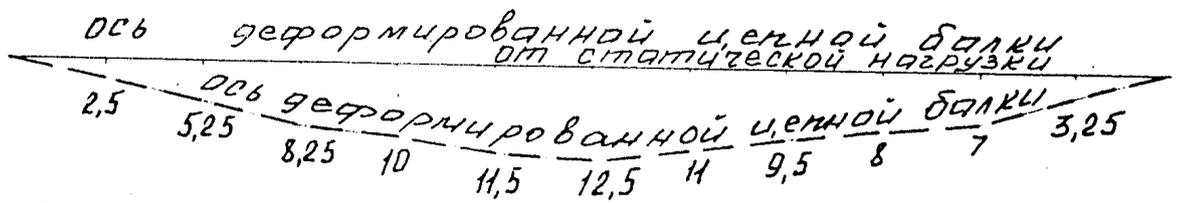
$$A_{max} = 5,5 \text{ мм} < y_{cm} = 12,5 \text{ мм}$$



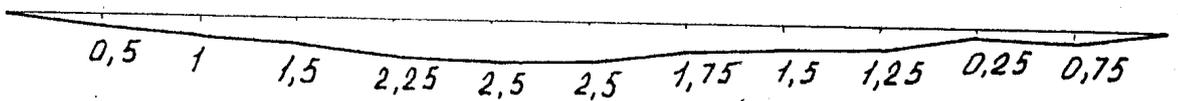
$$t_1 = 0$$



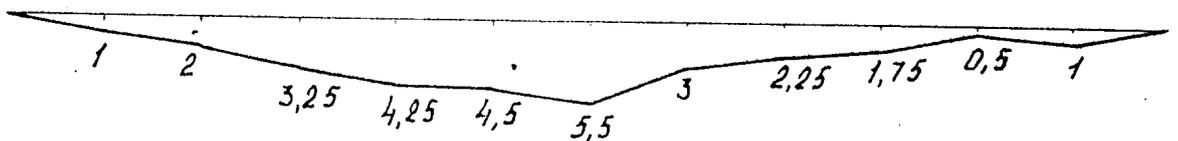
$$t_2 = 0,02 \text{ c}$$



$$t_3 = 0,04 \text{ c}$$



$$t_4 = 0,06 \text{ c}$$



$$t_5 = 0,08 \text{ c}$$

Рис. 2.26. Формы колебаний при $P(t)$ в $0,29 l$
($m_3=62,8$ и $e=55$ мм).

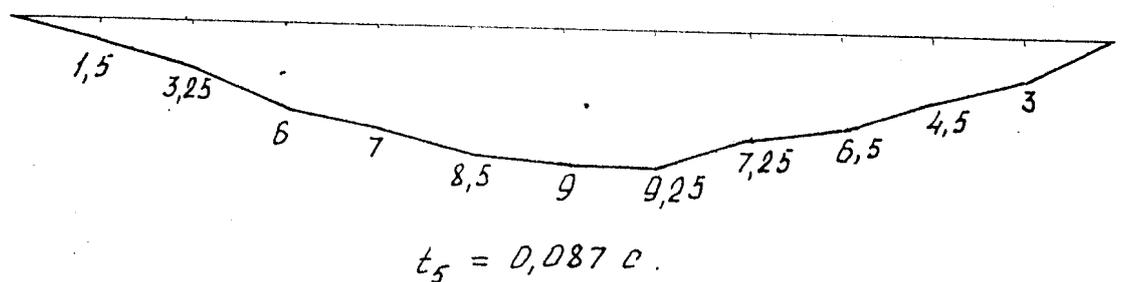
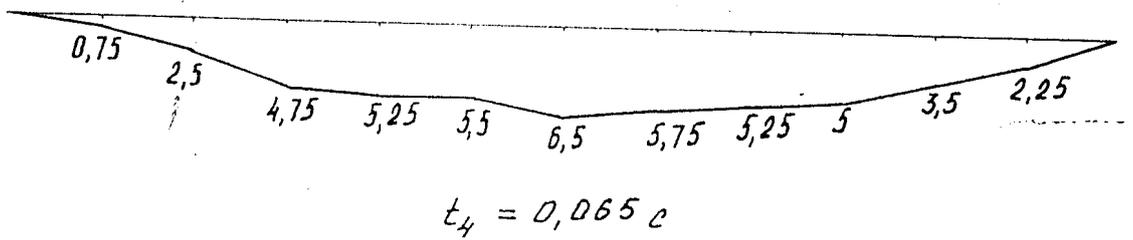
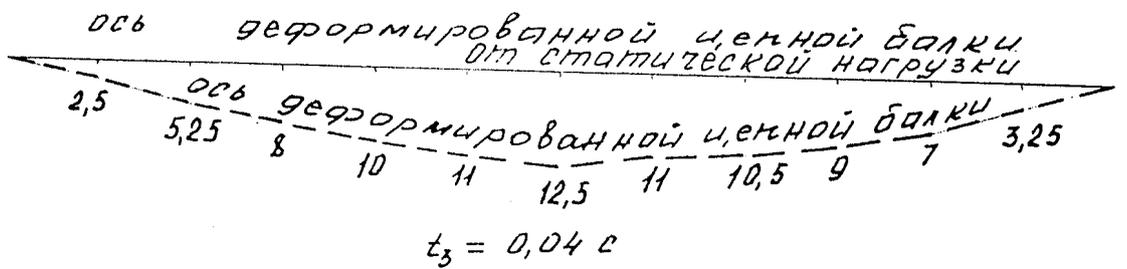
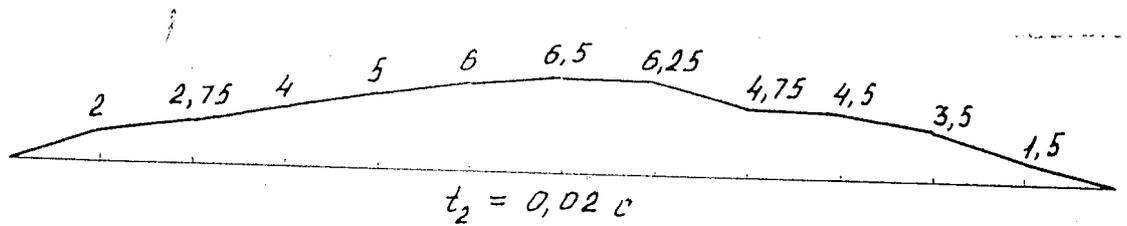
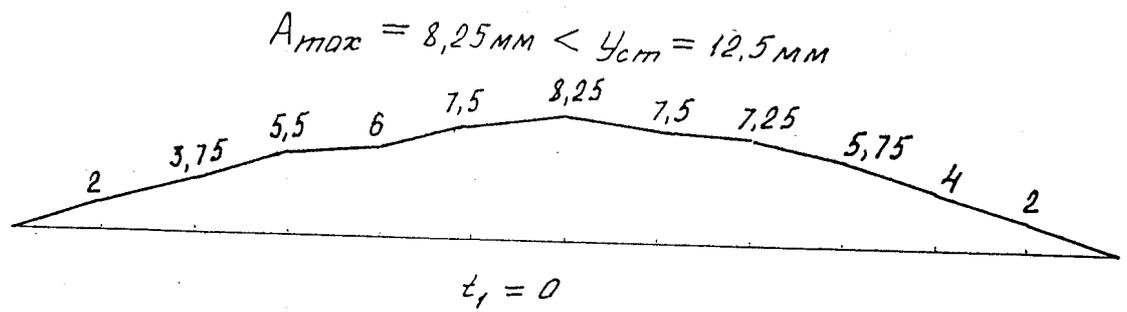


Рис. 2.27. Формы колебаний при $P(t)$ в $0,29 l$
($m_4=102,5$ и $e=55 \text{ мм}$).

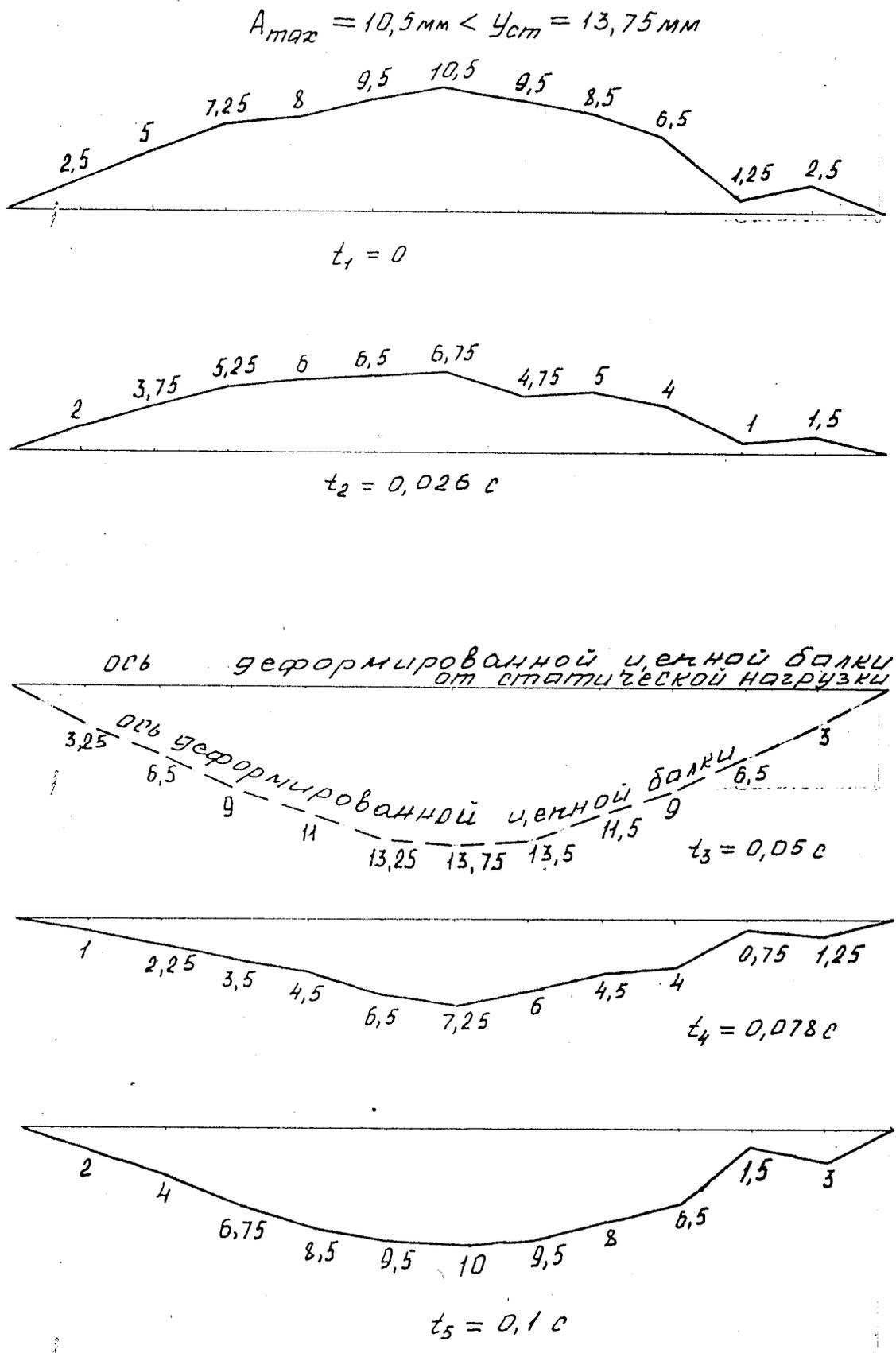


Рис. 2.28. Формы колебаний цепной балки при $P(t)$ в $0,5 l$ ($m_4=102,5$ и $e=55 \text{ мм}$).

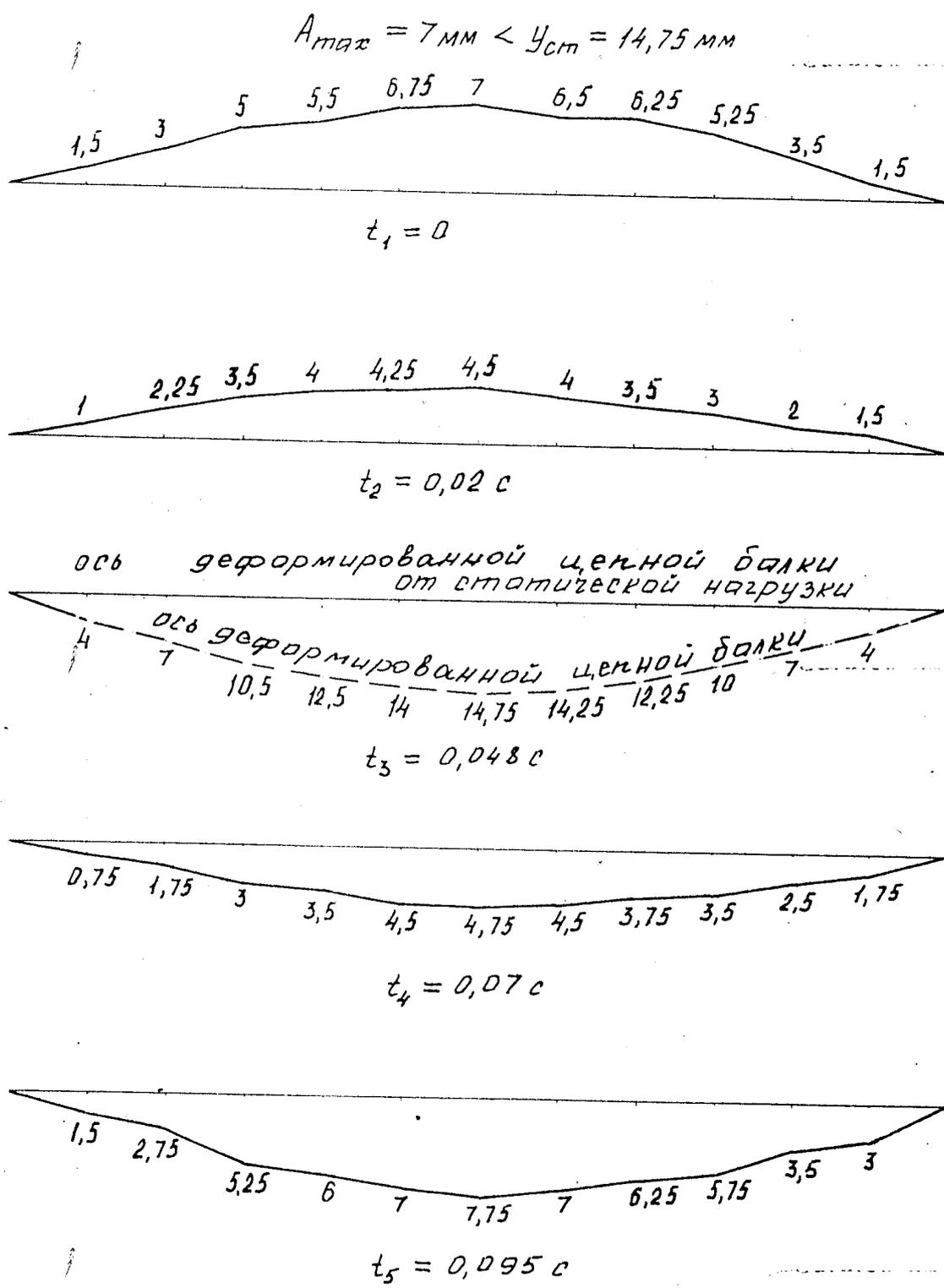


Рис. 2.29. Формы колебаний цепной балки при $P(t)$ в $0,5 l$ ($m_3=62,8$ и $e=55$ мм).

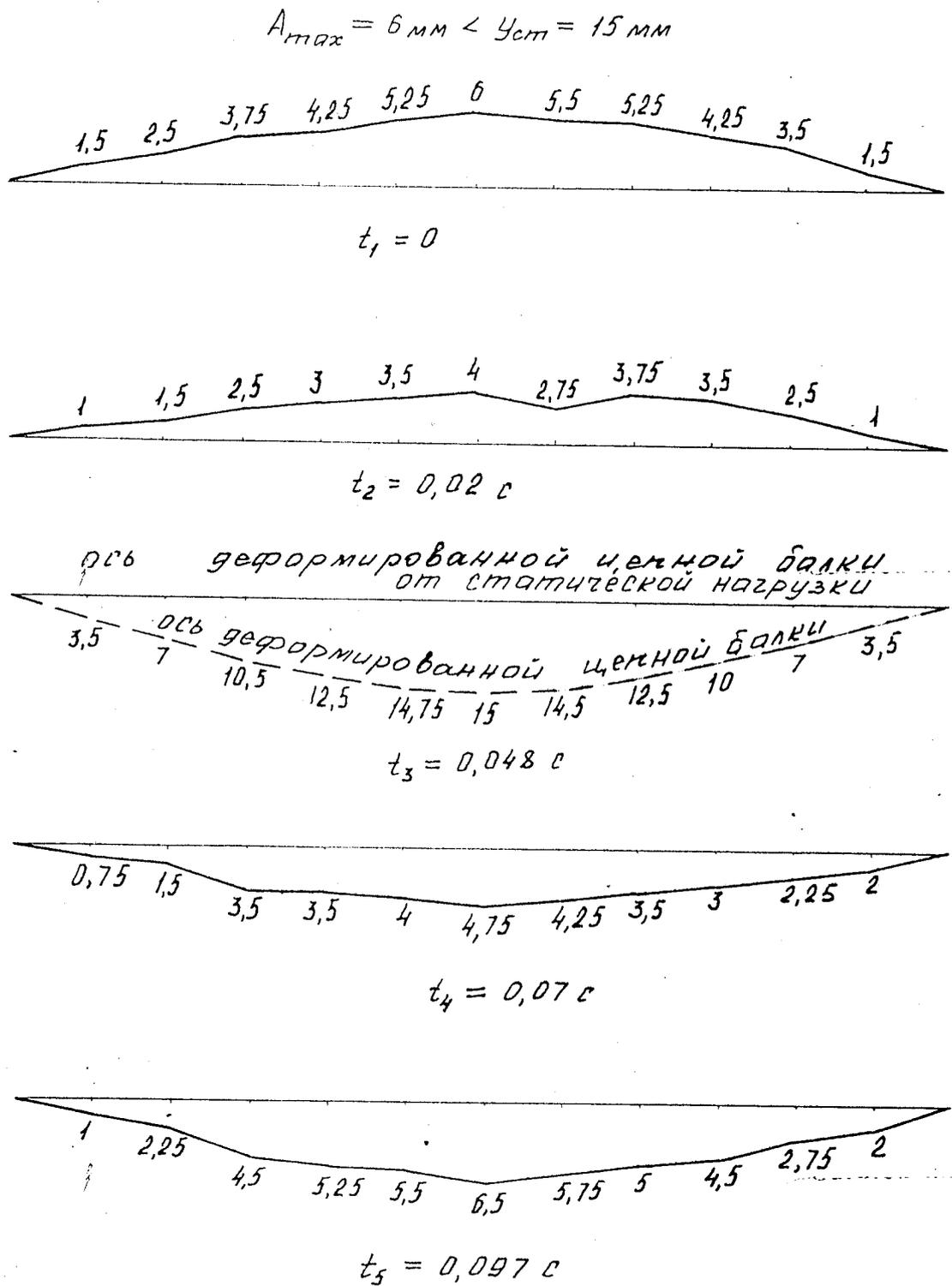
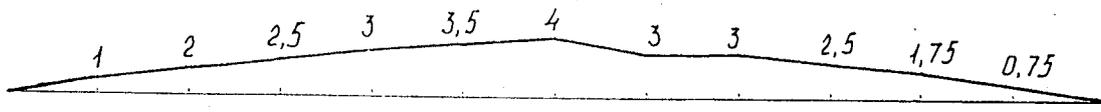
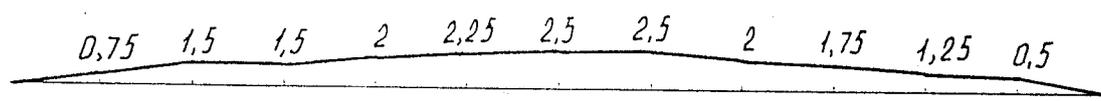


Рис. 2.30. Формы колебаний цепной балки при $P(t)$ в $0,5 l$ ($m_2=42$ и $e=55$ мм).

$$A_{\max} = 4 \text{ мм} < y_{\text{ст}} = 15 \text{ мм}$$

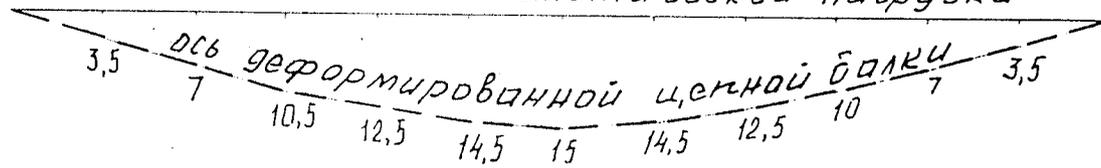


$$t_1 = 0$$

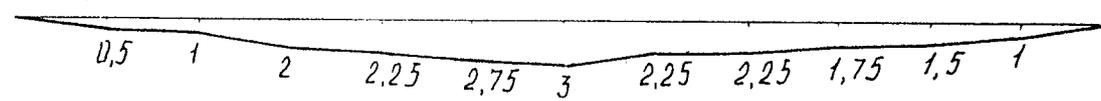


$$t_2 = 0,02 \text{ сек.}$$

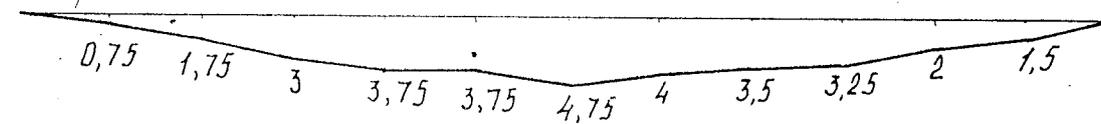
ось деформированной цепной балки от статической нагрузки



$$t_3 = 0,05 \text{ сек.}$$



$$t_4 = 0,07 \text{ c}$$



$$t_5 = 0,099 \text{ c}$$

Рис. 2.310. Формы колебаний цепной балки при $P(t)$ в $0,5 \text{ l}$ ($m_2=33,1$ и $e=55 \text{ мм}$).

При последующих приведенных формах колебаний (рис.2.29, 2.30, 2.31) также соблюдались условия неравенств, но во всех формах сопровождалось размыкание узлов. При всех последовательных испытаниях увеличивались значения статического прогиба. Это объясняется торцевыми деформациями деревянных стержней, при повторно-переменных нагрузках и податливостью узловых сопряжений. В обоих случаях, когда $P(t)$ в $0,5 \cdot l$ и $0,29 \cdot l$ пролёта максимальные амплитуды появились в среднем 6-ом шарнире, а минимальные в шарнире 10 (вблизи подвижного шарнира). Из этого следует, что наибольший размыкающий узел- это средний.

II.5. Выводы по главе

1. Статические испытания цепной балки (моделирующей комбинированную стержневую систему) подтвердили наличие необходимых прочности и жесткости для дальнейших испытаний её на действие динамических нагрузок. Запас прочности экспериментальной балки составил 2,07.

2. В процессе колебаний накапливается прогиб от торцевых смятий, что характеризуется увеличением $U_{ст}$ при колебании. В некотором смысле увеличение статического прогиба при колебании повышает сейсмостойкость конструкции, которую можно характеризовать неравенством $U_{ст} > U_{tmax}$.

3. При резонансном состоянии и при колебаниях частотой до 116 с^{-1} отношение $\frac{v}{g}$ было в пределах 0,2-0,4 что соответствует 8 и 9 балльной интенсивности сейсмических сил. При этом размыкание узлов цепной балки происходит, но из-за соблюдения условия неравенства $U_{ст} > U_t$ «подбрасывания» масс не сопровождалось.

4. Как известно, в цепных балках связь-шарнир находится в нижней растянутой зоне, а в верхней зоне его нет, поэтому (Е). В реальных комбинированных металлодеревянных конструкциях

изгибная жесткость $(E)_{\text{вниз}}$ тоже отличается от $(E)_{\text{вверх}}$, но при этом $(E)_{\text{вверх}}$. Из этого можно сделать вывод о том, что если при больших разницах $(E)_{\text{вверх}}$ и $(E)_{\text{вниз}}$ не сопровождались «подбрасывания» масс, то также не будет сопровождаться при меньших разницах изгибной жесткости.

5. Комбинированные решетчатые конструкции с жесткими деревянными верхними и нижними гибкими металлическими поясами обладают необходимой динамической устойчивостью и их можно рекомендовать для строительства в сейсмических районах с интенсивностью 9 баллов включительно, а также для сооружений с динамическими нагрузками.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.

1. В результате проведенных анализов теоретических и экспериментальных исследований установлено, что поведение конструктивно-нелинейных плоских комбинированных металлодеревянных стержневых конструкций покрытий при воздействии динамических сил не исследовано, следовательно, отсутствуют сведения о сейсмостойкости таких систем.

2. С целью изучения динамических характеристик и форм колебаний комбинированных конструктивно-нелинейных систем и для простоты теоретического и экспериментального исследования приложена их модель в виде цепной балки, каждое звено которой представляет собой жесткий диск, соответствующий жесткому диску панели фермы. При динамическом расчете цепной балки изменчивость жесткости учитывается касательной матрицей жесткости, где в вектор смещений должен быть включено и перемещение от развития торцевых деформаций.

3. Ввиду того, что в комбинированных конструкциях используются сопряжения сжатых стержней простым торцевым упором и при колебании возможно их многократное размыкание и замыкание,

исследован характер развития торцевых деформаций при многократных повторно-переменных нагружениях, в результате которой предложена формула прогнозирования конечной торцевой деформации в зависимости от числа циклов и уровня нагружения.

4. Развитие торцевых деформаций более интенсивно в начальных этапах нагружения 4 и 6 циклы, в дальнейшем при уровнях нагружения менее единицы, оно стремится к асимптотической линии, а при уровнях более единицы, оно имеет прогрессирующий характер.

5. В процессе нагружения в узлах цепной балки возникают неодинаковые по абсолютному значению торцевые деформации в зависимости от уровня нагружения. Поэтому подвержена изменчивость уровня нагружения в зависимости от изгибающего момента и получены формулы определения коэффициента изменчивости уровня нагружения (μ_j) для j -го узла при четном и нечетном количестве ячеек.

6. Получены аналитические выражения для определения вектора смещения $U_{\Delta i}$ от торцевых деформаций сжатых деревянных стержней при четном и нечетном количестве ячеек в зависимости от числа циклов и переменной по длине балки уровнем нагружений.

7. Дополнительный прогиб от динамической податливости узловых сопряжений вызывает развитие напряжений в нижней растянутой зоне и увеличивает значение статического прогиба, что уменьшает вероятность подбрасывания конструкции ввиду неравенства $U_{ст} > U_t$.

8. Выполненные экспериментальные исследования позволили получить основные параметры собственных и вынужденных гармонических колебаний конструкций цепных балок в вертикальных направлениях при различных интенсивностях $P(t)$ с варьированием масс эксцентров от 33,1г до 102,5г, что характеризовалось с различными по величине амплитудами. Логарифмический декремент колебаний при вертикальных направлениях колебаний находится в пределах от 0,08 до

0,2. Периоды вынужденных колебаний в резонансном состоянии при вертикальных колебаниях находится в пределах от 0,163с до 0,17с-при P(t) в 0,29*1 пролета и от 0,19 до 0,209с- при P(t) в середине пролета.

9. При вынужденных вертикальных гармонических колебаниях частотой до 116с^{-1} и в резонансном состоянии отношение ускорений к ускорению свободного падения $\frac{y}{g}$ было в пределах 0,2-0,4 что соответствует 8 и 9 балльной интенсивности сейсмических воздействий. При этом возникали размыкание узлов цепной балки, но из-за соблюдения условий неравенства $\frac{y_{cm}}{y_{t \max}} > 1$ «подбрасываний» масс не происходило.

10. Анализ виброграммы показал, что при вынужденных гармонических колебаний резонансные явления происходили при оборотах 280-340 об/мин и 274-340 об/мин, соответственно при приложении возмущающей силы в 0,29*1 и 0,5*1 пролета. Теоретически, резонансные явления должны были бы при оборотах 447 и 370 об/мин вращения вала вибромашины. Конструктивные особенности системы приводят к тому, что теоретические значения собственной частоты на 8-37% больше фактической.

11. Экспериментальные исследования при различных режимах подтвердили преобладающий характер 1-ой формы колебаний. Отсутствие подбрасывание масс в различных режимах колебательного процесса дает основание полагать, что превращение комбинированной конструкции в статически изменяемую схему не происходит.

12. Комбинированные плоские металлодеревянные стержневые конструкции с жесткими деревянными верхними и гибкими нижними металлическими поясами обладают достаточной прочностью и жесткостью динамически нагрузок и их можно рекомендовать для строительства объектов с динамической нагрузкой, в т.ч. и сейсмической, с интенсивностью до 9 баллов

Литература

1. Абдурашидов К.С. Натурные исследования колебаний зданий и сооружений и методы их восстановления.-Т.:Фан,1974.-216 с.
2. Ботвина А. Л.М. Строительные материалы из лессовидных суглинков.- Т.: Укитувчи,1984.-128 с.
3. Войтик Н. С., Юрченко Ф. М. Глиносирцовое строительство.- Минск, 1959.- 160 с.
4. Исабаев С. У. Прочность и сейсмостойкость глинобитных стен. Дис... канд. Тех. Наук.- Т., 1996.-142с.
5. Климов Д.Б. Зарубежный опыт глинобитного строительства. – М.: Госстройиздат, 1956.- 101с.
6. Ларионов А.К. Занимательное грунтоведение. –М.: Недра, 1984. – 136 с.
7. Лебедев Л.Н., Павленко В.Т. Строительство зданий из земли. – Ленинград.: 1959. – 40 с.
8. . Маньковская Л. Хива: Альбом –Т.: Изд. лит и искусства, 1982. –264 с.
9. Мартынов П.Т. Строительство из глиносирцовых материалов в районах освоения целинных и залежных земель. –М.: Госиздат, 1954. –80 с.
10. Пирманов К.Ш. Оценка сейсмостойкости индивидуальных зданий из местных материалов // Ферганский политехнический институт. Научно-технический журнал. Фергана, -2001. –N 1. –С. 29-33.
11. Попов Н.А. Технические указания по производству и применению грунтоблоков для массовом строительстве –М.: 1945. . –116 с.
12. Попов Н.А. Грунтматериалы в строительстве зданий. –М.: 1944.
13. Рассказовский В.Т., Рашидов Т.Р., Абдурашидов К.С. Последствия Ташкентского землетрясения. –Т.: Фан, 1967. –144 с.
14. Рождественский Е.Д. Глинистые грунты как материал для землебитных зданий. –Т.: Госиздат, 1959. –119 с.
15. Рузиев К.И. Индивидуальные дома из местных материалов // Маскан. – 1992. –N 11-12. –С. 12-13.
16. Рузиев К.И., Хаджиев И.М., Турсунов С.Т. Дисперсарматураланган пахса материалининг физик-механик характеристика // Ферганский политехнический институт. Научно-технический журнал. Фергана. –1998. – N 2(3). –С.59-61.

17. Рузин Б.В. Строительство из глиносырцовых материалов. / Под.общ.ред. С.М. Осмоловского –М.: Госстройиздат, 1956. – 136 с.
18. Сейсмостойкие сооружения и теория сейсмостойкости: (По материалам V Международной конференции по сейсмостойкому строительству) / С.В. Поляков, С.В. Медведев, Н.В. Ваучский и др.; Под ред. С.В. Полякова и А.В. Черкашина. –М.: Стройиздат, 1978.-272 с.
19. Синельников И.Ю., Угрюмов Е.И., Гунариди И.Ф. Применение грунтоматериалов в сельском строительстве // Архитектура и строительство Узбекистана. –1990. –N 5. –С. 36-37.
20. Хаджиев И.М., Рузиев К.И., Турсунов С. Долговечность дисперсноармированного глинобита // Ферганский политехнический институт. Научно-технический журнал. Фергана. –1997. – N 1. – С. 108-109.
22. Anonymous A. Handbook of Adobe Codes from Around the Southwest, Adobe News, Ins., Albuquerque, New Mexico, 1982. -95 p,
23. Earth Wall Construction. Bulletin 5, 4th Ed., National Building Technology Centre, Sydney, Australia, 1987.
24. Ferm R.L. Stabilized Earth Construction – an Instructional Manual. The International Foundation for Earth Construction. Washington, USA,. 1985.- 74 p.
25. Mc Henry, P.G.: Adobe and rammed earth buildings. Design and construction.

UNM Zimmerman. Originally published by John Wiley & Sons, New York, 1984. -217 p.
26. Minke, G.:Lehmbau-Hanbuch. Ökobuchverlag Staufen 1994
27. New Mexico Adobe and Rammed Earth Building-Code. CID-GCB-NMBC-91-1.

Regulation & Licensing Department. Construction Industries Division. NM, USA, -1991. –11 p.
28. NZS 4297:1998 «Engineering Design of Earth Buildings», Standards New Zealand.

29. Webster F. Research and CODE improvement // Dea. Tech. Research Inc. USA,- 1999.-15 p.
30. Zegarra, L., D. Quiun, A.S. Bartolome and A.Giesecke. Reforzamiento de viviendas existentes de adobe. Proyecto CERESIS-GTZ-PUCP. Report presented at the XII National Congress of Civil Engineering. Huanuco, Peru. 1999.
31. СН и П. КМК 2.01.03 – 96. Строительство в сейсмических районах. Т.: Госкомархитектстрой, 1996. –65 с.
32. СН и П. КМК.4.02.06 – 96 Бетонные и железобетонные конструкции монолитные.-Т.: Госкомархитектстрой, 2000.-93 с.
33. СН и П. КМК.4.02.08 – 96 Конструкции из кирпича и блоков. – Т.: Госкомархитектстрой, 2000.-58 с.
34. С.Ж. Разза=ов. Пахса конструкцияли бино ва иншоотларни самарали =урилиш технологияси || Янги технологиялар - и=тисодий тара==иётнинг омили. Республика илмий - амалий конференцияси ||.Наманган -2003й., 15-16 апрел,
- 35 С.Ж, Разза=ов. Мустацкамлиги паст былган материаллардан тикланган кам =аватли бино деворларида сейсмик кучларни та=симлаш.||Ахборот ва ишлаб чи=ариш технологиясининг ил\ор усуллари техникаси ва тад=и=оти. Республика илмий - техник конференцияси ||. Фар\она-2003 й., 23-24 май,
36. С.Ж. Разза=ов, Б./ Жыраев, З. Бузруков, Н.Комилова. Статические испытания модели цепной балки. ||Фар\она политехника институти илмий техника журналининг 2003 йил, 1- сони||, 38- 40 бетлар.
37. С.Ж. Разза=ов, А. Холмирзаев, Б.Холмирзаев. Керамзитбетондан тайёрланган си=илувчи темирбетон элементларини мустахкамлик ва деформатив хоссаларига =уру= исси= и=лимнинг таъсири. || Фар\она политехника институти илмий техника журналининг 2003 йил, 1- сони||, 41-44 бетлар).
38. К.И.Рузиев, И.К. Косимов., Хаджиев И.М. Рекомендации по проектированию и строительству зданий из модифицированного волокнистыми отходами глиносырца. Госархитектстрой Руз.-Т.:2003.-с.18.

39. Рузиев К. И., Ходжиев И. М. Прочность модифицированной глины на растяжение// Структура и свойства искусственных конгломератов. Международный сборник научных трудов НГАУ РАЕН, Новосибирск,- 2003.-С.83-85.
40. **Razzokov S. J.** The earthquake-resistance and stability of buildings and structures built from clay// Umweltforum Berlin Auferstehungskirche. Berlin, Germany,- 2003,-s. 62-71.
41. Шамсиев У.Ш., Ахмедов М.А., Фасахов В.Г., Хаджиев И.И., Раззаков С.Ж.. Повреждаемость домов индивидуального строительства при сильных землетрясениях. Современные проблемы механики жидкостей, многофазных сред и распространение волн в сплошных средах. -Т.: Фан, 1999. - с 631-633.
42. Шоумаров Н.Б., Хобилов Б.А. Зилзилабардош иморатлар. -Т.: Мехнат, 1989. -168с.
43. Рузиев К.И., Хаджиев И.М., Рахманов Б. Динамические испытания экспериментального дома со стенами из модифицированной глины. Экология и ресурсосбережение в материаловедении. Международный сборник научных трудов. Новосибирск.,-2000г.,с.44-48.
44. Рузиев К.И., Исабаев С.У., Турсунов С. Об опыте предков по упрочнению глинобита. Научно-технический журнал. Фергана, -1997., -№1.,-с.108-109.
45. +1+ 2.01.03-96. Çèèçèèââèèè ùòáòäèäðäà =óðèèèø. Òìøèáíð.,-1997é.,-58á.
46. Браун Т. , Лемей Г.Ю. Химия в центре наук, часть 2, М., Мир, 1983.-337-347стр.
47. Вахнин М.П., Анищенко А.А. , Производство силикатного кирпича. М., “Высшая школа” , 1989. - 22-24 стр.
- 48 Викторов В. Секреты простой глины. Голос Узбекистан. 1998. -9 январь.
49. Исабоев С.У. Прочность и сейсмостойкость глинобитных стен. Дис...канд.техн.наук.-Т.,1996.-142с.
50. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М., «Мир»,1975,541 с.
51. Хаджиев И. М. Прочность и сейсмостойкость стен из модифицированного глиносырца: Автореферат.дис.канд.техн.наук.- Ташкент, 2003.-216с.
52. Юлдашев Ш.С. Распространение вибраций в грунтах от транспортных средств и виброзащитные системы: докт... дисс.- Ташкент, 1999. 333 с.