

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
им. М.И. КАЛИНИНА

На правах рукописи

А р я с о в Геннадий Петрович

СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПЕРЕКРЕСТНЫХ
БАЛОК И ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПРИ
ДЕЙСТВИИ ПОВТОРНОЙ ПРЕРЫВНОЙ НАГРУЗКИ

01.02.03 - строительная механика

А в т о р е ф е р а т диссертации на
соискание ученой степени кандидата тех-
нических наук

Днепропетровск

1979

НТБ
ДНУЖТ

6856a

0
Работа выполнена в Таллинском политехническом институте.

Научный руководитель -
доктор технических наук, профессор Г.К.Гольст.

Официальные оппоненты -
доктор технических наук, профессор Е.С.Сорокин,
кандидат технических наук, доцент И.Г.Барбас.

Ведущая организация -
Государственный проектный институт Госстроя
Эстонской ССР "Эстпромпроект".

Защита состоится "26" апреля 1979 года в 14⁰⁰
часов на заседании специализированного совета К-ИИ4.07.02
в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного
транспорта им. М.И.Калинина по адресу: 320629 ГСП, Днепро-
петровск Ю, ул. Университетская 2, ДИИТ.

ИНСТИ-

тута.

ОВСКИЙ

НТБ
ДНУЖТ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В основных задачах развития народного хозяйства СССР на 1976-80 годы, поставленных ХХУ съездом КПСС, указано на необходимость дальнейшего совершенствования строительного производства, всемерного снижения материалоемкости конструкций путем улучшения качества проектирования на базе современной вычислительной техники.

709589

Интенсивное развитие различных областей техники, в результате которого быстро увеличивается количество различного вида машин и оборудования импульсного действия, а также ужесточение норм по ограничению уровня колебаний и обеспечению прочности конструкций, способствуют возрастанию интереса к исследованию колебательных процессов в строительных конструкциях. Это относится и к строительным конструкциям типа перекрестных балок. Однако динамическому расчету таких систем уделено еще сравнительно малое внимание. Этот вопрос, учитывая возможность применения современной быстродействующей вычислительной техники, требует дальнейшего изучения и решения.

Цель работы заключается в разработке методики динамического расчета перекрестных балок и получении программы для автоматизированного счета на ЭМ типа "Минск". Работа предусматривает: расчет свободных колебаний перекрестных балок сплошного и тонкостенного профиля по различным расчетным схемам; изучение особенностей динамического поведения перекрестных балок из тонкостенных элементов; исследование вынужденных колебаний при действии повторной прерывной нагрузки; проведение эксперимента для проверки основных теоретических положений и результатов.

Научная новизна. Разработана методика исследования свободных колебаний перекрестных балок из тонкостенных элементов как симметричного, так и несимметричного профилей при учете различных условий сопряжений стержней.

Выявлено отличие динамического поведения перекрестных балок из тонкостенных элементов по сравнению с такими же системами из стержней сплошного профиля.

На основе теории ошибок проведена оценка точности приближенных методов определения основных динамических характеристик системы.

Дан общий анализ влияния крутильной жесткости на свободные изгибные колебания перекрестных балок.

Предложена методика динамического расчета ребристых железобетонных перекрытий при учете более точных расчетных схем по сравнению со схемами, применяемыми по действующим инструкциям.

Практическая ценность работы. Дана методика динамического расчета перекрестных балок при действии повторной прерывной нагрузки с использованием программ на алгоритмическом языке "Малгол", которые могут быть применены для расчета и проектирования железобетонных ребристых перекрытий, а также судовых и мостовых конструкций. Достоверность алгоритма расчета и разработанных математических моделей проверена путем сравнения расчетных и экспериментальных данных. Предложенная методика применена для расчета реального монолитного железобетонного перекрытия под маслоизготовитель и внедряется в практику проектных строительных организаций Эстонской ССР.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на I и II Всесоюзных семинарах по практической реализации метода конечных элементов в расчетах строительных конструкций в г. Ленинграде в 1976, 1977 годах; на Республиканской конференции по пространственным и тонкостенным конструкциям в г. Таллине в 1978 году; на общегородских семинарах в Ленинградском Доме Ученых в 1976, 1977, 1978 годах, на научных семинарах в Ленинградском инженерно-строительном институте, в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта и в Таллинском политехническом институте в 1975-1978 годах.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в пяти статьях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из основной части и приложения. Основная часть включает введение, четыре главы, заключение, список литературы и содержит 127 страниц, из которых 80 страниц машинописного текста и 47 страниц с 14 таблицами, 47 рисунками, списком литературы из 195 наименований. Приложения содержат 17 страниц, в том числе 3 таблицы и 5 рисунков. Общий объем работы составляет 144 страницы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В I главе исследуются свободные колебания перекрестных балок по различным расчетным моделям: система с распределенной массой и дискретная модель.

Дается обзор литературы и существующих методов расчета свободных колебаний перекрестных балок. Существенный вклад в развитие этих методов был внесен работами Н.И. Бабаева, И.Г. Бубнова, М.Л. Бурышкина, С.С. Голушкевича, С.С. Гуламова, В.К. Егупова, Ю.Г. Энгельбрехта, В.А. Игнатьева, М.Л. Крейна, А.А. Курдюмова, А.И. Крылова, А.О. Левина, А.А. Михайлова, А.Т. Неведрова, М.Г. Нудельмана, П.Ф. Папковича, И.Г. Попова, В.А. Постнова, Е.С. Гребня, Б.А. Пушкина, А.В. Рудоминского, Л.А. Савченко, А.И. Сегалья, С.В. Симеонова, С.А. Степкина, Н.И. Столярова, И.Л. Солдатова, О.Бекара, Н.И. Блейха, З. Вана, В. Вивера, И. Эллингтона, М. Камеона, В. Нейберта, Г. Смита, Р. Смитка, Д. Шейдера, и др. Однако остались еще полностью не рассмотренными вопросы оценки влияния на динамические характеристики перекрестных балок таких факторов как тип поперечного сечения, условий сопряжения, а также соотношений изгибной и крутильной жесткостей балок. Особенно это относится к системам, состоящим из тонкостенных элементов.

Наряду с изучением свободных колебаний систем из сплошных стержней изучаются свободные колебания систем из тонкостенных элементов симметричного и несимметричного профилей.

Из рассматриваемых моделей основное внимание уделено схеме с распределенными массами. Решение производится на основе метода перемещений.

Получены формулы реактивных усилий (моментов и сил) для пространственных изгибно-крутильных колебаний тонкостенного стержня несимметричного профиля.

Основная система метода перемещений образуется путем наложения дополнительных связей в узловых соединениях: для систем из сплошных стержней – против линейных и угловых перемещений; для систем из тонкостенных стержней – против деформации, угловых и линейных перемещений. Учитывая наличие деформации тонкостенных элементов, рассмотрены два случая их сопряжений. В одном случае все тонкостенные стержни, примыкающие к узлу, имеют одинаковую деформацию. В другом – продольные и поперечные тонкостенные стержни деформируются независимо друг от друга. Принимается, что если соединение тонкостенных стержней осуществляется на одном уровне, то на деформацию накладывается одна связь, а для узлового соединения, где стержни находятся на разных уровнях – две связи.

Рассмотрены примеры расчета систем перекрестных балок при учете различных профилей поперечного сечения: прямоугольного (полоса), двутаврового и швеллерного. При решении учитывается симметрия системы относительно двух осей. Результаты расчетов свободных колебаний перекрестных балок, выполненных по двум теориям (теории тонкостенных стержней и теории сплошных стержней), показали, что частоты собственных колебаний систем из тонкостенных элементов существенно отличаются от соответствующих частот систем из сплошных стержней при одинаковых изгибной и крутильной характеристиках поперечных сечений. Расхождение происходит за счет влияния степеней деформации поперечных сечений тонкостенного стержня. Соответствующие графики приведены на рис. 1.

Из анализа полученных результатов по двум различным теориям следует:

Расхождение

%

Обозначение профилей перекрестных балок

- — полоса с J_{min}
- — " — с J_{max}
- ▲ — двутавр с J_{min}
- △ — " — с J_{max}
- * — швеллер с J_{min}
- — " — с J_{max}

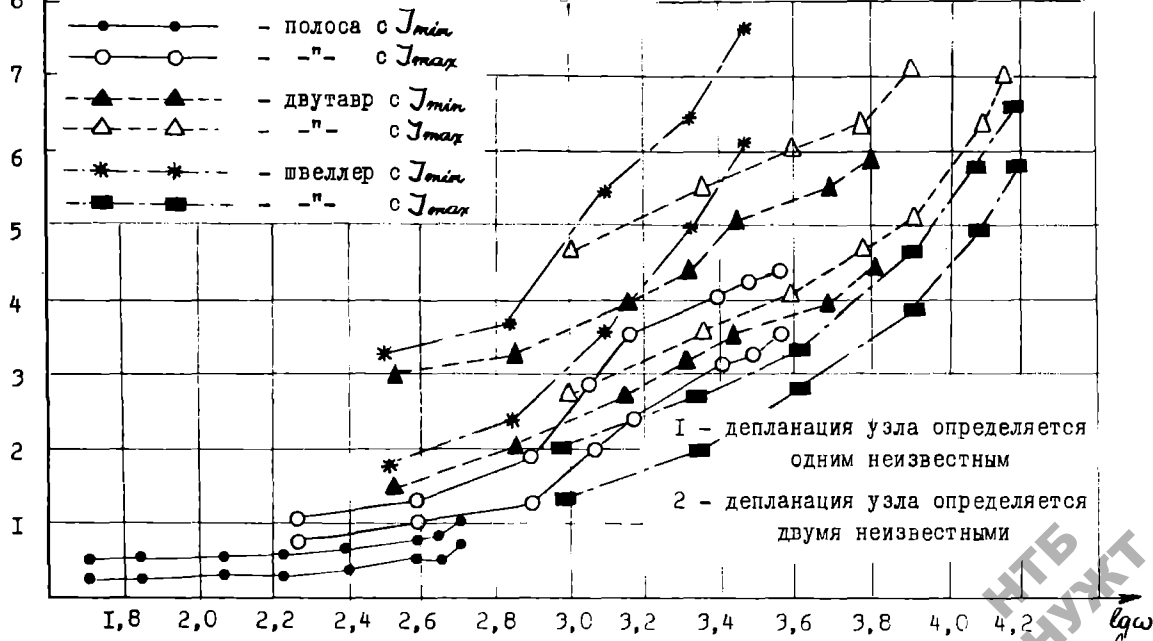


Рис. I. Графики расхождения частот собственных колебаний систем из тонкостенных стержней от соответствующих частот ω систем из сплошных стержней

- наибольшее расхождение в значениях частот имеет место, когда расчет по теории тонкостенных стержней ведется при учете одной связи, наложенной на деформацию узла;

- с ростом номера частоты соответственно увеличивается разница в значениях частот собственных колебаний перекрестных балок;

- чем большей изгибной жесткостью обладают стержни с симметричным профилем, тем сильнее проявляется расхождение в значениях частот собственных колебаний перекрестных балок. В случае стержней несимметричного профиля (например, швеллер) эта закономерность нарушается.

В ряде случаев расчет свободных колебаний перекрестных балок из тонкостенных стержней можно проводить по теории стержней сплошного сечения. Однако решение об использовании в расчете этой теории должно быть связано с явлением кручения, возникающего при изгибных колебаниях элементов перекрестных балок. Поэтому в реферируемой работе подробно анализируется влияние крутильной жесткости на изгибные колебания перекрестных балок.

В основу исследования положены уравнения метода перемещений, составленные для произвольной системы перекрестных балок. Эти уравнения представлены в виде:

$$\Phi_1^i(\lambda) + \Phi_2^i(\lambda) = 0; (i = 1, 2, 3, \dots, n),$$

где $\Phi_1^i(\lambda)$ - зависит лишь от изгибной деформации;

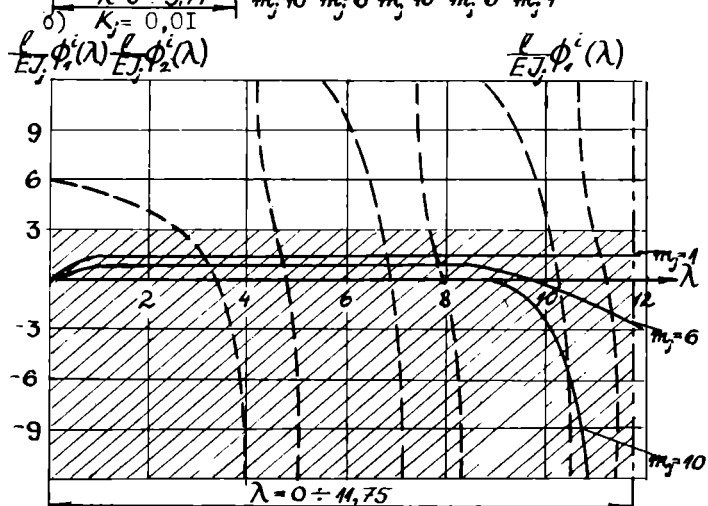
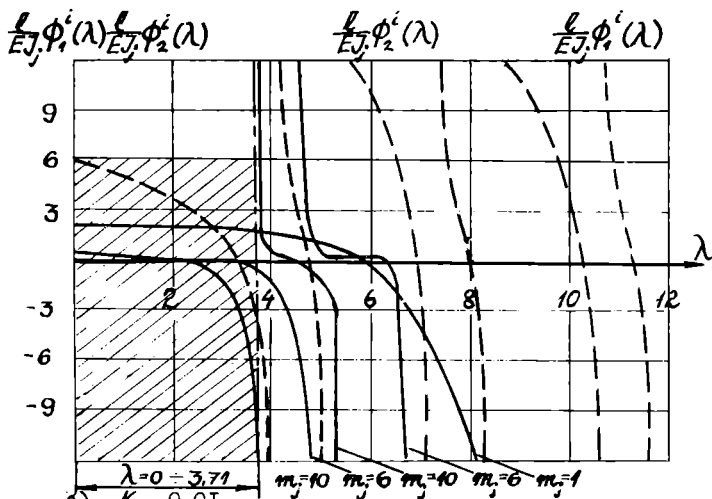
$\Phi_2^i(\lambda)$ - только от крутильной деформации.

Функции $\Phi_2^i(\lambda)$ можно привести к виду:

$$\Phi_2^i(\lambda) = \sum_{j=1}^n \frac{EJ_j}{l_j} \frac{1,24\lambda^2 k_j}{m_j} \sqrt{m_j(1+m_j^2)(-0,15+0,3m_j)} \times \\ \times \operatorname{ctg} \left[0,1343\lambda^2 k_j \sqrt{\frac{(m_j^2+1)m_j}{(-0,15+0,3m_j)}} \right],$$

где $k_j = \frac{h_j}{l_j}$; $m_j = \frac{h_j}{b_j}$ - параметры;
 h_j ; b_j ; l_j - высота, ширина и длина стержня.

a) $K_j = 0, I$



- - - кривые изменения конечных сил от изгиба $\phi_1''(\lambda)$;
 - кривые изменения конечных сил от кручения $\phi_2''(\lambda)$.

Рис.2. Графики изменения конечных усилий в узловом соединении от изгиба и кручения

Функции $\Phi_2^i(\lambda)$ и $\Phi_1^i(\lambda)$ рассматриваются как функции изменения конечных реактивных усилий в узловых соединениях соответственно от крутильной и изгибной деформаций.

На рис. 2 даны кривые изменения этих функций: пунктирные линии - $\Phi_1^i(\lambda)$, сплошные линии - $\Phi_2^i(\lambda)$ (при различных значениях m_j и k_j). Исследуемые диапазоны частот отделены на рис. 2 штрих-пунктирной линией и заштрихованы.

В результате анализа выявлено:

- влияние кручения на изгибные колебания перекрестных балок проявляется неодинаково на различных участках исследуемого диапазона частот и зависит от параметров " m_j " и " k_j ",

- решение вопроса об учете кручения зависит как от длины определяемого спектра частот, так и от соотношения линейных размеров поперечных сечений и длин балок.

На основе учета всех вышеуказанных факторов может быть решен вопрос, в каких случаях свободные колебания перекрестных балок из тонкостенных элементов следует рассчитывать по теории стержней сплошного профиля.

В рамках приближенного расчета, осуществляемого путем разложения частотных функций $F_i(\lambda)$ в степенные ряды, решается задача о количестве членов в разложениях функций, необходимых для вычисления собственных частот перекрестных балок с заданной точностью. Существенный вклад в развитие приближенных методов применительно к свободным колебаниям стержневых конструкций внесли: Н.И. Безухов, В.В. Болотин, Ш.М. Гофман, К.С. Завриев, Ю.М. Майзель, Л.К. Нарц, Я.Л. Нудельман, И.М. Рабинович, А.Р. Ржаницы, А.П. Сивинцы, А.Ф. Смирнов, Н.К. Снятко и др.

В реферируемой работе решение задачи осуществляется на основе теории ошибок. Задается погрешность $\Delta\lambda$, с которой необходимо найти замыкающую частоту ω_n в спектре частот заданной длины. Исходя из этой погрешности $\Delta\lambda$ определяется погрешность в вычислении детерминанта $D(\lambda)$ системы однородных уравнений метода перемещений

$$\Delta D = \left| \frac{d}{d\lambda} \ln D(\lambda) \right| |\Delta \lambda|. \quad (I)$$

Представляем детерминант $D(\lambda)$ как функцию $f[F_1(\lambda) \dots F_{12}(\lambda)]$ от множества аргументов, которыми являются частотные функции $F_i(\lambda)$ и определяем погрешности аргументов ΔF_i по найденной из (I) погрешности ΔD

$$\Delta F_i = \frac{\Delta D}{12 \cdot \left\{ \frac{\partial f[F_1(\lambda), \dots, F_{12}(\lambda)]}{\partial F_i(\lambda)} \right\}}, \quad (2)$$

$$(i = 1, 2, 3, \dots, 12).$$

С помощью остаточного члена в форме ЛAGRANЖА находим погрешности ΔF_i^* приближенного вычисления частотных функций $F_i(\lambda)$, в зависимости от числа удерживаемых членов в степенных рядах. Принимаем ΔF_i^* наиболее близкими к вычисленным по (2) погрешностям ΔF_i и находим общую ошибку ΔD^* в вычислении детерминанта $D(\lambda)$

$$\Delta D^* = \sum_{i=1}^{12} \left| \frac{\partial f[F_1(\lambda), \dots, F_{12}(\lambda)]}{\frac{\partial F_i(\lambda)}{f[F_1(\lambda), \dots, F_{12}(\lambda)]}} \right| \quad (3)$$

Если имеем $\Delta D^* \leq \Delta D$, то задача может считаться решенной. В противном случае назначаются новые погрешности ΔF_i^* и расчет повторяется снова.

Показано, что при решении этой задачи, необходимо рассматривать и вопрос сходимости рядов для заданного значения замыкающей частоты собственных колебаний.

Приводятся примеры расчета. Для перекрестных балок, как сложных стержневых конструкций, уже первое приближение (удерживание члена при λ^4) дает вполне удовлетворительные результаты в вычислении первых 3 ÷ 5 тонов частот собственных колебаний.

В качестве другой расчетной модели перекрестных балок рассматривается дискретная модель в виде системы сосредоточенных масс.

На конкретных примерах проводится сравнение результатов расчета перекрестных балок на свободные колебания, вы-

полненные по дискретным схемам, с результатами точного расчета, а также оценивается точность вычислений по дискретной схеме. Результаты расчета приведены в таблице I.

Т а б л и ц а I
Сравнительный анализ точности расчета перекрестных балок при учете дискретных схем

Вид системы	Расчетная схема (количество сосредоточенных масс)	Погрешность, %				
		Номер частот собственных колебаний				
		I	2	3	4	5
Перекрестные балки 2x2	Дискретная схема с 4-мя сосредоточ. массами	1,16	1,82	1,51	3,13	-
	Дискретная схема с 16-ю сосредоточ. массами	0,76	1,62	0,73	1,48	1,63
Перекрестные балки 3x4	Дискретная схема с 12-ю массами	0,28	0,55	0,27	0,34	0,26
	Дискретная схема с 43-мя массами	0,0	0,09	0,12	0,14	0,13
Перекрестные балки 3x9	Дискретная схема с 27-ю массами	0,17	0,82	0,21	1,3	0,91
	Дискретная схема с 56-ю массами	0,0	0,05	0,09	0,29	0,34

Установлено, что для получения необходимой точности расчета вполне достаточно сосредотачивать массы в узлах и в серединах пролетов перекрестных балок.

Глава II посвящена вынужденным колебаниям перекрестных балок при действии повторной прерывной нагрузки (рис. 3). Динамические перемещения определяются последовательно в каждом интервале приложения нагрузки или более эффективно — путем нахождения чисто вынужденных периодических перемещений.

В отличие от расчетов на свободные колебания, вынужденным колебаниям перекрестных балок посвящено сравнительно мало литературы. Это объясняется сложностью поставленной задачи, допускающей строгое аналитическое решение лишь для некоторых частных случаев. Поэтому исследователи предпочитали применять приближенные методы расчета, но и они в своем большинстве были ориентированы на возможности "ручного" счета. В основном вынужденные колебания перекрестных балок рассматривались в рамках динамического расчета судовых перекрытий. Это работы А.А. Аронкина, Н.И. Бабаева, В.В. Давидова, В.К. Егупова, А.Н. Крылова, А.А. Курдюмова, В.Г. Лемякова, Э.П. Лукана, Н.В. Матесса, П.Ф. Папковича, В.А. Постнова, О.М. Палий, В.П. Суолова, В.С. Чувиковского, Д.Н. Шаврова, Д.А. Шманского и др. В области строительных конструкций рассматривались железобетонные перекрытия, расчет которых на вынужденные колебания освещается в работах И.Л. Корчинского, Б.Г. Коренева, Ю.Г. Энгельбрехта, А.А. Михайлова, В.И. Сысоева, О.И. Томсона, П.М. Френкеля. Наиболее полно этот вопрос рассматривался в работах Е.С. Сорокина и А.И. Цейтлина, результаты которых использованы в расчетных инструкциях.

Большой интерес для техники представляет повторная прерывная нагрузка. Таковую нагрузку создают молоты, штампы ударного действия, долбежные станки, испытательные машины, типографские машины, маслоизготовители, ткацкие станки и т.д. Однако вопрос расчета перекрестных балок при действии повторной прерывной нагрузки еще не получил достаточного освещения и надлежащего анализа.

В реферируемой работе для расчета вынужденных колебаний перекрестных балок принята дискретная модель. Учитыва-

а) Однозначная

б) Разнозначная

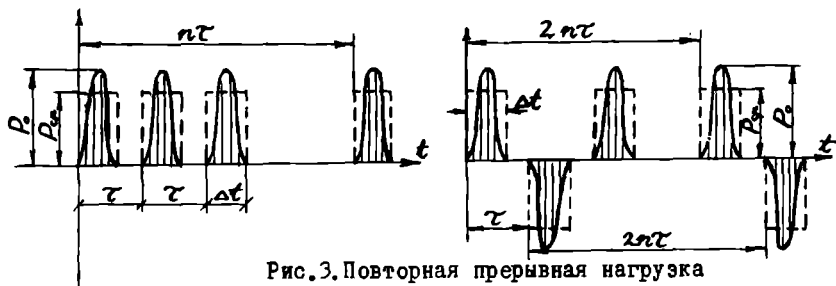
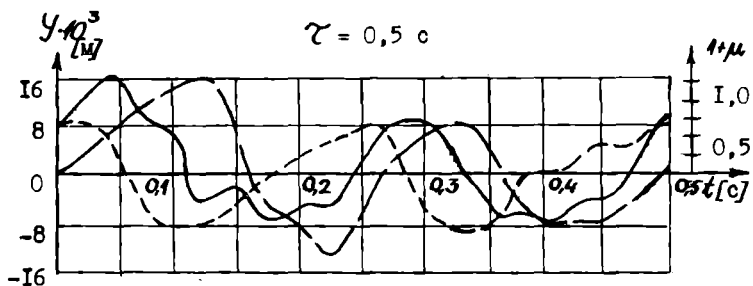
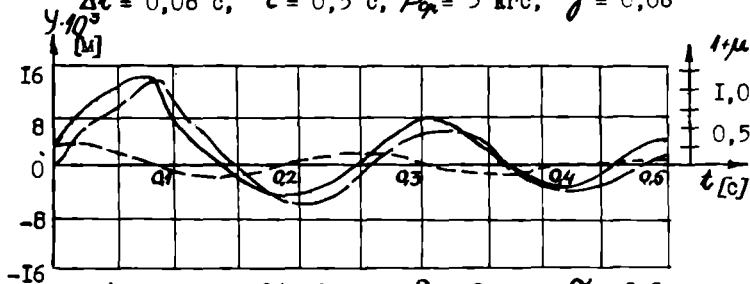


Рис.3. Повторная прерывная нагрузка



$\Delta t = 0,08 \text{ с}, \tau = 0,5 \text{ с}, P_p = 3 \text{ кгс}, \gamma = 0,06$



$\Delta t = 0,08 \text{ с}, \tau = 0,5 \text{ с}, P_p = 3 \text{ кгс}, \gamma = 0,2$

- — — чисто вынужденные периодические колебания;
- — — вынужденные колебания, отражающие действие нагрузки в данном интервале;
- — — свободные колебания в данном интервале.

Рис.4. Графики чисто вынужденных периодических колебаний и динамических коэффициентов по перемещениям

ется прямоугольная форма импульса $S = P_{cp} \Delta t$, где Δt - продолжительность действия нагрузки (рис. 3). Составляется система дифференциальных уравнений вынужденных колебаний с учетом сил сопротивления по Е.С.Сорокину. Получены общие решения для определения вынужденных перемещений в каждом последовательном интервале приложения нагрузки. На основе разработанного алгоритма составлена программа на языке "Малгол".

Приведены конкретные примеры расчета перекрестных балок. Рассмотрено влияние сил сопротивления на каждую форму колебаний. Показано, что выбор и число форм главных колебаний, учитываемых при расчете вынужденных колебаний, зависит как от основных динамических характеристик перекрестных балок, так и от параметров повторной прерывной нагрузки.

Определение перемещений в каждом последовательном интервале действия нагрузки является достаточно длительным, а главное не дает ответа, когда будут и чему равны наибольшие перемещения системы. Иначе колебательный процесс можно представить как сумму периодического стационарного колебания с периодом возмущающей нагрузки и собственных колебаний со собственными ей периодами. Такая задача для систем с одной и двумя степенями свободы ставилась в работах Н.Г.Бондаря, Г.К.Гольста, А.Г.Лойцянского, А.И.Лурье, Я.Г.Пановко, Н.М.Поповича, И.М.Рабиновича, Н.К.Снитко, Е.С.Сорокина и других. Здесь эта задача распространяется на систему со многими степенями свободы. На основе полученных решений составлены программы на языке "Малгол". Некоторые результаты расчета даны на рис. 4. На каждом графике (рис. 4) изображены три кривые: чисто вынужденные периодические колебания; вынужденные колебания, вызванные непосредственным приложением нагрузки в данном интервале; свободные колебания с начальными условиями данного интервала. Первая кривая является суммой двух последних кривых.

Глава III посвящена экспериментальным исследованиям свободных колебаний и вынужденных колебаний при действии повторной прерывной нагрузки на специально изготовленном стенде. Полученные динамические характеристики и графики динамических перемещений сравниваются с соответствующими результатами теоретических расчетов, выполненных в предыдущих главах. Экспериментальный стенд представляет собой систему перекрестных балок 2×2 из стальных полос сечением $3 \times 0,5$ см, шарнирно закрепленных к массивному опорному контуру из двутавровых балок № 20 в виде четырехугольника с размерами в плане 224×143 см. Возбуждение колебаний осуществляется с помощью двух типов вибраторов. Один из них создает гармоническую нагрузку, другой — импульсивную нагрузку конечной продолжительности. Частоты и формы колебаний определялись для первых пяти тонов. Результаты экспериментального определения основных динамических характеристик вполне удовлетворительно подтверждают результаты расчета (табл. 2). Тремя различными методами определялся коэффициент внутреннего трения: по ширине и высоте резонансных пиков и методом свободных колебаний. Результаты приведены в таблице 3. Исследовалось влияние осредоточенных диссипативных сил, имеющих место на отдельных участках конструкции (в опорах, соединениях), на определение основных динамических характеристик. Эти силы формировались за счет силы сухого трения в опорах. Выяснено, что осредоточенные диссипативные силы не оказывают существенного влияния на определение коэффициентов демпфирования. Это подтверждает правомерность принятия в теоретических расчетах "обобщенного" коэффициента внутреннего трения γ , учитывающего и конструктивное демпфирование. Построены экспериментальные графики чисто вынужденных перемещений, где получено вполне удовлетворительное совпадение теоретических и экспериментальных данных.

В IV главе рассматривается расчет плит, подкрепленных ребрами жесткости. Исследуется расчетная схема в виде ортотропной пластины, когда массы и жесткости ребер раз-

Т а б л и ц а 2

Экспериментальные значения круговых частот собственных колебаний системы перекрестных балок 2x2

№ п/п	Эксперимент				Теоретический расчет		
	при действии гармонической нагрузки		при действии повторных нагрузок		распределенная масса системы (точный расчет)	дискретная схема с 4-мя сосредоточ. масса-ми	дискретная схема с 16-ю сосредоточ. масса-ми
	метод измерений		метод измерений			сосредоточ.	сосредоточ.
	стробоскоп	шлейфовый осциллогр.	стробоскоп	шлейфовый осциллогр.			
1.	-	-	27,5	25,4	26,2	28,6	26,3
2.	52,5- -54	52,2	54,5	53,5	52,8	53,3	53,1
3.	102- -104	102,4	-	102,8	102,4	104,0	103,2
4.	110- -113	109,5	-	109,6	108,6	112,0	111,2
5.	128- -142	133,9	-	133,5	134,5	-	134,8

Т а б л и ц а 3

Значения "обобщенных" коэффициентов внутреннего трения, определенных различными методами

№ п/п	Метод определения	Значения	
		по первой частоте	по второй частоте
1.	По затуханию собственных колебаний	0,06-0,08	0,08-0,112
2.	По высоте резонансного пика	0,07-0,092	0,09-0,1125
3.	По ширине резонансного амплитудного пика	0,066-0,091	0,08-0,112

мазываются по всей площади контура. Показано практическое использование разработанного алгоритма динамического расчета на примере подпертого колоннами монолитного железобетонного перекрытия под маслоизготовитель.

Аналитический расчет ребристых перекрытий является достаточно сложным. Поэтому в большинстве случаев прибегают к "размазыванию" ребер и сводят задачу к расчету ортотропной пластины. Другой путь является в некотором смысле обратным первому – задачу сводят к расчету системы перекрестных балок или отдельных элементов расчлененного перекрытия, где в расчетное сечение вводится плита как полка таврового сечения. На конкретных примерах оценивается точность расчета свободных колебаний ребристых плит и перекрестных балок по схеме ортотропной пластины (некоторые результаты представлены в таблице 4). Выявлено, что точность расчета по схеме ортотропной пластины определяется как шагом (пролетом) балок, так и соотношением их жесткостей во взаимно перпендикулярных направлениях.

Разработанная методика динамического расчета перекрестных балок при действии повторной прерывной нагрузки была апробирована на расчете подпертого колоннами реального железобетонного перекрытия под маслоизготовитель 300/Г200 л. Исходные данные взяты из "Инструкции по расчету перекрытий на импульсивные нагрузки"^х, что позволило провести сравнение настоящего расчета с расчетом по "Инструкции". Расчет свободных колебаний перекрытия проведен по дискретной схеме с 58-ю сосредоточенными массами (см. табл. 5). В этой же таблице приведены и результаты, полученные по расчету согласно "Инструкции". Значения частот собственных колебаний, вычисленных по дискретной схеме и по "Инструкции", вполне удовлетворительно согласуются между собой. Однако ряд частот в расчете по "Инструкции" не выявляется (табл. 5).

^х Инструкция по расчету перекрытий на импульсивные нагрузки. Стройиздат, М., ЦНИИСК им. Кучеренко, 1966.

Т а б л и ц а 4

Сравнительный анализ точности расчета свободных колебаний ребристых плит и перекрестных балок по различным расчетным схемам

Вид системы	Схема расчета	Погрешность, %					
		Номер частот собственных колебаний					
		I	2	3	4	5	6
Плита, подкрепленная пятью ребрами одного направления	Ортотропная пластина	93	-	42	33	-	-
	Дискретная модель с 10-ю массами	1,2	1,1	2,0	5,0	-	-
Плита, подкрепленная сеткой ребер 4x4	Ортотропная пластина	5,8	1,6	6,9	14,0	6,2	5,6
	Дискретная модель с 16-ю массами	2,0	1,0	2,7	2,5	2,7	3,5
Перекрестные балки 2x2	Ортотропная пластина	20,5	25,9	11,5	18	-	-
	Дискретная модель с 4 массами	1,16	1,82	1,51	3,13	-	-
Перекрестные балки 3x3	Ортотропная пластина	0,4	1,5	1,3	6,0	24	17,6
	Дискретная модель с 9-ю массами	2,6	1,0	0,9	3,1	4,8	5,2

Если учесть резонанс по третьей частоте, которая пропущена в "Инструкции" (табл. 5), то окажется, что резонансные перемещения, определенные по дискретной схеме, в 1,5-2 раза больше тех перемещений, которые найдены по "Инструкции". Расчет по дискретной схеме позволяет находить спектры

ры частот и формы колебаний, отвечающие всей конструкции как единой системы, а не спектры частот отдельных элементов расчлененного перекрытия, как это делается по "Инструкции".

Т а б л и ц а 5

Значения частот собственных колебаний железобетонного перекрытия, полученных расчетом по дискретной схеме и по "Инструкции"

Номер частоты	По "Инструкции", Гц	По дискретной схеме, Гц	Отличие, %
1	24,92	25,09	0,7
2	25,00	25,38	1,3
3	-	26,38	-
4	28,10	28,38	1,0
5	31,89	32,18	2,5
6	-	32,85	-
7	-	33,15	-

На основе результатов диссертационной работы разработан методика динамического расчета ребристых железобетонных перекрытий при действии повторной прерывной нагрузки, которая внедряется в расчетную практику проектных институтов Госстроя Эстонской ССР "Эстонпроект" и "Эстпромпроект".

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приводим основные результаты диссертационной работы.

I. Получены формулы реактивных усилий для пространственных изгибно-крутильных колебаний тонкостенного стержня, на основе которых составляются уравнения метода перемещений для перекрестных балок из тонкостенных элементов несимметричного профиля.

2. Показано, что в зависимости от условий сопряжения, жесткости и профиля поперечного сечения основные динамические характеристики перекрестных балок из тонкостенных стержней существенно отличаются от таковых для систем из сплошных стержней, даже при одинаковых изгибной и крутильной жесткостях элементов.

3. Выявлено, что влияние кручения на свободные изгибные колебания перекрестных балок носит сложный характер и зависит как от соотношения изгибной и крутильной жесткостей, так и от соотношений линейных размеров стержней.

4. Рассмотрен приближенный расчет по методу перемещений путем разложения частотных функций в степенные ряды. На основе теории ошибок решена задача о количестве членов, которые необходимо удерживать в степенных рядах, чтобы получить значения частот собственных колебаний с заданной точностью.

5. Показано, что при расчете свободных колебаний перекрестных балок по дискретной схеме для получения необходимой точности достаточно сосредоточить массы в узлах и в серединах пролетов.

6. На основе дискретной модели получены общие решения для расчета вынужденных колебаний при действии повторной прерывной нагрузки и составлены программы для вычислений на ЭВМ типа "Минск".

7. На специально сконструированном и изготовленном стенде проведено экспериментальное исследование свободных и вынужденных колебаний перекрестных балок. Экспериментом были подтверждены все результаты теоретического исследования и надежность разработанной расчетной методики.

8. Показано, что в некоторых случаях расчет свободных колебаний ребристых перекрытий по существующим инструкциям может привести к пропуску ряда частот. Разработанная методика позволяет определять спектры частот и формы колебаний, отвечающие всей конструкции как единой системы и выявлять частоты и формы колебаний, пропущенные при расчете по инструкциям.

Основное содержание диссертационной работы опубликовано в следующих статьях:

1. Арясов Г.П. Свободные колебания перекрестных балок по методу перемещений. - "Тр. Таллинск. политехн. ин-та". Таллин, № 384, 1975.

2. Арясов Г.П. Свободные колебания перекрестных балок при учете дискретной схемы. Там же.

3. Арясов Г.П. Вынужденные колебания перекрестных балок при действии повторной прерывной нагрузки. - "Тр. Таллинск. политехн. ин-та", Таллин, № 393, 1976.

4. Арясов Г.П. Экспериментальное исследование свободных и вынужденных колебаний перекрестных балок. Там же.

5. Арясов Г.П. Некоторые вопросы динамики системы перекрестных балок из тонкостенных элементов. "Тезисы докладов Республиканской научной конференции по пространственным и тонкостенным конструкциям", Таллин, 1978.



Подписано к печати 15 марта 1979 г.
Бумага 60x84/16
Печ.л. 1,25. Усл.печ.л. 1,16. Уч.-изд.л. 1,0
Тираж 100. МВ-02317
Ротапринт ТПИ, Таллин, ул. Коскла, 2/9
Зак. № 421
Бесплатно

НТБ
ДНУЖТ