

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
им. М. И. КАЛИНИНА

На правах рукописи

ЗАЙКИНА Лидия Леонидовна

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
МОСТОВ НА СТАДИИ МОНТАЖА

Об.23.16 - Мосты, тоннели и другие строительные
сооружения на железных и автомобильных дорогах

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ДНЕПРОПЕТРОВСК-1986

НТБ
ДНУЖТ

Работа выполнена на кафедре мостов Московского ордена Трудового Красного Знамени автомобильно-дорожного института в ЦНИИ-проектстальконструкция им.Н.П.Мельникова.

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент
Б.М. Вейнблат.

Официальные оппоненты - лауреат Ленинской и государственной премии, доктор технических наук, профессор Г.П.Соловьев; кандидат технических наук, доцент А.Л.Загора.

Ведущая организация - Государственный институт по изысканиям и проектированию мостов "Ленгипротрансмост".

Защита состоится "31" 10 1986 г. в 14⁰⁰ часов на заседании специализированного совета К 114.07.02 в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта им. М.И.Калинина (320629, ГСП, г.Днепропетровск - 10, ул. академика В.А.Лазаряна, 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "30" 09 1986 г.

Ученый секретарь специализированного совета, канд. техн. наук, доцент

В.П.Тарасенко

НТБ
ДНУЖТ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работ. Определяемая директивами XXII съезда КПСС программа широкого строительства автомобильных дорог является необходимым условием решения важнейших задач экономического и социального развития нашей страны. В связи с ростом дорожного строительства возникают сложные научно-технические задачи по строительству искусственных сооружений, в том числе средних и больших автодорожных мостов.

Широкое распространение в автодорожных мостах средних и больших пролетов получили сталежелезобетонные пролетные строения. Их применению способствуют как высокие эксплуатационные показатели, так и снижение стоимости и расхода материалов на основные несущие элементы — балки и плиты проезжей части за счет обеспечения их совместной работы.

Наряду с отмеченными преимуществами по опыту применения сталежелезобетонных конструкций в автодорожном мостостроении выявлен их недостаток, состоящий в пониженной надежности конструкций на стадии монтажа. Этот недостаток неоднократно проявлялся на практике в виде отказов стальных главных балок вследствие потери их устойчивости в процессе сборки железобетонной плиты проезжей части.

Устранение указанного недостатка и обеспечение тем самым безопасности монтажа составляет цель настоящей работы. Эта цель достигается путем создания и теоретико-экспериментального обоснования новых конструктивно-технологических решений, ориентированных на стадию монтажных работ.

Следует отметить, что решения, обеспечивающие повышение устойчивости стальных главных балок, разрабатывались и ранее, однако, их применение было связано с дополнительным расходом металла, не используемого на стадии эксплуатации. В этой части особенность данной работы состоит в том, что предлагаемые мероприятия обеспечивают решение поставленной задачи без повышения материалоемкости конструкций.

Научную новизну диссертации составляют:

— методика энергетического расчета устойчивости монтируемой системы, дающая возможность совместного анализа пространственной устойчивости пролетного строения и устойчивости отсека главных балок между поперечными связями; разработанная на этой основе рабочая методика расчета;

- методика и результаты анализа общей устойчивости пролетного строения по МКЭ;

- разработанные конструктивно-технологические решения, включающие двухстадийный монтаж сборной железобетонной плиты с использованием ее блоков в качестве элементов рамных связей между главными балками, а также конструкцию монтажного соединения блоков плиты с главными балками по авторским свидетельствам на изобретения № 68855С и № 808575.

Практическая ценность результатов состоит в обеспечении безопасности работ по монтажу сталежелезобетонных пролетных строений без дополнительного расхода металла, не используемого на стадии эксплуатации, и без увеличения трудовых затрат. Разработанные в диссертации методы расчета и конструктивно-технологические решения использованы в ряде проектов производства работ по монтажу сталежелезобетонных пролетных строений, в составе "Рекомендаций по проверке общей устойчивости балочных металлических конструкций" (ЦНИИпроектстальконструкция, 1984), а также в проекте унифицированных сталежелезобетонных и цельнометаллических пролетных строений мостов под автомобильную дорогу (ЦНИИпроектстальконструкция, 1983).

Апробация работы. Содержание работы докладывалось на XXXVII (1979 г.), XXXIX (1981 г.) и X (1982 г.) научно-технических конференциях МАДИ, на научно-технической конференции молодых ученых и специалистов МАДИ в 1979 г., на заседании секции мостов Главного производственно-технического управления Минавтодора РСФСР (1980 г.), на заседании секции инженерных сооружений НТС ЦНИИпроектстальконструкции (1981 г.), на конференции молодых ученых и специалистов ЦНИИпроектстальконструкция (1983 г.) и на конференции молодых ученых и специалистов ЦНИИОМТП (1984 г.).

Публикации. Результаты диссертации опубликованы в составе 13 печатных работ, в числе которых два авторских свидетельства на изобретения, а также в четырех отчетах о научно-исследовательских работах (МАДИ, 1979, № гос.рег. 7801264I; МАДИ, 1980, № гос.рег. 79025988; ЦНИИПСК, 1982, № гос.рег. 0182007I956).

Содержание работы соответствует Целевой комплексной научно-технической программе О.Ц.031 "Развитие прогрессивных технологий и индустриальных методов строительства на основе создания и широкого применения эффективных строительных материалов, изделий и конструкций, машин, оборудования и инструмента, обеспечивающих сни-

жение при их применении в строительстве трудоемкости на 25% и материалоемкости на 10%", а также комплексной отраслевой программой Минавтодора РСФСР 0.73.II "Разработать и внедрить серию унифицированных автодорожных металлических пролетных строений пролетами от 42 до 168 м для габаритов Г-8, Г-10, Г-II,5".

Материалы исследований удостоены диплома НТО автомобильного транспорта и дорожного хозяйства в 1980 г.

Структура и объем работы. Материалы диссертации изложены в составе введения, пяти глав, общих результатов и выводов и предложений. Диссертация содержит 10% с. машинописного текста, в том числе 10 табл., 50 илл., а также список литературы из 116 названий.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована постановка проблемы исследований и дана краткая аннотация выполненной работы.

В первой главе приводится анализ опыта монтажа сталежелезобетонных мостов и дается обзор работ по устойчивости изгибаемых элементов стальных и сталежелезобетонных пролетных строений.

Конструктивные решения сталежелезобетонных мостов и вопросы технологии их монтажа освещены в работах отечественных специалистов В.К.Белого, К.П.Большакова, Б.М.Вейнבלата, Е.Е.Гибмана, Э.М.Гитмана, А.В.Кручинкина, Ю.М.Митрофанова, Г.П.Соловьева, Н.Н.Стрелецкого, Н.Д.Шипова и др., а также зарубежных - *Aasteim, Fried, Neste, Raik, Staller* и др.

Специфические условия работы рассматриваемых пролетных строений при железобетонной плите, совмещающей функции собственно плиты проезжей части, верхних поясов главных балок и связей между балками, обусловили характерную для отечественной практики связевую систему, включающую на стадии монтажа поперечные и нижние продольные решетчатые связи. Общая устойчивость главных балок на этой стадии обеспечивается поперечными связями, закрепленными от горизонтальных смещений фермой нижних продольных связей. Ввиду отсутствия соединений, обеспечивающих эффективное закрепление к балкам элементов плиты в процессе их монтажа, использование плиты, как связи между балками, не имеет места.

Взванная случаями аварийных повреждений проблема повышения устойчивости монтируемых конструкций решалась путем применения вре-

менных верхних продольных связей или посредством обоснованного расчетом увеличения сечения верхних поясов. Оба направления связаны с дополнительным расходом металла, не используемого на стадии эксплуатации.

Вопросы пространственной устойчивости пролетных строений, как систем, решались в работах А.В.Александрова, В.В.Болотина, Г.П.Бурчака, С.П.Тимошенко, Е.Н.Трошко. Устойчивость плоской формы изгиба балок в пределах панели на участке между узлами поперечных связей рассматривалась в работах Б.М.Броуде, Е.Е.Гиблмана, Г.К.Евграфова, А.Ю.Гиммельфарба, А.А.Петропавловского, А.А.Потапкина, В.М.Фридкина, Л.П.Шелестенко и др. Вытекающая из данных этих исследований методика расчета состоит в сведении задачи об устойчивости плоской формы изгиба балки к устойчивости сжатого стержня-аналога, в состав которого вводится часть высоты стенки.

В результате обзора сформулированы задачи исследования, состоящие в теоретическом обосновании, экспериментальной проверке и разработке конструктивно-технологических решений по повышению на стадии монтажа устойчивости конструкций сталежелезобетонных пролетных строений автодорожных мостов.

Вторая глава диссертации посвящена теоретическому исследованию монтируемой системы с временными продольными связями рамного типа из блоков железобетонной плиты. Исследования основаны на энергетическом методе (ЭМ) и методе конечного элемента (МКЭ). ЭМ используется для определения, в конечном счете, приведенной гибкости, как основы практического расчета устойчивости по нормативным значениям коэффициентов φ .

МКЭ используется для исследования напряженно-деформированного состояния системы при геометрически нелинейной постановке задачи, а также для определения устойчивости при более полном, чем в случае ЭМ, учете конструктивных особенностей пролетного строения и параметров жесткости его элементов.

Расчетная схема ЭМ представлена системой сжатых поясов главных балок, рамными связями между поясами и упругими элементами, моделирующими подкрепляющее влияние растянутой зоны. Узлы крепления блоков плиты к поясам представлены в виде упругих заделок. В состав поясов введены определенные расчетом участки стенок балок.

В рамках ЭМ рассматривается только одна форма потери устойчивости, соответствующая выпучиванию рамного стержня в целом. Пока-

зано, что эта форма определяет и форму прогиба ветви, т.е. сжатых поясов главных балок, причем компонента потенциальной энергии, связанная с деформацией ветви, может быть найдена из рассмотрения работы поперечных сил на соответствующих перемещениях. Если жесткость рамного стержня велика, то потеря его устойчивости предшествует потере устойчивости ветви.

Критическая сила в случае действия центрально (по оси пролетного строения) приложенной вертикальной нагрузки определена из рассмотрения детерминанта системы уравнений

$$\frac{\partial U}{\partial x} = 0 \quad \frac{\partial U}{\partial \varphi} = 0$$

где U — полная энергия системы; x и φ — обобщенные перемещения. Значение критической вертикальной нагрузки определяется выражением

$$P_{кр} = \frac{W}{\alpha \rho l F} \cdot \frac{k_y^{(p)} k_y^{(c)} H^2 + [k_y^{(c)} + k_y^{(p)}][k_\varphi + k_w]}{k_y^{(p)} H^2 + k_\varphi + k_w},$$

где $k_y^{(p)}$, $k_y^{(c)}$, k_φ , k_w — параметры системы, связанные с ее жесткостными характеристиками; W — момент сопротивления сечения главной балки; F — площадь сжатого пояса с примыкающей частью стенки; l — пролет главной балки; α — коэффициент, определяемый характером внешней нагрузки.

Приведенная гибкость условного стержня, эквивалентного системе пролетного строения, равна

$$\lambda_{пр} = \pi \sqrt{\frac{E \rho d F l}{\sigma W} \cdot \frac{k_y^{(p)} H^2 + k_\varphi + k_w}{k_y^{(p)} k_y^{(c)} H^2 + [k_y^{(c)} + k_y^{(p)}][k_\varphi + k_w]}}$$

где E — модуль упругости; σ — напряжение в исследуемом сечении.

В предельном случае бесконечно большой жесткости горизонтальной фермы верхних продольных связей $\lambda_{пр} = \lambda_b$, где λ_b — гибкость ветви составного стержня.

В случае действия горизонтальной и эксцентрично приложенной вертикальной нагрузки граница области устойчивости определяется по точкам перегиба кривых "нагрузка-деформация".

При применении МКЭ расчетная пространственная модель пролетного строения включает исходные конечные элементы двух типов:

- стержневые, которыми представлены пояса, ребра жесткости и элементы связевой системы;

- прямоугольные пластины, представляющие стенки балок.

Далее, осуществлено преобразование элементов-пластин в прямоугольные рамы (рис.1) с целью использования соответствующей версии программного комплекса PASC-ES, входящего в САПР ЦНИИСПСК. Эквивалентный переход выполнен с учетом специфических особенностей сталежелезобетонных пролетных строений. Жесткости эквивалентных стержней даны в таблице (обозначения на рис.1).

Наименование характеристики	Вдоль l	Вдоль b
Площадь поперечных сечений	$t b : 2$	$t l : 2, 0$
Момент инерции кручения	$t^3 b : 12$	$t^3 l : 12$
Момент инерции при изгибе из плоскости стенки	$t^3 b : 24$	$t^3 l : 24$
Момент инерции при изгибе в плоскости стенки	$t l^2 b$	$t b^2 l$
	$24 (1+\nu)$	$24 (1+\nu)$

После преобразования модель пролетного строения имеет только один тип конечного элемента - стержень (элемент рамы), для которого можно учесть деформационные поправки от действия продольных сил, определяемых при исследовании потерь устойчивости. Одновременно учитывается фактическая деформативность системы связей, деформации контура поперечного сечения, а также реальная жесткость монтажного соединения плит с балками.

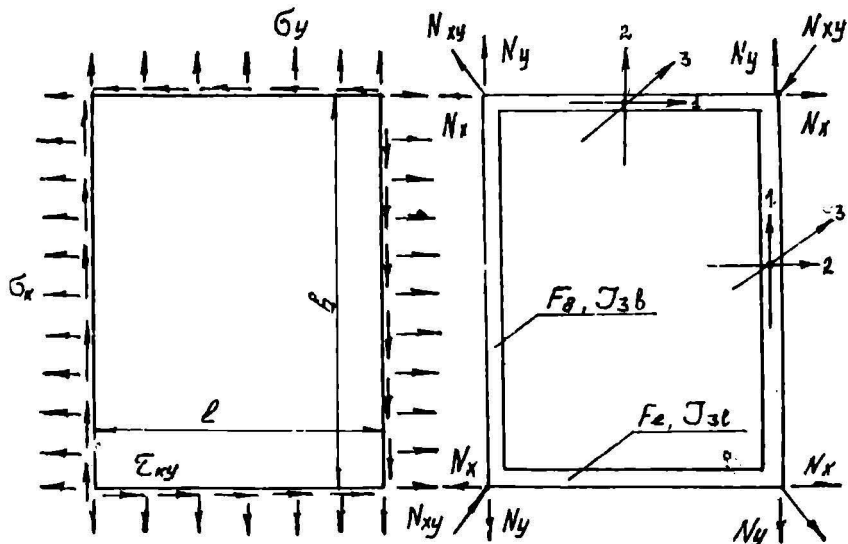
Учет продольно-поперечного изгиба стержней в алгоритме расчета на ЭВМ обеспечивается введением поправочных коэффициентов к элементам матрицы жесткости в локальной системе координат и к свободным членам системы уравнений метода перемещений.

Проведен расчет 42-м сталежелезобетонного пролетного строения. Сопоставление результатов расчета с данными расчета по ЭВМ в области устойчивости, а также с результатами статического расчета конструкции представлено соответственно на рис.2 и рис.3.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований, включающих проверку разработанной методики расчета устойчивости и определение расчетных характеристик монтажного соединения плиты с балкой.

Пластина и моделирующая ее рама

а) растяжение (сжатие) и сдвиг в плоскости стенки



б) изгиб в плоскости и из плоскости стенки

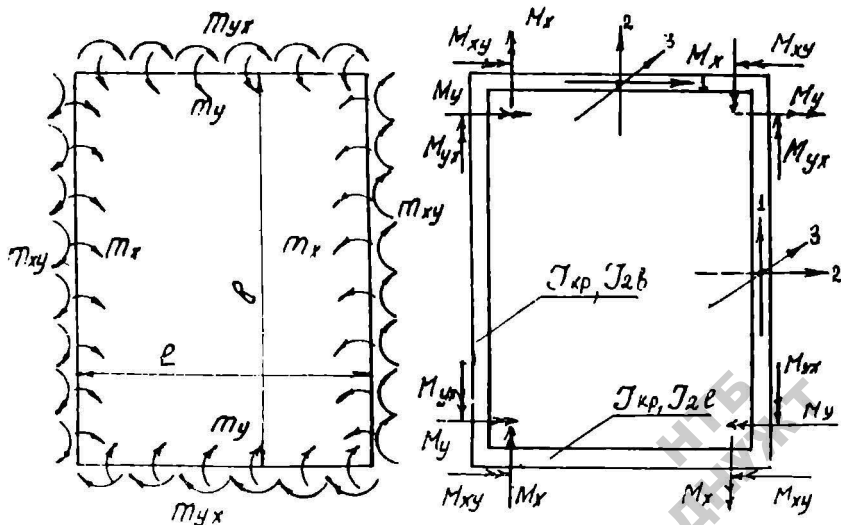


Рис. I

График $\rho - \alpha^{(c)}$, полученный по данным расчета по программе РАСК-ЕС (кривая 1) и по энергетическому методу (кривая 2)

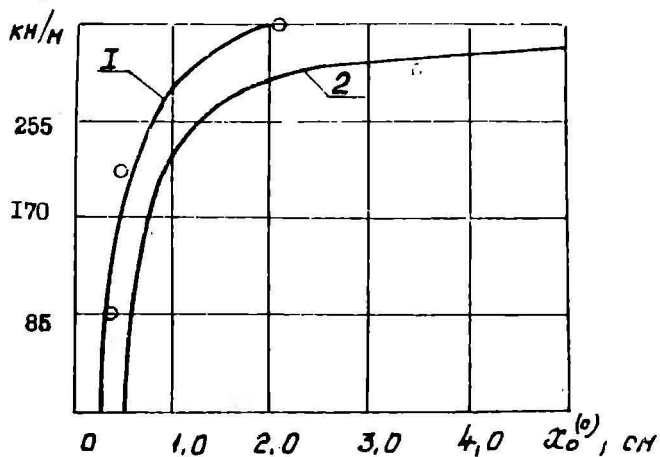


Рис.2

Эпюра нормальных напряжений в середине пролета по данным расчета по программе РАСК-ЕС (сплошная линия) и по формулам сопротивления материалов

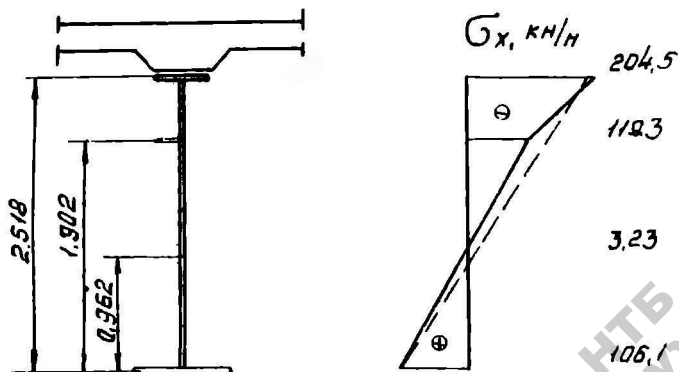


Рис.3

Исследование устойчивости проводили на образцах, подверженных действию внецентренного сжатия и изгиба.

Образцы представляли собой двухветвевые колонну и балку, каждая ветвь которых разделена на симметричные половины стыком, перекрытым односторонней накладкой на болтах. При испытаниях измеряли характерные перемещения образцов и относительные деформации волокон металла в их сечениях.

Испытание колонны проводили при трех состояниях продольного стыка:

- освобождение всех болтов и разделении нагруженной и ненагруженной зоны;
- постановке всех болтов с объединением двух частей сечения;
- освобождение всех болтов, кроме крайних рядов и двух рядов по середине, что соответствует подкреплению нагруженной (сжатой) части сечения за счет участия в ее работе ненагруженной части.

Испытание балки на изгиб проводили при двух состояниях стыка:

- освобождение всех болтов, что соответствовала освобождению растянутой части сечения от внешних нагрузок;
- соединению двух частей сечения в зоне опор, с обеспечением их совместной работы только при горизонтальном изгибе.

Результаты испытаний показали близкое качественное и количественное совпадение данных расчета и эксперимента.

Для определения расчетных параметров монтажного соединения плиты с балкой проводили испытания при кручении образцов, выполненных в натуральную величину. В результате эксперимента построена зависимость $M - \varphi$ крутящего момента в соединении от угла закручивания. Эта зависимость использована при расчете устойчивости по ЭМ.

В четвертой главе даны разработки конструктивно-технологических решений, направленных на повышение устойчивости стальных главных балок.

Основу разработок составляет применение временных верхних продольных связей из блоков железобетонной плиты.

Для снижения монтажного веса надвигаемой в пролет системы разработана двухстадийный (перед и после надвигки) монтаж плиты, а также рамная система связей. При этом вес надвигаемой системы в равнении с весом чисто стальной конструкции существенно не возрастает, а следовательно, не возникают осложнения технологической оснастки и роста ее стоимости.

Для присоединения блоков плиты к балкам разработана конструкция специального монтажного соединения, осуществляемого в болто-сварном и сварном вариантах.

В пятой главе приведены данные о реализации результатов исследований в проектах и при осуществлении монтажа сталежелезобетонных пролетных строений, а также в рекомендациях по проектированию.

Рассмотрены конструктивно-технологические решения и результаты расчета, выполненного применительно к конкретным объектам строительства.

Определена ожидаемая экономическая эффективность предложений, находящаяся на уровне 180-220 т.руб. в год (без учета эффекта от применения Рекомендаций [II]).

Материалы диссертации отражены в составе учебника для вузов по курсу "Строительство мостов".

ОБЩИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. По опыту монтажа сталежелезобетонных мостов обоснована постановка проблемы повышения устойчивости сталежелезобетонных пролетных строений на стадии монтажа железобетонной плиты. Разработаны в целях повышения устойчивости защищенные авторскими свидетельствами на изобретения новые конструктивно-технологические решения, включающие:

- систему временных продольных связей с использованием в качестве их элементов блоков сборной железобетонной плиты;
- технологию двухстадийного монтажа связей с установкой части элементов до, а остальных - после надвигки пролетного строения в пролет с созданием полной системы рамных связей ко времени возникновения в главных балках наибольших изгибающих моментов от монтажных нагрузок;
- конструкцию монтажного соединения плит с балками, выполняемого без мокрых процессов на монтаже;
- конструкцию инвентарного элемента рамных связей.

2. Применительно к конструктивно-технологическим решениям разработаны на основе энергетического критерия и МКЭ расчеты устойчивости сталежелезобетонных пролетных строений с временными рамными связями. При энергетическом подходе задача об общей устой-

чивости пролетного строения сведена к задаче об общей устойчивости сжатого составного рамного стержня с учетом подкрепляющего влияния растянутых зон балок и фермы нижних продольных связей. Рассмотрено действие вертикальных и горизонтальных нагрузок, а также крутящих моментов.

3. В результате расчета по МКЭ выявлены особенности напряженного состояния пролетного строения с временными связями из блоков железобетонной плиты на стадии его монтажа. Вскрыт эффект перераспределения усилий между верхними поясами главных балок и прогоном. Определены силы, действующие на монтажные соединения.

Методика расчета по МКЭ использована при анализе напряженно-деформированного состояния разработанного ЦНИИСК нового типа уаифицированного сталежелезобетонного беспрогонного пролетного строения с болтовым прикреплением ребристых железобетонных плит к стальным балкам.

4. Теоретически, посредством сравнения с данными расчета по МКЭ и экспериментально показано, что разработанный энергетический расчет создает запас устойчивости, что целесообразно, ввиду возможных на практике неблагоприятных технологических отклонений, в частности, по величинам и местам приложения монтажных нагрузок.

5. В результате эксперимента установлены качественные особенности работы предложенной конструкции монтажного соединения плит с балками и определены эмпирические параметры, учитываемые в составе расчета устойчивости.

6. В результате теоретического анализа показана эквивалентность по фактору устойчивости пролетного строения разработанной системы рамных связей из блоков железобетонной плиты традиционной системе решетчатых связей из металлических элементов.

7. Установлено, что при отсутствии временных связей наиболее существенное понижающее значение на устойчивость оказывает крутящие моменты, вызываемые поворотом монтажного крана на пролетном строении при установке блоков плит, в то время как влияние горизонтальных нагрузок проявляется незначительно. При наличии временных связей как кручение, так и горизонтальный изгиб заметного влияния на устойчивость не оказывает, вследствие чего при применении предлагаемых конструктивно-технологических решений исключается необходимость в принятых в типовых проектах жестких ограни-

чениях по параметрам и схемам работы подъемно-транспортного оборудования.

8. Технико-экономическая эффективность разработанных решений обусловлена увеличением устойчивости монтируемых пролетных строений без повышения металлоемкости конструкции. Сокращение расхода стали достигается вследствие исключения временных металлических связей или же вследствие уменьшения сечений верхних поясов главных балок.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Вейнблат Б.М., Заикина Л.Л. Пути повышения устойчивости сталежелезобетонных балок при монтаже. - Труды МАДИ, вып. 155, М., 1978.
2. Вейнблат Б.М., Заикина Л.Л. Железобетонные плиты в системе связей между балками сталежелезобетонных мостов. - Промышленное строительство, № 5, 1979.
3. Вейнблат Б.М., Заикина Л.Л. Совершенствование монтажа сталежелезобетонных мостов. - Автомобильные дороги, 1980, № 9.
4. Вейнблат Б.М., Заикина Л.Л., Левин Л.В. Направление совершенствования сталежелезобетонных пролетных строений автодорожных мостов. - В кн.: Исследование мостов и тоннелей на автомобильных дорогах. Сб. научн. тр./МАДИ, М., 1981.
5. Заикина Л.Л. К расчету устойчивости балок сталежелезобетонных пролетных строений. - Труды МАДИ, вып. 167, М., 1979.
6. Заикина Л.Л. Экспериментальное исследование монтажного соединения железобетонной плиты со стальной балкой. - Материалы конференции молодых ученых МАДИ, 1979. - Библиографический указатель депонированных рукописей, вып. 5, 1980 г.
7. Заикина Л.Л. Устойчивость плоской формы изгиба балок со связями рамного типа. - В кн.: Исследование конструкций автодорожных и городских мостов. Сб. научн. тр./МАДИ, М., 1980.
8. Заикина Л.Л. Устойчивость сталежелезобетонных пролетных строений с временными связями. - В кн.: Исследование мостов и тоннелей на автомобильных дорогах. Сб. научн. тр./МАДИ, М., 1981.
9. Заикина Л.Л. Технология безопасного монтажа сталежелезобетонных пролетных строений. - Материалы конференции молодых ученых и специалистов ЦНИИОМПИ, 1984. - Библиографический указатель депонированных рукописей, вып. 2, 1985 г.

10. Н.Н.Стрелецкий, В.Г.Гомаров, Л.Л.Зайкина, Б.М.Вейнблат
Ю.С.Полозян. Сталежелезобетонный мост с монтажными соединениями
на несущих высокопрочных болтах. - Транспортное строительство, 1985,
№ 1.

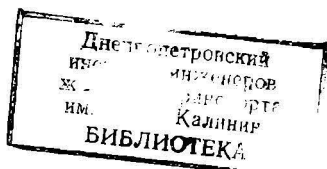
11. Фридкин В.М., Хорошоженова Э.П., Кравцов М.М., Зайкина Л.Л.
Рекомендации по проверке общей устойчивости балочных металлических
конструкций. - М., ЦНИИпроектстальконструкция им.Мельникова, 1984.

12. Авторское свидетельство № 688550 СССР устройство для объе-
динения железобетонной плиты со стальной балкой/ авторы: Вейнблат
Б.М., Зайкина Л.Л. - Оpub. в Б.И. № 36, 1979.

13. Авторское свидетельство № 808575 СССР Способ монтажа сбор-
ной из блоков железобетонной плиты сталежелезобетонного пролетно-
го строения и конструкция временных связей для его осуществления/
Авторы: Вейнблат Б.М., Зайкина Л.Л., Левин Л.В. - опуб. в Б.И. № 8,
1981.

Вашинг

4986a



НТБ
ДНУЖТ

Подписано к печати 21/8-86:1-68122
Заг. 821 объем 1 печ. л. гир. 182
Ротапринт ВПИИ трансотоя

НТБ
ДНУЖТ