

# **СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДОРОГ**

УДК 624.21

**В. В. Пархоменко, О. Л. Пархоменко**

**Автомобильно-дорожный институт**

**ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка**

## **ЭКСПЛУАТАЦИОННОЕ И НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛИТЫ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ СБОРНЫХ БАЛОЧНЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ**

*Рассматриваются конструктивные особенности, техническое и напряженное состояние плиты проезжей части с продольными швами омоноличивания. Выполнена классификация состояний швов в зависимости от этапов изготовления. Приведены значения прочностных характеристик материалов швов в сравнении с основной конструкцией. Произведена расчетная оценка напряженного состояния швов омоноличивания под нормативными нагрузками.*

***Ключевые слова:** автодорожные мосты, плита проезжей части, швы омоноличивания, эксплуатационное состояние моста, напряженное состояние плиты*

### ***Постановка проблемы***

С середины 60-х гг. XX столетия в конструкциях автодорожных мостов широкое распространение получили балочные бездиафрагменные пролетные строения, армированные каркасной или предварительно напряженной арматурой. Пролетные строения собирались из блоков таврового сечения и объединялись между собой бетонированием продольных швов в уровне плиты проезжей части по выпускам арматуры. Ширина шва для балок с обычным армированием принималась равной 30 см (т. п. СДП – 56 Дополнение), а для предварительно напряженных пролетных строений – от 30 до 70 см. Толщина шва выполнялась постоянной по длине и соответствовала толщине плиты. По техническим условиям швы бетонировались после установки балок, укладки необходимой арматуры и соответствующей подготовки поверхностей стыкуемых элементов. Для бетонирования должен был применяться бетон, имеющий прочностные характеристики не ниже тех, из которого изготовлены балки.

В начальный период эксплуатации пролетных строений проявились недостатки конструктивного, технологического и строительного характера. Среди основных: сквозные трещины в растянутой зоне различного направления, фильтрация воды по швам бетонирования, некачественная укладка бетона при объединении балок. В конечном итоге это потребовало дополнительных исследований влияния проявившихся дефектов на долговечность конструкций.

### ***Анализ исследований и публикаций***

Проведенными в разное время исследованиями [1–5], установлено, что прочность и долговечность пролетных строений с множеством швов бетонирования зависит от сцепления нового бетона со старым, которое изменяется в широких пределах и зависит от возраста старого и нового бетонов, состояния поверхности старого бетона, характера обработки стыкуемых поверхностей, свойств нового бетона, способов укладки и условий твердения нового бетона, геометрических характеристик стыкуемых элементов, напряженного состояния в плоскости контакта элементов. В различной степени все эти факторы оказывают влияние на прочностные характеристики швов омоноличивания между балками. Например, прочность сцепления старого и нового бетонов наиболее эффективна в первые сутки. После достижения

старым бетоном в 70 % и выше сцепление остается постоянным и не возрастает [2]. В тоже время срок между изготовлением балок и их омоноличиванием в пролеты исчисляется от нескольких недель до нескольких лет.

### ***Цель исследования***

Экспериментальным и расчетным путем установить зависимость образования и развития дефектов в плите проезжей части балочных пролетных строений мостов с продольными швами омоноличивания от напряженного состояния в бетоне при воздействии временной нагрузки и недостатков конструктивного и технологического характера.

### ***Изложение основного материала***

Плита проезжей части в таких пролетных строениях работает как упруго защемленная в ребрах и принимает участие в перераспределении усилий от действующих нагрузок в продольном и поперечном направлениях. Кроме того, под воздействием временных нагрузок в плите возникают положительные и отрицательные моменты, поэтому плиту непрерывно армируют в верхней и нижней зонах. В связи с этим важнейшим условием является обеспечение равнопрочности швов по отношению к основной конструкции. Известно, что основным показателем равнопрочности шва в сборных элементах является сохранение монолитности бетона в любых сечениях стыковой зоны. Это требование особенно важно для плиты проезжей части.

Практикой применения сборного железобетона доказано, что местом нарушения монолитности соединений является зона контакта между омоноличивающим стыковой зазор бетоном и поверхностью стыкуемых элементов. Более того, если нарушение сплошности в сопряжении нового и старого бетонов влечет за собой снижение прочности и деформативных свойств элементов соединения, такой стык, как правило, не удовлетворяет требованиям эксплуатационной надежности. Нарушение сцепления в стыковом шве увеличивает его водопроницаемость и подверженность атмосферным воздействиям, что, в конечном счете, снижает долговечность соединения. С потерей сцепления, образованием микроразрывов и трещин происходит перераспределение напряжений в сечениях и концентрация их в наиболее нагруженных сечениях, что приводит к существенному снижению несущей способности конструкции в целом.

Для оценки эксплуатационного состояния плиты проезжей части были проанализированы результаты обследования около 1 700 швов омоноличивания между балками 279-ти пролетных строений, выполненных в различное время. Выявленные при этом дефекты различного рода имеют разнообразное происхождение. Наиболее характерными являются:

- фильтрация воды, выщелачивание и замерзание бетона;
- недостаточная толщина защитного слоя, раковины и участки пористого бетона (объем поврежденных – не менее 30 % шва);
- трещины усадочного и силового характера.

Распределение выявленных дефектов может быть классифицировано по поколениям строительства сооружений, условно отнесенных ко времени изменения или совершенствования норм проектирования, а именно: 1 поколение – до 1962 г. – 5 пролетных строений, из них 3 в монолитном варианте; 2 поколение – в период 1962–1967 гг. – 43 пролетных строения; 3 поколение – 1967–1984 гг. – 176 пролетных строений; 4 поколение – строительство после 1984 г. – 45 пролетных строений. Гистограмма частот распределения дефектов приведена на рисунке 1.

При обследовании определялись прочностные характеристики бетона плит балок и швов омоноличивания. Определение прочности осуществлялось неразрушающими методами с применением молотка Кашкарова и прибора ГПНС-4. Обработка результатов производи-

лась методами математической статистики. По результатам исследований прочности по 286 швам получена средняя прочность бетона  $R = 26,73$  МПа, коэффициент вариации  $V = 0,151$ . Прочностные характеристики бетона для плит балок составляли соответственно  $R = 41,95$  МПа, коэффициент вариации  $V = 0,042$ .

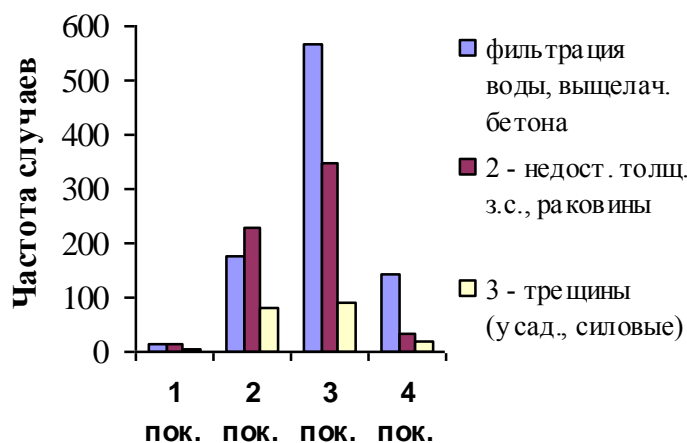


Рисунок 1 – Характер распределения дефектов в швах омоноличивания

Как видно из гистограммы и результатов определения прочностных характеристик материалов, в процессе совершенствования норм улучшалось качество устройства швов омоноличивания, но полностью устранить проявление дефектов не удалось. В большинстве случаев это связано с технологией устройства швов, подготовкой стыкуемых поверхностей, прочностью сцепления старого и нового бетонов, культурой производства.

Состояние поверхности старого бетона при омоноличивании швов – один из основных факторов, влияющих на прочность сцепления. Суть не только в том, чтобы поверхность старого бетона была свободной от загрязнений маслами, грунтом или частицами строительного характера. Важно и то, что поверхностный слой бетона балки в силу технологических особенностей процесса бетонирования (самовакуумирование, различная растворимость гидратированных составляющих цементов и др.) еще в период структурообразования сильно отличается от основной массы бетона по химическому составу [2]. В связи с этим контактная поверхность бетона содержит повышенное количество известковых соединений, а процессы карбонизации поверхностного слоя и возникающие при этом усадочные напряжения являются одной из причин снижения прочности сцепления в стыковом шве. Кроме того, поверхностный слой толщиной в несколько миллиметров не обладает высокой прочностью и клеяющей способностью, препятствует сцеплению вновь уложенного бетона с бетоном стыкового элемента шва. Поэтому бетонные поверхности перед омоноличиванием должны пройти специальную обработку. Она сводится к простому механическому или химическому разрушению пленки, а также созданию бетона с оптимальным водоцементным отношением в контактном слое. Качество подготовки поверхностей зависит от условий доступа к ней. В балках доступ к поверхности затруднен из-за часто расположенных выпусков арматуры. В производственных условиях стыкуемые поверхности не обрабатываются, поэтому прочность сцепления бетона омоноличивания и старого бетона оказывается недостаточной, а плита проезжей части, рассекаемая швами, неравнопрочной по бетону.

Для моделирования условий работы стыковых швов балок и установления качества сцепления старого и нового бетонов были выполнены экспериментальные исследования на моделях.

Методика исследований включала в себя изготовление серий опытных моделей балок с усилением накладной плитой, бетонных кубиков с ребрами 100 см для определения

прочности бетона, определение прогибов и деформаций моделей под нагрузкой с применением механических приборов и тензорезисторов с базой 100 мм в комплекте с измерительным комплексом АЦП. Трещинообразование фиксировалось с применением акустических датчиков, а раскрытие трещин определялось с помощью микроскопа МПБ-2 с ценой деления 0,05 мм.

Исходными конструкциями для моделей были приняты железобетонные балки длиной 100 см, шириной 20 см и толщиной 5 см, армированные сварными каркасами. Балки были изготовлены из тяжелого бетона на заводе железобетонных конструкций и несколько лет хранились в лаборатории. Прочность бетона по данным комплексных измерений соответствовала классу В22,5–В25.

В качестве конструктивных параметров приняты:

- толщина слоя набетонирования;
- наличие армирования в слое набетонирования.

В качестве технологических параметров принято качество подготовки стыкуемых поверхностей.

Добетонирование экспериментальной балки осуществлялось в лабораторных условиях слоем тяжелого бетона толщиной 5 см с использованием металлической опалубки. Было изготовлено 4 серии балок по 3 шт. в каждой серии. При изготовлении каждой из серий применялись различные технологии подготовки поверхностей.

В I серии из 3-х балок подготовка поверхностей не производилась. Была определена толщина слоя карбонизации стыкуемой поверхности. Перед бетонированием поверхность балок была обильно смочена водой. Бетонирование производилось для всех моделей одновременно из одного замеса бетона. Для определения прочности бетона из этой же бетонной смеси изготавливались кубики сечением 10×10×10 см.

Поверхность 3-х балок II серии перед бетонированием обрабатывалась металлическими щетками, продувалась сжатым воздухом и смачивалась водой. Предварительно была определена степень карбонизации для последующего удаления слоя механической обработкой. Между обработкой и подготовкой поверхности до укладки бетона усиления проходило не более 1 часа. Это исключило образование оксидной пленки на обработанной поверхности. Перед бетонированием поверхность обильно смачивалась водой.

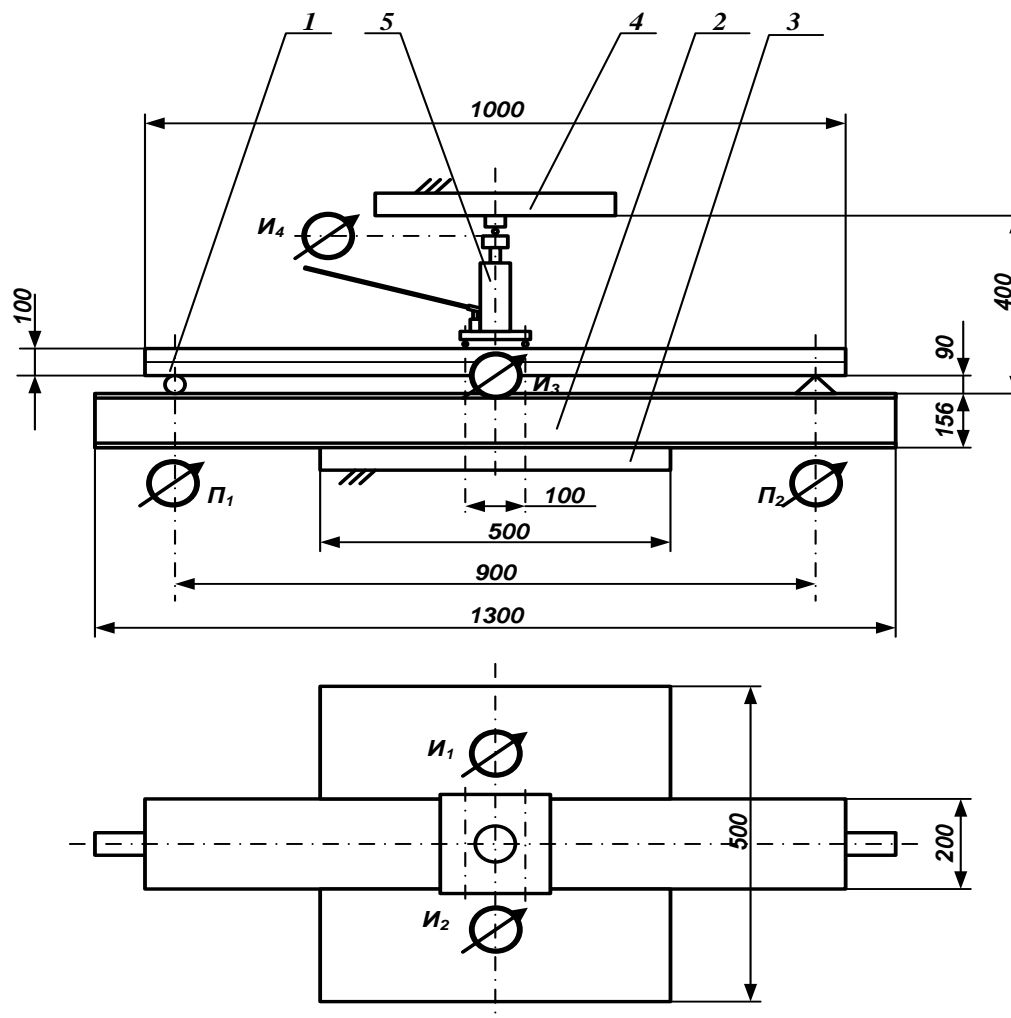
В III серии балок, кроме обработки поверхностей металлическими щетками, производилась насечка зубилом и смазка стыкуемой поверхности цементным раствором. Далее на подготовленную таким образом поверхность укладывались металлические каркасы из арматуры класса А-II. Размеры вязаных каркасов соответствовали тем, которые были забетонированы в существующих балках.

В IV серии подготовка поверхности экспериментальных балок проводилась металлическими щетками. Затем в балке просверливались отверстия для установки анкерных стержней, за которые крепились вязаные каркасы. Кроме подготовки поверхности исследовался уровень карбонизации бетона балок перед укладкой слоя усиления. При механической обработке карбонизированный слой был полностью удален.

Бетонирование дополнительного слоя для всех серий образцов выполнялось бетоном одинакового состава. Для его изготовления использовался гранитный щебень с фракцией 10–20 мм, карьерный песок и цемент марки 600. Водоцементное отношение В/Ц = 0,45. Дозирование отдельных составляющих бетона определялось взвешиванием. Укладка смеси в подготовленную опалубку и вибрирование производилось вручную. Твердение бетона до начала испытаний проходило в естественных условиях без пропаривания более 90 дней. Для исключения возможности образования усадочных трещин образцы были укрыты тканью и слоем опилок, которые периодически поливались водой. Для определения прочности бетона одновременно с бетонированием балок изготавливались кубики сечением 10×10×10 см от 3 до 6 штук для каждой серии образцов.

Перед началом испытаний балки были осмотрены и обмеряны. Расчетное сопротивление бетона на сжатие было определено методом пластических деформаций с применением молотка Кашкарова и испытанием образцов на прессе. Прочность бетона усиления по результатам измерений соответствовала классу В 35.

Испытания моделей производилось на установке, изображенной на рисунке 2.



1 – опытная балка; 2 – металлическая траверса; 3 – нижняя металлическая плита основания; 4 – верхняя неподвижная плита основания; 5 – нагрузочное устройство

Рисунок 2 – Испытательная установка

Испытывались последовательно экспериментальные балки каждой из серий. Измерялись: прогиб балки, напряженное состояние, сдвиг по контакту старого и нового бетона, образование трещин. Загружение экспериментальных балок производилось статической нагрузкой ступенями по 0,5 кН до появления трещин, которые фиксировались визуально и с помощью звуковой локации.

Таким образом, в процессе исследований были определены закономерности совместной работы усиленной конструкции на изгиб. С помощью приборов и визуально было установлено, что в балках всех серий при изгибе слои бетона включались в совместную работу, обеспечивая их высокую прочность. Усилия, которые вызывали процесс трещинообразования в 8–10 раз превышали те, которые вызывали образование микротрещин в балках, не усиленных накладной плитой.

В одной из испытываемых балок I серии произошло смятие, растрескивание и отслоение участка набетонирования, вблизи середины сечения, площадью более 10 см<sup>2</sup>. Вскрытие

участка указанной усиленной балки (без обработанной поверхности) путем механического удаления слоя набетонирования показало, что бетон скололся главным образом по границе контактного слоя, за исключением небольших участков, где около поверхности располагался щебень. Очевидно, что силы сцепления старого бетона с новым выше на тех участках, где около поверхности расположен крупный заполнитель. В других сериях балок отслоение добетонированного слоя не происходило.

Наименьшая величина измеренных относительных деформаций растяжения бетона зафиксирована в балках III и IV серий, наибольшая – зафиксирована в балках I серии.

Таким образом, экспериментальными исследованиями было установлено, что качество подготовки поверхности путем очистки и создания дополнительной шероховатости существенно влияет на величину прочности сцепления и ее проявления при сопротивлении на изгиб, выразившееся в увеличении несущей способности испытанных балок.

Опыт эксплуатации и систематические наблюдения за балочными пролетными строениями показал, что не только недостатки строительного и технологического характера являются источником образования приведенных выше дефектов. Плита совместно с ребрами участвует в совместной работе под постоянными и временными нагрузками. Таким образом она находится в сложном напряженном состоянии. Для оценки степени влияния напряжения на плиту были выполнены пространственные расчеты. В качестве расчетной схемы было принято сечение пролетного строения длиной 33 м с расстоянием между балками 2,1 м. Прочностные характеристики бетона балок и швов – по результатам, полученным при обследовании. Нагрузка принята по схеме НК-80 по оси шва омоноличивания. Расчет выполнен методом конечных элементов. В результате расчетов были получены значения напряжений  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\tau_{\text{вп}}$ .

Расчетный анализ напряженного состояния в плите, рассекаемой швом омоноличивания (рисунки 3 и 4), показал характер распределения усилий в элементах в поперечном и продольном направлениях, их концентрацию в отдельных сечениях. Длительное циклическое воздействие концентраторов напряжений способствует деструктивным процессам, образованию микроразрушений в бетоне, в последующем переходящих в трещины. Наиболее уязвимыми местами являются стыковые поверхности между бетоном балок и бетоном стыковых швов.

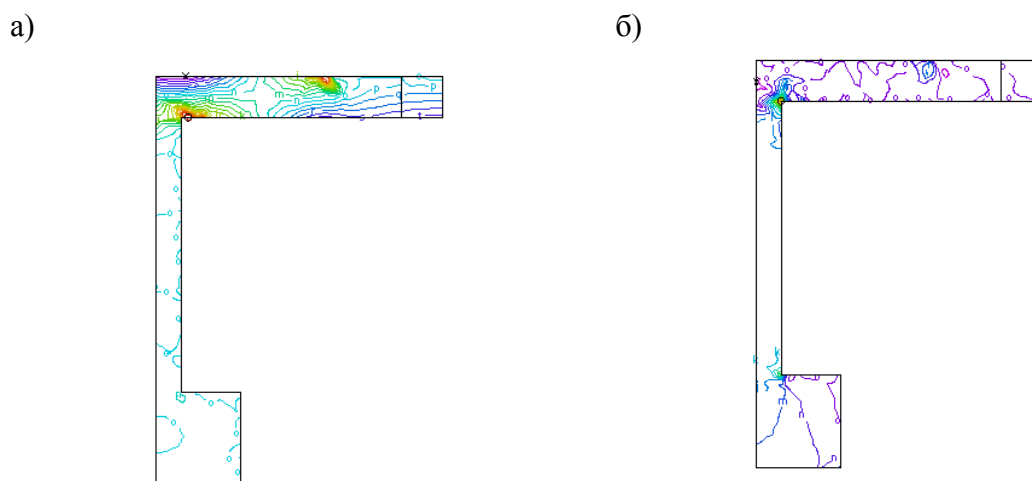


Рисунок 3 – Напряжения в поперечном сечении балок

Значения напряжений по нижним фибрам плиты таковы, что при неблагоприятных условиях, например при низких температурах и промерзании плиты проезжей части при большой влажности, могут вызвать образование трещин и других деструктивных процессов в бетоне.

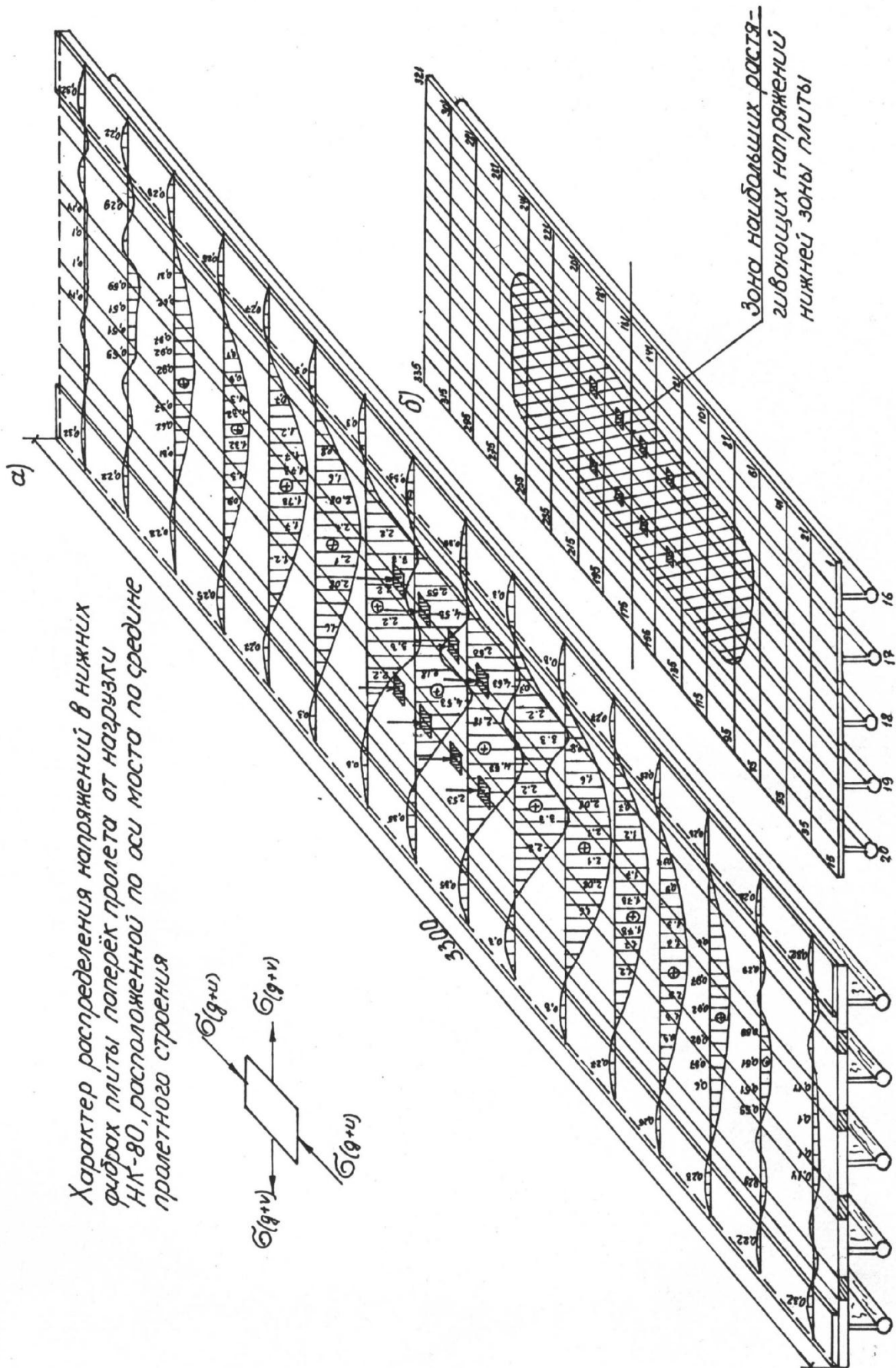


Рисунок 4 – Распределение напряжений в плите

### **Выводы**

1. Приведены результаты обследования 279-ти разрезных балочных пролетных строений автодорожных мостов различных годов строительства. Определены основные виды дефектов плиты проезжей части, которые были допущены при строительстве, образовались в результате нарушения технологий при бетонировании, а также образовались в процессе эксплуатации под воздействием временной нагрузки.

2. Для моделирования работы стыковых соединений швов омоноличивания между балками произведены испытания моделей балок, усиленных монолитной накладной плитой. На основании экспериментальных исследований четырех серий опытных балок были установлены закономерности, обеспечивающие равнопрочность стыка при различных способах подготовки поверхностей.

3. Выполнен расчетный анализ напряженного состояния плиты проезжей части под эксплуатационной нагрузкой и определены зоны значительных напряжений в растянутой зоне бетона, которые совместно с неблагоприятными климатическими факторами способствуют деструктивным процессам в бетоне, образованию микроразрушений и сквозных трещин.

### **Список литературы**

1. Железобетонные пролетные строения мостов промышленного изготовления / Л. И. Иосилевский [и др.]. – М. : Транспорт, 1986 – 216 с.
2. Микульский, В. Г. Сцепление и склеивание бетонов в сооружениях / В. Г. Микульский, Л. А. Игонин. – М. : Стройиздат, 1965 – 176 с.
3. Матвиенко, А. Д. Исследование контактных слоев цементного камня в бетоне / А. Д. Матвиенко, М. Ю. Лещинский, Ю. П. Чернышев // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 1960. – С. 125–129.
4. Пархоменко, В. В. Исследование напряженного состояния плит проезжей части балочных пролетных строений мостов / В. В. Пархоменко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2002. – Вип. 64 – С. 194–195.
5. Экспериментальные исследования усиленных железобетонных балок / Е. И. Оксень [и др.]. // Дороги і мости. – 2006. – Вип. 6. – С. 134–144.

**В. В. Пархоменко, О. Л. Пархоменко**  
*Автомобильно-дорожный институт*

*ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка*

#### **Эксплуатационное и напряженное состояние плиты проезжей части сборных балочных пролетных строений автодорожных мостов**

Плита проезжей части в пролетных строениях мостов работает как упруго защемленная в ребрах и принимает участие в перераспределении усилий от действующих нагрузок в продольном и поперечном направлениях. Кроме того, под воздействием временных нагрузок в плите возникают положительные и отрицательные моменты, поэтому плиту непрерывно армируют в верхней и нижней зонах. В связи с этим важнейшим условием является обеспечение равнопрочности швов по отношению к основной конструкции.

Практикой применения сборного железобетона доказано, что местом нарушения монолитности соединений является контакт между омоноличивающим стыковой зазор бетоном и поверхностью стыкуемых элементов. Более того, если нарушение сплошности в сопряжении нового и старого бетонов и не влечет за собой снижение прочности и деформативных свойств элементов соединения, такой стык, как правило, не удовлетворяет требованиям эксплуатационной надежности.

Для моделирования условий работы стыковых швов балок и установления качества сцепления старого и нового бетонов были выполнены экспериментальные исследования на моделях. По результатам экспериментов было установлено, что качество подготовки стыкуемых бетонных поверхностей влияет на монолитность конструкции.

Для оценки степени влияния напряжения на плиту были выполнены пространственные расчеты. В качестве расчетной схемы было принято сечение пролетного строения длиной 33 м с расстоянием между балками 2,1 м. Прочностные характеристики бетона балок и швов – по результатам, полученным при обследовании.



Нагрузка принята по схеме НК-80 по оси шва омоноличивания. Расчет выполнен методом конечных элементов. В результате расчетов были получены значения напряжений  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\tau_{\text{вн}}$ .

Расчетный анализ напряженного состояния в плите, рассекаемой швом омоноличивания, показал характер распределения усилий в элементах в поперечном и продольном направлениях, их концентрацию в отдельных сечениях.

Полученные результаты экспериментальных и теоретических исследований дают возможность считать, что ряд дефектов (трещины, нарушение целостности бетона), обнаруженных в плите пролетных строений, возникли при сочетании таких факторов, как некачественная подготовка поверхностей бетонирования швов омоноличивания и значительные напряжения по нижним фибрам плиты от эксплуатационных нагрузок, особенно при неблагоприятных условиях, например низких температурах и промерзании бетона при большой влажности.

**АВТОДОРОЖНЫЕ МОСТЫ, ПЛИТА ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ, ШВЫ ОМОНОЛИЧИВАНИЯ, ЭКСПЛУАТАЦИОННОЕ СОСТОЯНИЕ МОСТА, НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛИТЫ**

*V. V. Parkhomenko, O. L. Parkhomenko*

*Automobile and Highway Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka*

**Operational and Stressed State of the Roadway Slab of Prefabricated Beam Spans of Highway Bridges**

Roadway slab in spans of bridges works as elastically restrained in axis and relocates efforts from existing loads in longitudinal and transverse directions. Besides, under the impact of temporary loads positive and negative moments occur in the slab, therefore the slab is constantly reinforced in upper and lower zones. In this regard, the most important condition is to ensure strength balance of joints relatively to the main structure.

The practice of the precast concrete use has proven that the damage place of joints integrity is the contact between concrete grouting the joint gap and the surface of abutting members. Moreover, if the continuity damage in the connection of new and old concrete does not imply a decrease in strength and deformed properties of joint members, such a joint, as a rule, does not satisfy the requirements of operational reliability.

For environment simulation of beams end joints and adherence quality determination of new and old concrete experimental studies on models have been carried out. According to the results of experiments, it was found that preparation quality of jointing concrete surfaces influences on the structure integrity.

To estimate the impact degree of the stress on the slab spatial calculations have been performed. A span cross section of 33m in length with a distance of 2,1m between beams were taken as a design scheme. Strength properties of concrete beams and joints – according to results obtained by examination. The load is adopted according to the scheme NK-80 along the axis of grouting joint. As a result of calculations, the stress values of  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\tau_{\text{вн}}$  were obtained.

Calculation analysis of the stressed state in the slab, dissected by the grouting joint, have shown the character of the effort distribution in members in longitudinal and transverse directions, their concentration in certain cross sections.

Results obtained during experimental and theoretical studies provide the opportunity to consider that a number of defects (cracks, damage of concrete integrity), found in the slab of spans, have arisen with a combination of such factors as a poor preparation of concreting surfaces of grouting joints and significant stresses on lower fibres of the slab from operating loads, especially under unfavorable conditions, for example low temperatures and concrete freezing at high humidity.

**HIGHWAY BRIDGES, ROADWAY SLAB, GROUTING JOINTS, BRIDGE OPERATIONAL CONDITION, SLAB STRESSED STATE**

**Сведения об авторах:**

**В. В. Пархоменко**

Телефон: +38 (071) 301-98-56

Эл. почта: viktor-parkhomenko88@rambler.ru

**О. Л. Пархоменко**

Телефон +38 (071) 406-68-54

*Статья поступила 18.02.2019*

*© В. В. Пархоменко, О. Л. Пархоменко, 2019*

*Рецензент: Т. В. Скрыпник, канд. техн. наук, доц., АДИ ГОУВПО «ДОННТУ»*