

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
имени М. И. КАПИНИНА

УДК 624.21:625.745.12

На правах рукописи

ДЖИГИТ Сергей Георгиевич

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ И ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА
ПОЛОТНА ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ
АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ
ИЗ САМОНАПРЯЖЕННОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

Специальность 05.23.15. «Мосты и тоннели и другие
строительные сооружения на
железных и автомобильных
дорогах»

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Днепропетровск - 1982

НТБ
ДНУЖТ

Работа выполнена в Государственном дорожном научно-исследовательском институте (Госдорнии) Министерства строительства и эксплуатации автомобильных дорог УССР.

Научный руководитель – заслуженный деятель науки УССР, доктор технических наук, профессор Я.Д.ЛИВЕНЦ.

Официальные оппоненты – доктор технических наук, профессор Г.М.ВЛАСОВ, кандидат технических наук М.Е.КАРАСИК.

Ведущее предприятие – Киевский филиал ГПИ "Союздорпроект"

Защита диссертации состоится *15 октября* 1982 г. в *15³⁰* часов на заседании специализированного Совета К 114.07.02 по присуждению ученой степени кандидата технических наук в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта имени М.И.Калинина

С диссертацией
института

Автор

Ученый
специалист
кандидат

64

10182

**Поверніть книгу не пізніше
зазначеного терміну**

МПП. Зам.43 - 4000 тис.

**НТБ
ДНУЖТ**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Одной из важнейших задач при возведении мостов является устройство проезжей части, надежно предохраняющей несущие конструкции от атмосферных воздействий. Многочисленные обследования сооружений указывают на необходимость дальнейшего совершенствования конструкций проезжей части на базе стойких и долговечных материалов. Перспективной является направленность на уменьшение слоев конструкции с применением новых материалов повышенной долговечности. Работы Госдорнии по созданию проезжей части с уменьшенным количеством конструктивных слоев на основе обычного бетона с вводимыми для повышения водонепроницаемости поверхностно-активными добавками позволили с уверенностью сказать о правильности такого направления.

6645а

Одним из наиболее подходящих материалов для такой конструкции является бетон на основе напрягающего цемента, выпуск которого в последние годы освоен цементной промышленностью. Этот материал используется при строительстве гидротехнических сооружений, аэродромном строительстве, производстве напорных труб, бассейнов и резервуаров. В последние годы по предложению Госдорнии Миндорстроя УССР бетон на основе напрягающего цемента нашел применение при устройстве проезжей части железобетонных мостов на Украине.

Актуальность данной работы определяется ее направленностью на создание долговечной конструкции проезжей части, технологии ее устройства, позволяющей повысить производительность труда, снизить трудозатраты, уменьшить применение ручного труда за счет возможной механизации процесса укладки самонапряженного бетона при устройстве плиты проезжей части.

Применение нового прогрессивного материала полностью согласуется с положениями "Основных направлений экономического и социаль-

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА
Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

НТБ
ДНУЖТ

ного развития СССР на 1981-1985 годы и на период до 1990 года", принятых XXVI съездом КПСС. Возможность дальнейшего широкого применения этого материала открывается благодаря положению "Основных направлений..." в части увеличения выпуска высокомарочных и специальных цемента в этот период. Исследования, выполненные автором, решают ряд вопросов, поставленных Целевой комплексной программой научно-исследовательских работ по расширению производства и применения в строительстве напрягающего цемента (1981-1985 гг.), утвержденной Госстроем СССР.

Цель диссертационной работы. Целью настоящей работы является:

- а) определение оптимального армирования слоя самоупроченного бетона, в том числе по новому способу "рамный контур";
- б) исследование распределения напряжений по высоте слоя в зависимости от типа армирования и удаленности от арматуры;
- в) исследование влияния расхода вяжущего, крупности и соотношения заполнителей, водоцементного отношения на величину самоупрочения и определение оптимального состава бетона;
- г) исследование основных прочностных и деформативных характеристик самоупроченного бетона оптимального состава и армирования;
- д) исследования сцепления самоупроченного бетона с обычным бетоном и арматурой;
- е) исследование истираемости самоупроченного бетона в зависимости от степени армирования;
- ж) исследования водонепроницаемости и морозостойкости самоупроченного бетона оптимального состава в зависимости от степени армирования и применяемых поверхностно-активных добавок;
- з) исследование основных технологических процессов по устройству проезжей части из самоупроченного бетона:
 - температурных границ бетонирования;
 - изменения подвижности смеси в зависимости от температуры;

НТБ
ДНУЖТ

- режимов увлажнения сляса в процессе самоупржания;

и) исследования работы мостов с полотном проезжей части из самоупрженного бетона, в том числе и сборно-моноплитных температурно-неразрезных пролетных строений с шахматным расположением несущих элементов и блоем самоупрженного бетона, включенным в совместную работу с несущими конструкциями;

к) разработка инструкции по конструкциям и технологии устройства мостового полотна из самоупрженного бетона.

Научная новизна. Научная новизна работы определяется:

- получением данных по оптимальному армированию плиты проезжей части (метод "рамного контура", а.с.№804755);

- получением данных по влиянию составляющих бетонной смеси и водоцементного отношения на величину самоупржения применительно к условиям устройства проезжей части на мостах;

- получением прочностных и деформативных характеристик бетона плиты проезжей части, данными исследований по водонепроницаемости, морозостойкости, истираемости, сцеплению с арматурой и бетоном несущих конструкций;

- результатами исследований технологии устройства мостового полотна в части режимов увлажнения плиты проезжей части в процессе самоупржения, температурных границ проведения работ, регулирования подвижности бетонной смеси в зависимости от времени и температуры;

- данными исследования работы сборно-моноплитного температурно-неразрезного моста с раздвинутыми несущими элементами и плитой проезжей части из самоупрженного железобетона (а.с.№688549).

Практическая значимость работы. Практическая значимость работы определяется разработкой конструкции и технологии устройства мостового полотна с применением нового прогрессивного материала, отличающегося высокими физико-механическими характеристиками. Новый тип мостового полотна характеризуется простотой конструкции, экономичностью и меньшей трудоемкостью при проведении работ. Устройство

таких покрытий не вызывает трудностей при строительстве и в то же время позволяет повысить долговечность сооружения.

Реализация работы. Результаты работы реализованы в "Инструкции по конструкциям и технологии устройства мостового полотна из самонапряженного железобетона" Госдорнии Миндорстроя УССР, Киев, 1980 г., которые используются институтами Укргипродор и Укрремдорпроект при разработке проектных решений, а также республиканскими производственными объединениями Укрдорстрой и Укравтодор при строительстве. Выполненные автором разработки использованы при сооружении 14 автодорожных железобетонных мостов в различных областях УССР.

По результатам работы институтом Укргипродор выпущен альбом рабочих чертежей "Мостовое полотно пролетных строений из пустотных плит длиной 6, 12 и 18 метров с водозащитным железобетонным самонапряженным слоем".

На задиту выносятся:

- результаты лабораторных и натуральных исследований и рекомендации по конструкции и вариантам оптимального армирования мостового полотна из самонапряженного железобетона;
- результаты исследований и рекомендации по получению самонапряженного бетона плиты проезжей части мостов с заданными физико-механическими характеристиками (оптимальный состав, морозостойкость, водонепроницаемость, прочностные и деформативные характеристики, истираемость и др.);
- рекомендации по основным технологическим приемам устройства мостового полотна из самонапряженного железобетона;
- конструкция и результаты исследования нового типа сборно-монолитного температурно-неразрезного пролетного строения с плитой проезжей части из самонапряженного железобетона.

Публикации и доклады. По теме диссертации опубликовано десять работ. Результаты работы доложены на XXIV и XI научно-исследова-

НТБ
ДНУЖТ

тельских конференциях МАДИ (Москва, 1976 и 1982 гг.); на Всесоюзной научно-технической конференции ЦНИИС "Повышение эффективности и качества транспортного строительства на БАМе, а также в других районах Сибири и Дальнего Востока" (Москва, 1979 г.); на Всесоюзном координационном совещании НИИЖБ и НИИСК Госстроя СССР по теме "Методы расчета и область применения сборно-монолитных конструкций" (Киев, 1979 г.); на Всесоюзном совещании, проведенном Госстроем СССР и НИИЖБ на тему "Применение напрягающего бетона и самонапряженного железобетона в строительстве" (Москва, 1982 г.); на IX Конгрессе Международной Федерации по предварительно напряженному железобетону (ФИП) на тему "Проезжая часть мостов из самонапряженного железобетона" (Стокгольм, 1982 г.).

Конструкции и технология устройства проезжей части мостов из самонапряженного железобетона были представлены в 1979 году на ВДНХ СССР.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав (разделов), списка литературы и приложений. Работа изложена на 212 страницах, из них 106 страниц основного текста, 20 таблиц, 50 рисунков, 10 фотографий, 79 наименований литературы, 8 приложений и оглавления.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, излагается цель диссертационной работы, характеризуются научная новизна, практическая значимость, реализация работы и формулируются положения выносимые на защиту.

Первый раздел посвящен обзору состояния вопроса, анализируются факторы, влияющие на долговечность железобетонных конструкций мостов, определяются основные направления совершенствования конструкций проезжей части. Приводятся основные сведения о самонапряженном железобетоне и анализируется возможность его применения в

мостостроении. В первом параграфе разбираются основные факторы, влияющие на коррозионную стойкость и долговечность обычного тяжелого бетона, используемого в специфических условиях эксплуатации искусственных сооружений. Сделан вывод, что обычный бетон несущих конструкций мостов, особенно в сборных конструкциях, при применении общепринятых материалов и приемов его обработки не является достаточно непроницаемым и стойким в сложных условиях эксплуатации искусственных сооружений.

Указывается, что при участии автора было выполнено обследование 60 мостов (190 пролетных строений) различных конструкций, выявившее наиболее характерные причины фильтрации воды через покрытия различных типов.

Второй параграф включает обзор конструкций проезжей части мостов и применяемых в настоящее время типов гидроизоляции. Показано, что совершенствование конструкций мостового полотна идет по пути либо усложнения, увеличения числа конструктивных слоев, либо их уменьшения (вместо 5-8 слоев I-2) с повышением требований к качеству материалов и производству работ. При осуществлении второго варианта наряду с другими материалами определен интерес представляет напрягающий цемент (НЦ), индустриальный выпуск которого освоен рядом заводов РСФСР, УССР и БССР.

Напрягающие цементы являются разновидностью расширяющихся вяжущих, которые обладают большой химической энергией расширения и способны без разрушения и ослабления бетона железобетонной конструкции при твердении интенсивно расширяться и самоупрочивать бетон, то есть натягивать арматуру и обжимать бетон без нарушения сцепления между ними и без снижения прочности. В 1937-1941 годах Б.Г.Скрамтаевым, В.М.Михайловым и В.В.Михайловым были проведены обширные исследования сульфоалюмината кальция и выдвинута идея

использования эффекта расширения $C_3A(CS)_2H_2I$ для получения расширяющегося и напрягающего цемента на основе разделения фаз твердения и расширения вяжущего. Дальнейшие исследования свойств бетонов на напрягающем цементе (В.В.Михайлов, С.Л.Литвер, В.А.Попова, Л.И.Будагянц, Л.А.Титова, Б.З.Драгунский, О.А.Звездин) выявили, что способность бетонов на таком вяжущем к самоупрочнению придает им высокие свойства в части плотности, водо-бензо- и газонепроницаемости и представляет поэтому большой интерес его применение в различных областях народного хозяйства.

Улучшение поровой структуры бетона за счет уплотнения ее образующимся в большом количестве гидросульфаталюминатом кальция, а также дополнительное обжатие бетона при ограничении деформаций расширения позволяет сделать предположение, что данный материал должен обладать также повышенными показателями ряда прочностных и деформативных характеристик, определяющих применение его в мостостроении, в частности повышенными границами микротрещинообразования, что чрезвычайно важно при эксплуатации сооружений при знакопеременных воздействиях, свойствами влияющими на его долговечность (морозостойкость, водонепроницаемость, истираемость и др.). Все эти характеристики, по видимому, находятся во взаимосвязи с оптимальной величиной ограничения деформаций, оптимальным составом бетона, технологией его приготовления, укладки и твердения, а также непосредственно с типом конструкции.

С учетом имеющихся в настоящее время результатов исследований в части самоупрочненного железобетона, выполненных в НИИЖБ, и требований, предъявляемых к проезжей части автодорожных мостов, поставлены следующие задачи данного исследования:

- определение основных факторов, влияющих на величину самоупрочнения и прочностные характеристики бетона (оптимальное арми-

романие с учетом конструктивных особенностей полотна проезжей части, влияния составляющих бетонной смеси, водоцементного отношения, разработка рекомендаций по выбору состава бетона) и основных физико-механических характеристик бетона оптимального состава;

- исследование морозостойкости, водонепроницаемости и водонасыщения бетона оптимального состава с учетом применения поверхностно-активных добавок и без них;

- определение характеристик самоупроченного железобетона по истираемости, сцеплению с арматурой и бетоном несущих конструкций и возможности совместной работы монолитного самоупроченного мостового полотна с несущими элементами в сборно-монолитных конструкциях мостов;

- исследование основных технологических процессов бетонирования самоупроченной плиты проезжей части с разработкой рекомендаций по конструкциям и технологии устройства мостового полотна с применением самоупроченного железобетона;

Во втором разделе приводятся данные по исследованию оптимального армирования плиты проезжей части, влияния составляющих бетонной смеси и водоцементного отношения на степень самоупрочения и рекомендации по регулированию состава бетона с определенными заданными свойствами. Приводятся результаты исследований основных физико-механических характеристик бетона рекомендуемого состава.

Определение величины свободных и связанных деформаций и степени самоупрочения в зависимости от армирования выполнялось на трех партиях образцов:

- на НЦ с различной степенью одноосного ограничения деформаций в пределах $\mu = 0,002 - 0,0018$;

- на НЦ без ограничения деформаций;

- на обычном портуландцементе марки "500".

На основании измеренных деформаций определены напряжения в арматурных стержнях и бетоне. Поскольку в проведенном эксперименте обеспечивалась полная совместность деформаций бетона и арматуры путем применения кондукторов, напряжения в бетоне определяли по формуле:

$$\sigma_{сн} = \frac{\Delta \epsilon}{\epsilon} E_a M$$

где $\sigma_{сн}$ - самоупругие в бетоне, МПа;

$\Delta \epsilon$ - деформация стержня, см;

ϵ - длина стержня, см;

M - коэффициент армирования.

Величина самоупругия возрастает по мере повышения коэффициента армирования и достигает при значениях $M = 0,004; 0,006; 0,008$, соответственно 1,24; 1,29 и 1,27 МПа. Дальнейшее возрастание степени ограничения деформаций не приводит к существенному увеличению самоупругия в связи с тем, что при больших значениях процента армирования при одноосном ограничении в значительной мере возрастает поперечная деформация, развитие которой приводит к некоторому разуплотнению образцов. Исходя из этого в последующих исследованиях принимался коэффициент армирования $M = 0,004$.

Проведены исследования на лабораторных фрагментах, моделирующих проезжую часть моста и представляющих собой двухслойную конструкцию, нижняя часть которой состояла из обычной железобетонной плиты, а верхняя - из прибетонированной к ней плиты из армированного при $M = 0,004$ и неармированного бетона на НЦ.

Для подсчета самоупругия в различных зонах плиты применялась эмпирическая формула НИИЖБ

$$\sigma_{\delta, max} = 0,085 (\sigma_{\delta}^I)^{1,25} \left(\frac{L}{\epsilon}\right)^{0,25}$$

где $\sigma_{\delta, max}$ - величина ожидаемого максимального самоупругия, МПа;

- σ_{δ}^I - энергетическая марка цемента НЦ, МПа;
 ϵ - относительная связанная деформация.

Для оценки ожидаемого оставшегося самоупругения в бетоне после проявления усадки использовалась формула

$$\sigma_{\delta n} = \sigma_{\delta, \max} - M \alpha E_a$$

- где M - коэффициент армирования;
 α - усадка, принимаемая по табличным данным;
 $\sigma_{\delta n}$ - самоупругение после проявления потерь, МПа;
 $\sigma_{\delta, \max}$ - наибольшая величина самоупругения, МПа.

Одновременно использовалась формула, предложенная С.С.Салихановым в процессе экспериментальных работ КАДИ и Госдорнии и применимая для конкретных случаев использования постоянных составов бетона в технологических условиях при двуслоно армированных мостовых покрытиях

$$\sigma_{\delta} = 0,196 \cdot 10^5 M (1 - 2,02) \epsilon_0 \frac{R_0^2}{100}$$

- где σ_{δ} - самоупругение в бетоне, МПа;
 M - коэффициент армирования;
 ϵ_0 - свободное относительное расширение;
 R_0 - начальная прочность (до смачивания), МПа.

Деформации расширения растут по высоте покрытия по мере удаления от поверхности подстилающей плиты, что объясняется дополнительным одерживающим влиянием сил сцепления между слоями конструкции, вследствие чего нижние слои покрытия получают дополнительное обжатие (поверху $\sigma_{сн} = 1,58$ МПа; на уровне арматуры - 1,76 и в нижних волокнах - 1,83 МПа). После проявления потерь от усадки напряжения распределяются соответственно: $\sigma_{сн} = 1,05; 1,20; 1,27$ МПа.

Был проведен эксперимент при одноосном и объемном армировании, в результате которого сделан вывод о целесообразности армирова-

ния плиты проезжей части в двух направлениях горизонтальными сетками при $\mu = 0,004$.

Исследование, направленное на определение распределения напряжений в бетоне по мере удаленности от арматуры, показало, что в образцах, одноосно армированных гладкой арматурой, относительная деформация расширения бетона на расстоянии 3 см от стержня в момент стабилизации на 8 сутки в 2,8 раза превышает относительную деформацию самого стержня (соответственно $0,62 \times 10^{-2}$ и $0,22 \times 10^{-2}$), в то время, как деформация свободного расширения в этот период равна $0,78 \times 10^{-2}$. В образцах, армированных стержнями периодического профиля, распределение деформаций по сечению носит более равномерный характер, причем ϵ уменьшается до $0,29 \times 10^{-2}$, что говорит о целесообразности армирования стержнями периодического профиля, менее подверженными проскальзыванию в бетоне.

При исследовании оптимального состава бетона для проезжей части мостов изучалось влияние расхода вяжущего НЦ-20, соотношения крупного и мелкого заполнителей, водоцементного отношения. При исследовании составов бетона с расходами вяжущего 400; 450; 500; 550 и 600 кг/м³ установлено оптимальное ограничение расхода НЦ величиной 500 кг/м³, обеспечивающей самоупрочнение до 0,8–0,9 МПа при нормируемой прочности при сжатии 40–45 МПа.

Исследования, выполненные в КАДИ С.С. Салихановым показали, что при принятой степени ограничения деформаций величина самоупрочнения в результате действия процессов усадки и ползучести уменьшается на 23–25%, таким образом установившаяся величина самоупрочнения при указанном расходе вяжущего можно принять в диапазоне 0,6–0,625 МПа.

Установлено, что расход щебня влияет как на конечную величину расширения, так и на характер его изменения. При расходе щебня 0,8

и $0,9 \text{ м}^3$ деформации нарастает интенсивнее и стабилизируется на 8 сутки твердения бетона. При $V = 0,8 \text{ м}^3$ зафиксирована максимальная относительная деформация $\epsilon = 12 \times 10^{-4}$, соответствующая самоупругиванию в бетоне $\sigma_{сж} = 1,2 \text{ МПа}$.

Выполнен эксперимент, направленный на изучение зависимости $\Delta e - f$ (В/Ц) и выбор оптимальной подвижности смеси, позволяющей максимально использовать энергетические возможности цемента в конкретных условиях строительства.

Эксперимент проводился на образцах изготовленных из бетона с оптимальным расходом материалов при В/Ц = 0,35; 0,40; 0,45; и 0,5. Максимальные значения расширения ($\epsilon = 11 + 12 \times 10^{-4}$) и самоупругивания ($\sigma_{сж} = 1,1 - 1,2 \text{ МПа}$) получены при В/Ц = 0,45 - 0,5, обеспечивающем прочность при сжатии на 28 сутки до 41,5 МПа.

При исследовании прочностных характеристик самоупругивающегося бетона, принятого состава, установлено, что прочность при сжатии и призмная прочность увеличивается с ростом коэффициента армирования - при $M = 0; 0,004; 0,01$ соответственно 36; 41; 43,8 МПа и 28; 32; 34,4 МПа. В то же время модули упругости существенно не отличаются от их нормативных значений для обычного бетона.

Определено, что напряжения при которых в бетоне начинают развиваться микротрещины, находятся в пределах $0,45 - 0,5 R_{пр}$ (12,5 - 15,0 МПа) и значительно превышают величины сжимающих напряжений, возникающих в несущих конструкциях пролетных строений под воздействием эксплуатационных нагрузок (3,5 - 5,1 МПа). Приведены результаты определения прочности самоупругивающегося бетона при растяжении, которые при $M = 0,004$ и $0,01$ выше на 18 и 28% прочности обычного бетона. Прочность при изгибе составила 4,8 и 5,2 МПа, обычного бетона аналогичного состава - 4,0 МПа.

Напряжения, при которых появляются микроразрушения при изгибе, составляют 2,35-2,65 МПа, что значительно выше полученных при ис-

питании неразрезного пролетного строения по схеме $22,5 + 27,0 + 22,5$ м (0,7 - 0,8 МПа), замеренных в надопорной зоне при отделении самонапряженной плиты от несущих конструкций изолирующей прокладкой.

Определяющими факторами для применения данного материала также являются гидроизоляционные показатели и морозостойкость, характеризующая его долговечность. Установлено, что бетон на НЦ отличается большей водонепроницаемостью, чем обычный бетон на порландцементе. Дополнительное введение воздухововлекающей и пластифицирующей добавок (СНВ+СДБ, либо ГЖ-10) делает бетон на НЦ полностью водонепроницаемым. Введение в состав бетонной смеси указанных добавок резко повышает также морозостойкость самонапряженного бетона. Если в образцах без добавок после 300 циклов переменного замораживания и оттаивания потеря в весе от первоначального составляла 2,1%, то в образцах с добавками - всего 0,97% после 600 циклов. В образцах без добавок соответственно после 200 и 300 циклов было зафиксировано снижение прочности на 25 и 43%, в то время как в образцах с добавками снижения прочности не наблюдалось даже после 600 циклов.

В результате исследований установлено, что истираемость бетона на НЦ, твердевшего в условиях ограничения деформаций расширения при $M = 0,004$, не превышает истираемости обычного дорожного бетона, что свидетельствует о возможности устройства проезжей части на мостах без слоя износа.

Эффект применения самонапряженного бетона для устройства мостового полотна возрастает при включении его в совместную работу с элементами пролетных строений, что дает возможность повысить несущую способность последних в зависимости от длины пролета на 12 - 16%. Для обеспечения совместной работы большое значение имеет способ объединения и в первую очередь естественное сцепление

самонапряженного бетона с элементами пролетного строения, что представляет определенный практический интерес в связи с отсутствием в настоящее время в литературе подобных сведений. Величина сцепления самонапряженного бетона со старым обычным бетоном, определенная по сдвигающему усилию и площади контакта составных образцов, несколько ниже чем у обычного старого и нового бетонов. Однако, с увеличением степени ограничения деформаций (свыше $M = 0,004$) эта разница уменьшается. Несколько более низкое сцепление самонапряженного бетона с обычным, однако, не исключает возможности учета совместной работы проезжей части с несущими конструкциями и дополнительного самонапряжения в зоне контакта при условии специальных конструктивных мероприятий.

Исследована совместная работа самонапряженного бетона и арматуры, показавшая, что величина сцепления достаточна для обеспечения совместности деформаций, так как отношение прочности сцепления к прочности самонапряженного бетона при сжатии составляет 0,19, в то время как по литературным данным эта величина для обычного бетона 0,18-0,25.

Эксперименты на лабораторных образцах-балках длиной 2 метра и натурной плите длиной 18 метров показали, что естественные силы сцепления превышают действующие сдвигающие усилия и обеспечивают совместную работу плиты и слоя самонапряженного бетона при воздействии статической нагрузки. Возможность учета совместной работы слоя самонапряженного бетона с несущими конструкциями была также подтверждена экспериментами, проведенными в КАДИ при загрузке составных конструкций циклической нагрузкой. При учете динамических воздействий с целью долговременного обеспечения совместности работы слоев, рекомендуется дополнительная обработка поверхности несущих элементов путем нарезки или втапливания щебня при их изготовлении.

В результате всего комплекса экспериментов одалан вывод, что по всем своим физико-механическим характеристикам самоупрессенный бетон может быть применен для покрытий проезжей части мостов.

В третьем разделе приводятся рекомендуемые конструкции мостового полотна из самоупрессенного железобетона для автодорожных мостов, выполненные по трем типам - с устройством самоупрессенной плиты на всю ширину пролетного строения с накладными тротуарами, с укладкой самоупрессенной плиты на ширину проезжей части между сборно-монокитными тротуарными блоками новой конструкции и с устройством сплошного покрытия с монокитными тротуарными кошками. Во всех случаях проезжая часть состоит из олов самоупрессенного железобетона марки "400" толщиной 10 см, армированного сетками из стержней диаметром 10 мм стали класса А-II или диаметром 8 мм стали класса А-I с размером ячейки соответственно 20x20 или 12x12 см ($\mu = 0,004$) или по разработанному с участием автора экономичному способу, получившему название "рамный контур" (а.с. № 804755). При этом обычные сетки заменены армированием по контуру пролетного строения. В этом случае мостовое полотно состоит из внутреннего поля самоупрессенного неармированного бетона и охватывающего его рамного контура из самоупрессенного железобетона с несколько повышенным коэффициентом армирования ($\mu = 0,01$). Бетонирование и увлажнение обеих зон плиты проезжей части производится одновременно. В основу способа положено допущение, что при определенном армировании и геометрических размерах контура, выполняющего роль обоями, бетон внутреннего поля (оков) будет лишен возможности свободно расширяться, в результате чего в нем возникнут усилия самоупрессенения. Выполненный в КАДИ расчет такой конструкции показал, что бетон контура за очет сцепления с плитой пролетного строения полностью обеспечивает проч-

ность по контакту. Лабораторный эксперимент и натурные исследования, выполненные при строительстве трех мостов, показали реальную возможность осуществления такого метода, позволяющего экономить до 30% арматуры.

В этом же разделе приведены результаты исследований основных технологических приемов устройства самонапряженного мостового покрытия. Необходимым условием для самонапряжения бетона на НЦ является создание в период его твердения среды с избытком влаги, чему в наибольшей степени соответствует полное погружение изделий из этого материала в воду. На практике при устройстве самонапряженного покрытия на мостах смачивание происходит при поступлении влаги в бетон через верхнюю открытую поверхность. Влияние одностороннего увлажнения бетона на величину его самонапряжения, характер распределения деформаций по толщине проезжей части изучались на трех сериях составных фрагментов, в которых верхняя часть изготавливалась из бетона на НЦ при $\mu = 0,004$, а нижняя из обычного бетона имитировала балки пролетного строения. Самонапряжение верхней части протекало при трех режимах твердения: во влажном песке, при нахождении воды только на верхней поверхности фрагмента и полностью в воде. Параллельно на фрагментах определялось влияние сцепления бетона мостового полотна и несущих конструкций на распределение самонапряжения по высоте плиты. С этой целью фрагменты каждой серии изготавливали в двух вариантах: с непосредственной прибетонировкой к основанию и с прокладкой между слоями полиэтиленовой пленки, исключающей возможность сцепления слоев. Наличие сцепления является причиной неравномерного распределения напряжений по сечению плиты: в верхних волокнах бетона $\epsilon = 14,2-14,6 \times 10^{-4}$, в нижних $\epsilon = 8,0-8,5 \times 10^{-4}$. При отсутствии сцепления между слоями при поверхностноводном режиме твердения и водном режиме происходит выравнивание дефор-

маций по высоте и увеличение их абсолютных значений. В отличие от указанных режимов твердения бетона при использовании влажного песка уменьшаются ощутимо деформации расширения в слое из-за недостаточного поступления воды к нижним зонам бетона, о чем свидетельствует тот факт, что при отсутствии сцепления между слоями сохраняется разница в деформациях бетона на разных уровнях. Поверхностноводный режим твердения позволяет получать самоупрочнение в бетоне до 1,0 МПа и является значительно более эффективным способом, чем твердение во влажном песке.

Установлено, что с понижением температуры среды процесс самоупрочнения происходит с убывающей интенсивностью: к моменту стабилизации деформаций связанное расширение образцов твердевших при 20°C почти втрое превышает этот показатель для переменного режима +5-0°C ($\epsilon = 0,103 \times 10^{-2}$ и $0,035 \times 10^{-2}$), причем стабилизация деформаций отмечается раньше у образцов, твердение которых происходило при более высокой температуре - при T=+20°C на 5 суток, при режиме +5-0°C - на 10 суток. Для принятых в эксперименте крайних значений температур самоупрочнение в бетоне оказалось равным 1,03 и 0,35 МПа.

Температурный фактор оказывает влияние как на сроки достижения бетоном прочности необходимой к моменту начала увлажнения, так и на конечную ее величину. Снижение прочности при температурах твердения +20; 10; 5 и -5°C составляет на 28 суток соответственно 0; 8,4; 19,3 и 25,5%. Если при температурах +20, +10°C прочность бетона позволяет приступить к его увлажнению уже на вторые сутки, то при переменном режиме +5-0°C только на седьмые. Полученные результаты указывают на предпочтительность выполнения работ в весенне-летний период при температурах воздуха не ниже +10°C. При отрицательных температурах необходимо применение спе-

17 Днепропетровский институт инженеров
железнодорожного транспорта
им. А. М. Горького
БИБЛИОТЕКА

НТБ
ДНУЖТ

66-45a

цимальных мероприятий.

Представлены результаты эксперимента по определению изменения удобоукладываемости бетонной смеси на ИЦ при различных температурных условиях. Бетонная смесь на напрягающем цементе, приготовленная по обычной технологии и имеющая на выходе из бетономешалки осадку конуса 5 см, при температуре воздуха $+20^{\circ}\text{C}$ довольно быстро теряет свою подвижность и уже через 20 мин. становится трудноукладываемой, в связи с чем рекомендовано применение замедлителей схватывания типа СДБ и ГКМ-10.

В четвертом разделе приведены результаты экспериментальной проверки конструкций проезжей части из самонапряженного железобетона на натуральных сооружениях. Экспериментальное строительство мостов с проезжей частью из самонапряженного железобетона начато на Украине с 1975 года. За период 1975-1980 гг. построено 14 мостов с общей площадью 10,9 тыс. м². Применение самонапряженного бетона в монолитной плите проезжей части мостов позволило разработать новый тип температурно-неразрезного пролетного строения (а.с. №688549) и осуществить его строительство в 1980 году. В основу решения положен принцип укладки балок соединяемых пролетных строений соседних пролетов на опорах в шахматном порядке на один ряд опорных частей. При этом концы сопрягаемых балок направлены в противоположные стороны, а боковые поверхности концевых частей балок соседних пролетов прилегают друг к другу. Балки и пространство между ними перекрываются железобетонной монолитной плитой из самонапряженного железобетона толщиной 16 см, включаемой в совместную работу с несущими элементами. При участии автора разработана конструкция подвесной опалубки для бетонирования монолитной плиты. Приведены результаты испытания такого моста и ряда других сооружений, подтвердив-

ние возможность учета совместной работы мостового полотна из самоупроченного железобетона с несущими элементами.

Представлен анализ состояния мостов с опытной проезжей частью со сроками эксплуатации от I до 5 лет.

В пятом разделе приводится расчет экономической эффективности применения рекомендуемых типов мостового полотна.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Проведенные лабораторные и натурные исследования, опыт экспериментального строительства и обследования позволили рекомендовать применение самоупроченного бетона для устройства проезжей части автодорожных мостов в вариантах исследованных автором. В результате исследований выяснено влияние расхода цемента (ЩЦ-20), крупности и соотношения заполнителей на величину самоупрочения. В диапазоне расходов вяжущего $400-600 \text{ кг/м}^3$ относительные деформации расширения находятся в интервале $0,05 \times 10^{-2} - 0,108 \times 10^{-2}$. При пересчете на величины самоупрочения последние находятся в диапазоне от $0,4 \text{ МПа}$ до $1,0-1,1 \text{ МПа}$ при расходах вяжущего соответственно 400 и 600 кг/м^3 . Оптимальный расход вяжущего $500-550 \text{ кг/м}^3$, при котором обеспечивается величина самоупрочения $0,8-0,9 \text{ МПа}$ при прочности на сжатие $40,0 \text{ МПа}$. Определено влияние крупного заполнителя на самоупрочение и выбрано оптимальное соотношение заполнителей и вяжущего (соотношение цемента и песка $1:1,1$ при $V_{ц} = 0,8 \text{ м}^3$), при котором получена величина самоупрочения до $1,2 \text{ МПа}$. Установлено оптимальное водоцементное отношение ($В/Ц=0,45$), при котором получена относительная деформация расширения $11-12 \times 10^{-4}$ и самоупрочение до $1,1-1,2 \text{ МПа}$ при прочности бетона в возрасте 28 суток $41,5 \text{ МПа}$.

Определен оптимальный коэффициент армирования для монолитной плиты толщиной 10 см из бетона рекомендованного состава.

При двусосном армировании он равен 0,004. Такая степень армирования позволяет получить самоупругие порядка 1,24-1,27 МПа. Установлено, что дальнейшее повышение степени армирования в двух направлениях не приводит к существенному увеличению самоупругия. Впервые разработан и исследован новый тип армирования - "рамный контур" (а.с. № 804755), позволяющий получить практически такое же самоупругие, как и при непрерывном армировании, но снизить расход арматуры на 30%.

Приведены результаты исследования водонепроницаемости и морозостойкости самоупругенного бетона, показавшие высокие гидроизоляционные характеристики материала. Установлено, что при введении в бетонную смесь поверхностно-активных добавок (СДБ+СНВ, ПКМ-10) материал выдерживает 600 и более циклов попеременного замораживания и оттаивания без каких-либо потерь прочности и веса.

Получены величины кубиковой и призмочной прочности бетона принятого состава в зависимости от степени армирования в диапазоне изменения коэффициента армирования 0-0,01. Установлено, что модули упругости самоупругенного бетона практически не отличаются от их нормативных значений для обычного бетона. При прочности 36,0 МПа и коэффициентах армирования 0,004 и 0,01 они составляют для самоупругенного бетона соответственно 36400 и 37000, для обычного 33500 МПа.

Получены напряжения, при которых в бетоне при сжатии и растяжении при изгибе начинают развиваться микротрещины (12,5-15,0 МПа и 2,35-2,65 МПа) и сопоставлены с фактическими напряжениями, замеренными при испытании мостов (3,5-5,1 МПа и 0,7-0,8 МПа). Приведены результаты определения сцепления между бетоном проезжей части и несущими конструкциями, показавшие, что в связи с протеканием различных процессов в стыкуемых элементах (расширение в самоупругенном бетоне проезжей части и усадка в бетоне несущих элементов) естественное сцепление несколько умень-

шается по сравнению со стыкуемыми элементами из обычного бетона. Это же наблюдается и при определении сцепления обычного и самонапряженного бетона с арматурой. Однако, в целом величина сцепления достаточна для обеспечения совместности деформаций. Эти выводы подтверждаются исследованиями совместной работы полотна проезжей части с несущими конструкциями, проведенными на моделях, пустотных плитах и натуральных разрезных и неразрезных мостах. Исследования позволили определить и рекомендовать способы объединения, обеспечивающие надежную совместную работу составной конструкции. Предложена конструкция сборно-монолитного температурно-неразрезного пролетного строения с шахматным расположением несущих элементов и монолитной самонапряженной плитой проезжей части, включенной в совместную работу с балками (а.с. №688549) и приведены результаты испытания, подтверждающие перспективность такой конструкции.

Получены результаты исследования ряда технологических операций по устройству самонапряженного полотна проезжей части. Установлено влияние способа увлажнения на величину самонапряжения и распределение деформаций расширения по высоте слоя при наличии сцепления и без него. Рекомендован оптимальный режим и на основании рекомендаций изготовлена специальная установка для увлажнения. Установлено влияние температур в диапазоне 0-20°C на протекание процесса самонапряжения. При температурах твердения бетона +20; +10; +5; +5-0°C снижение конечной прочности самонапряженного бетона при сжатии составило соответственно 0; 8,4; 19,3; 25,6%, причем величина самонапряжения снизилась с 1,03 до 0,35 МПа. Рекомендовано предпочтительно проводить работы по устройству мостового полотна при температурах воздуха не ниже +10°C. В нас-

тоящее время НИИЖБом проводятся работы по применению противоморозных добавок, что позволит расширить температурные границы применения этого материала, однако, при этом нужно будет учесть специфику устройства мостового полотна. Приведены результаты исследования потери подвижности бетонной смеси в зависимости от температуры воздуха и даны рекомендации по ее регулированию.

Разработана и применяется строительными и проектными организациями Миндоротроя УССР инструкция "Конструкции и технология устройства мостового полотна из самонапряженного железобетона", содержащая конкретные рекомендации по устройству нового типа мостового полотна.

В представленном исследовании и работе, выполненной С.С.Салихановым, делаются первые шаги в части применения самонапряженного бетона в мостостроении. Изучен ограниченный круг вопросов, касающихся применения этого материала только в одном из элементов моста, причем некоторые вопросы не охвачены этими исследованиями и должны быть решены в ближайшее время.

Результаты диссертационной работы использованы при проектировании и строительстве мостов и путепроводов с проезжей частью из самонапряженного железобетона в системе Миндоротроя УССР. При этом полученный экономический эффект от использования результатов диссертационной работы составил 93 тыс. рублей.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Штильман Е.И., Родин Ю.Л., Липский А.Г., Джигит С.Г.

Устройство проезжей части мостов из самонапряженного железобетона. Информационный листок УкрНИИТИ, № 0410, 1978.

2. Егильман Е.И., Джигит С.Г., Родин Ю.Л. Конструкции проезжей части мостов из самонапряженного железобетона. Автомобильные дороги, №2, 1979, с. 7-8.

3. Джигит С.Г., Родин Ю.Л., Годик Э.А. Мостовое полотно из самонапряженного железобетона. Бетон и железобетон, №4, 1981, с.8-10.
4. Штильман Е.И., Эдельман Е.И., Барсуков В.П., Джигит С.Г.
Совместная работа мостового полотна с несущими конструкциями пролетных строений. Транспортное строительство, №1, 1981, с.42-43.
5. Барсуков В.П., Эдельман Е.И., Родин Ю.Л., Джигит С.Г.
Экономичная конструкция пролетного строения с применением самонапряженного железобетона. Строительные материалы и конструкции, №1, 1982, с.13-14.
6. Лившиц Я.Д., Джигит С.Г., Родин Ю.Л. Применение самонапряженного железобетона в проезжей части автодорожных мостов на Украине. Тезисы доклада на Всесоюзном совещании "Применение напрягающего бетона и самонапряженного железобетона в строительстве". НИИЖБ.М., 1982, с.25-26.
7. Егоров С.В., Лившиц Я.Д., Джигит С.Г., Родин Ю.Л., Наумченко И.В.
Проезжая часть автодорожных мостов из самонапряженного железобетона. Доклад на IX Международном конгрессе ФИП в Стокгольме. М., 1982, 19 с.
8. Джигит С.Г., Барсуков В.П., Эдельман Е.И., Миленина Н.Я.
Температурно-неразрезное пролетное строение с однорядным опиранием на каждой опоре. Информационный листок УкрНИИНТИ. 1981.
9. Штильман Е.И., Джигит С.Г. Мост. Авторское свидетельство №688549, 1978.
10. Штильман Е.И., Родин Ю.Л., Лившиц Я.Д., Джигит С.Г., Салиханов С.С.
Мостовое полотно проезжей части и способ его возведения. Авторское свидетельство №804755, 1979.

БФ 2486Г. 12.08.82.

Зак. 819. 19.08.82. Объем 1,0 п.л. Тир. 116.

Ротапринт треста "Оргдорстрой" Миндорстроя УССР.

НТБ
ДНУЖТ