

На правах рукописи

ДЕДКОВ ВАЛЕРИЙ ИВАНОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЗАБИВНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
СВАЙ В АГРЕССИВНЫХ ГРУНТОВЫХ СРЕДАХ**

Специальность 05.23.05 – «Строительные материалы и изделия»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Уфа – 2005

Работа выполнена в отделе теплозащиты зданий ГУП институт «БашНИИстрой» и на кафедре «Автомобильные дороги и технология строительного производства» Уфимского государственного нефтяного технического университета

Научный руководитель доктор технических наук,
старший научный сотрудник
Яковлев Владимир Валентинович.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
академик РИА и МИА
Степанова Валентина Федоровна;

кандидат технических наук
Мохов Владимир Николаевич.

Ведущая организация ГУП ПКИ «БашПромстройпроект», г.Уфа.

Защита состоится «29» апреля 2005 года в 15-30 на заседании диссертационного совета Д 212.289.02 при Уфимском государственном нефтяном техническом университете по адресу: 450062, Республика Башкортостан г.Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Автореферат разослан «29» марта 2005 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Денисов О. Л.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Опыт эксплуатации подземных железобетонных конструкций зданий и сооружений с агрессивными по отношению к бетону технологическими водами показывает, что в результате проливов и утечек промышленных стоков повышаются уровень грунтовых вод и их агрессивность. В этих условиях обеспечение требуемой долговечности подземных конструкций является ответственной задачей.

Одним из основных факторов, определяющих долговечность железобетонных конструкций, является проницаемость бетона. Поскольку в процессе забивки железобетонных свай бетон испытывает значительные ударные нагрузки, то следует ожидать, что его структура будет претерпевать изменения, т. е. разуплотняться. Определение степени этого разуплотнения, т. е. проницаемости бетона свай на момент воздействия агрессивной среды, позволит более точно оценить коррозионную стойкость материала в данной агрессивной среде и выбрать наиболее эффективный способ антикоррозионной защиты железобетонных свай. Кроме того, при забивке свай в грунт происходит неравномерное изменение фильтрационных характеристик грунта по длине свай. В зоне острия сваи имеет место значительное уплотнение грунтового ядра, а в верхней части сваи, вблизи поверхности земли, происходит разрыхление грунта вследствие горизонтальных перемещений свай. Учет изменения коэффициента фильтрации грунта при погружении свай также позволит уточнить выбор противокоррозионных мероприятий.

Поскольку в действующих нормативных документах не в полной мере учитываются как изменение структуры бетона свай, так и изменение фильтрационных характеристик грунта при погружении свай, то их изучение с целью уточнения прогнозирования коррозионной стойкости бетона забивных железобетонных свай является актуальной задачей.

Цель работы - исследование изменения структуры бетона при ударном нагружении и разработка эффективного метода противокоррозионной защиты забивных железобетонных свай, эксплуатирующихся в агрессивных грунтовых средах.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- проанализировать и выбрать методики для комплексного исследования структуры бетона и оценить влияние исходных свойств бетона на изменение его структуры при ударном нагружении;
- исследовать влияние ударного нагружения на коррозионную стойкость бетона в жидких кислых и сульфатных средах;
- разработать перспективные пропиточные составы на основе нефтепродуктов для антикоррозионной защиты железобетонных свай и выполнить экспериментальную оценку их эффективности в различных агрессивных средах;
- исследовать сохранность вторичной защиты при погружении конструкций в грунт и определить ее влияние на несущую способность свай по боковой поверхности;

- оценить скорость коррозии бетона в агрессивных жидких кислых средах в зависимости от степени ударного нагружения забивных свай и с учетом изменения фильтрационных характеристик грунтов после забивки свай.

Научная новизна работы

1. Выявлены роль и влияние исходных свойств бетона и технологических параметров, характеризующих процесс забивки свай, на изменение проницаемости бетона и его коррозионной стойкости в агрессивных средах.

2. На реальных свайных конструкциях проведены исследования изменения проницаемости бетона при ударном нагружении и выявлена ее зависимость от исходных прочностных и деформационных характеристик материала.

3. Впервые получены экспериментальные данные о влиянии ударного нагружения на коррозионную стойкость бетона в жидких кислых и сульфатных средах.

4. Разработаны эффективные пропиточные составы на основе нефтепродуктов для антикоррозионной защиты свай. Проведена оценка их эффективности для повышения коррозионной стойкости бетона, и выявлено влияние вторичной защиты на несущую способность свай.

5. Выполнено прогнозирование скорости коррозии бетона забивных свай в агрессивной грунтовой среде с учетом изменения структуры бетона при ударном нагружении и фильтрационных характеристик грунта после забивки свай.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

Разработаны требования к исходной плотности бетона забивных свай, которые должны обеспечить проектную долговечность свайных фундаментов.

Разработаны эффективные пропиточные составы для защиты от коррозии бетона подземных бетонных и железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в агрессивных средах.

Сформулированы предложения по дополнению главы СНиП 2.03.11-85 в части защиты от коррозии забивных свай.

Разработан комплект нормативно-технической документации по защите от коррозии бетона забивных свай методом пропитки нефтепродуктами. Всего 6 наименований. Основные из них:

1. ТУ 67.178.01-87 Сваи забивные железобетонные квадратного сечения с ненапрягаемой продольной арматурой с поверхностной пропиткой раствором мазута.

2. Технологический регламент на пропитку железобетонных свай мазутом.

3. Рекомендации по антикоррозионной защите свай методом пропитки бетона мазутом.

Результаты диссертационной работы были использованы при разработке технических условий на проектирование таких крупных объектов, как

Астраханский газоперерабатывающий комплекс и Тобольский нефтехимический комбинат. Так, при строительстве второй очереди Астраханского ГКК институтом «ЮжНИИгипрогаз» в рабочие проекты в качестве вторичной защиты от коррозии бетона забивных свай включена пропитка свай раствором мазута в объеме 800 м³, а при строительстве Тобольского НХК ПСМО «Тобол-промстрой» принята к внедрению установка для пропитки железобетонных свай, разработанная институтом «Башкирский Промстройпроект» по нашим исходным данным.

Кроме того, институтом «Моспроект-2» в 1990 г. разработано пособие по проектированию «Гидрозащита подвальных и цокольных этажей», в которое включены составы, предложенные автором (а. с. № 1701711 и а. с. № 1674506).

Результаты выполненных исследований :

- на строительных площадках 1 очереди Астраханского газоконденсатного комплекса ПСМО «Астраханьпромгазстрой» выполнена вторичная защита забивных свай методом низкотемпературной пропитки в объеме 2000 м³ с экономическим эффектом 269 тысяч рублей (в ценах 1984 г.);

- с 1988 по 1991 гг. на строительных площадках городов Москва, Сочи, Уфа выполнена антикоррозионная защита и гидроизоляция подземных бетонных и железобетонных конструкций пропиточными материалами на основе нефтепродуктов в объеме 6350 м².

- с 1993 по 1998 гг. на строительных площадках Москвы выполнена антикоррозионная защита и гидроизоляция подземных бетонных и железобетонных конструкций пропиточными материалами на основе нефтепродуктов в объеме 100 тыс. м² с экономическим эффектом более 2,0 млн. рублей.

На защиту выносятся:

- результаты исследования влияния исходных свойств бетона и технологических параметров забивки на изменение его структуры при погружении свай;

- методика комплексного исследования структуры бетона при ударном нагружении;

- данные об изменении структуры бетона при разном уровне ударного нагружения;

- результаты исследования влияния пропитки бетона мазутом на его коррозионную стойкость;

- результаты исследования сохранности вторичной защиты при забивке свай в грунт и ее влияние на изменение несущей способности забивных свай;

- результаты количественной оценки скорости разрушения бетона в агрессивных кислых грунтовых водах в зависимости от степени ударного нагружения свай и условий эксплуатации.

Апробация работы. Основные положения диссертации были доложены и обсуждены на 14 научно-технических семинарах и конференциях, в том числе на 4 международных, в городах Уфе (1982, 1983, 1985, 1986, 1987, 2003), Челябинске (1984, 1986), Свердловске (1986), Волгограде (1987, 2003), Астрахани (1988), Донецке (2003).

Публикации. Основные результаты исследований опубликованы в 34 работах. Получено 7 авторских свидетельств СССР - № 1244133 и № 1301824 за 1986 г.; № 1497982 за 1989 г.; № 1594898 за 1990 г.; № 1674506, № 1701711, № 1706164 за 1991 г.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, основных выводов, списка литературы, содержащего 170 источника, 14 приложений. Работа изложена на 164 страницах, содержит 19 таблиц и 55 рисунков.

Автор с большой теплотой и признательностью вспоминает о Петре Алексеевиче Михальчуке, бывшем заведующем сектором Центральной лаборатории коррозии бетона и железобетона НИИЖБ Госстроя СССР, который стоял у истоков данной работы, и в большой степени благодаря ему было определено основное направление этих исследований.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранного направления исследований, сформулированы цель и задачи исследований, показана их научная и практическая значимость.

В первой главе представлены обзор и анализ опубликованных работ отечественных и зарубежных авторов по коррозионной стойкости бетона забивных железобетонных свай в агрессивных грунтовых средах.

Призматические железобетонные сваи являются наиболее массовым элементом свайных конструкций, а забивка - наиболее распространенным способом их погружения. Во многих случаях они эксплуатируются на строительных площадках с агрессивными по отношению к бетону и железобетону грунтовыми водами, химический состав которых может быть весьма разнообразным и зависит от климатических условий, количества осадков, типа пород, степени загрязнения промышленными стоками. Особенно это характерно для площадок химических предприятий, которые, как правило, являются источником создания агрессивной среды.

В отличие от других конструкций забивные сваи при погружении подвергаются значительным динамическим нагрузкам, в результате чего претерпевает изменения исходная структура бетона. Возникающие в конструкции динамические сжимающие и растягивающие напряжения приводят к увеличению проницаемости бетона и создают условия для интенсивного его разрушения в агрессивных средах.

Современное представление о формировании структуры бетона и влиянии ее на прочностные и деформационные характеристики при динамическом нагружении в последние десятилетия получило развитие в исследованиях отечественных и зарубежных ученых: И. Н. Ахвердова, Ю. М. Баженова, В. В. Бабкова, В. И. Бабушкина, Ф. М. Иванова, П. Г. Комохова, В. М. Латыпова, В. М. Москвина, А. Ф. Полака, В. Б. Ратинова, П. А. Ребиндера, Б. Г. Скрамтаева, В. Ф. Степановой, А. Е. Шейкина, В. В. Яковлева, Ф. Лореха, Т. Пауэрса, С. Поповича, Ю. Сторка, Я. Ямбора и другие ученые.

Впервые на динамическую нагрузку как причину видимых и скрытых разрушений железобетонных свай указал Н. М. Герсевич.

В настоящее время на основании теории механики разрушения получены зависимости изменения трещиностойкости и прочности бетона свай при забивке. Однако эти зависимости не позволяют количественно установить степень разуплотнения бетона при нагружении, т. е. увеличение его проницаемости. Не учитывается этот фактор нормативными документами, хотя, по видимому, он оказывает решающее значение на кинетику коррозионного поражения бетона. Примером этого может служить разрушение железобетонных свай морских причальных сооружений, безремонтный срок службы которых составляет 7-12 лет. Исследования, проведенные П. А. Михальчуком, показывают, что изменение проницаемости бетона зависит от его исходной плотности и прочности и уровня динамических нагрузок. Действующей главой СНиП 2.03.11-85 при изготовлении забивных свай, предназначенных для эксплуатации в агрессивных средах, рекомендуется плотность бетона не менее В6, влияние забивки при этом не рассматривается.

В связи с изложенным актуальной является задача выявления зависимости структурных изменений бетона от его исходной плотности и условий забивки свай, характеризующихся уровнем нагружения, грунтовыми условиями. При решении данной задачи появляется возможность количественно оценить скорость коррозионного поражения бетона в агрессивных грунтовых средах после забивки свай в грунт, более целенаправленно и эффективно назначать тот или иной способ защиты с тем, чтобы обеспечить нормативный срок службы зданий и сооружений. Кроме того, следует учитывать такие факторы, как сохранность антикоррозионной защиты при погружении свай и влияние ее на изменение несущей способности по боковой поверхности.

Во второй главе приведены исходные материалы и основные положения методики исследований бетона забивных железобетонных свай.

Для исследования роли и влияния исходных свойств бетона на изменение структуры бетона при динамическом нагружении в лабораторных и натуральных условиях нами были подобраны методики, позволяющие комплексно оценить изменение проницаемости бетона при ударном нагружении. Учитывая, что основной характеристикой коррозионной стойкости является проницаемость бетона, в дальнейшем все исследования проводились на лабораторных образцах и натуральных конструкциях (сваях) плотностью бетона В4, В6, В8 (табл. 1).

Таблица 1

Физико-механические характеристики бетона

Марка бетона по водонепроницаемости	Показатели						
	П, %	W, %	K_{ϕ} , см/с	$R_{сж}$, МПа	$R_{пр}$, МПа	$E_{пр} \times 10^5$, МПа	μ
В4	21,2	6,4	$5,5 \times 10^{-9}$	27,1	22,2	0,27	0,15
В6	15,5	4,7	$1,9 \times 10^{-9}$	35,3	29,5	0,30	0,16
В8	9,1	4,2	$3,8 \times 10^{-10}$	46,9	40,8	0,34	0,17

В третьей главе представлены результаты изучения изменения структуры (проницаемости) бетона при ударном нагружении. Исследования проводились в лабораторных и натурных условиях.

Экспериментальными и теоретическими исследованиями Ю. М. Баженова, О. Я. Берга, В. В. Бабкова, В. М. Мохова, Р.И.Бурангулов и других ученых выявлено влияние технологических параметров, применяемых при изготовлении бетона, на его прочность, трещиностойкость и выносливость при многократном ударном нагружении. Эти исследования показывают, что наилучшим сопротивлением обладают бетоны с высокой плотностью, прочностью и однородностью, хорошим сцеплением между заполнителем и цементным камнем.

Ударное нагружение бетонных образцов проводилось на лабораторном копре конструкции БашНИИСтроя с массой ударной части 6,4 кг и регулируемой высотой падения. Изменение структуры бетона контролировалось ультразвуковым методом. Полученные результаты представлены на рис. 1. По результатам испытаний образцов кубов размером 7x7x7 см и призм 7x7x22 см было установлено, что разрушение бетона происходит в три этапа. На первом этапе разрушаются слабые звенья в структуре бетона и напряжения перераспределяются по всему объему. На втором этапе все сечение бетона воспри-

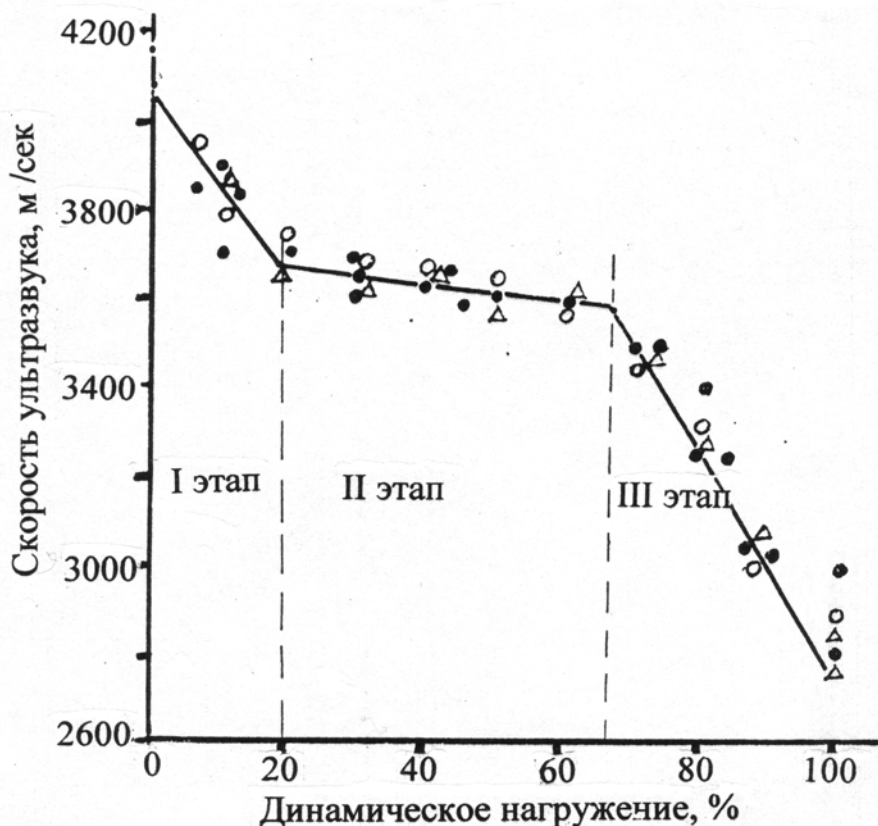


Рис.1. Скорость прохождения ультразвука через бетон различной плотности при разном уровне динамического нагружения:

● – бетон В4; ○ – В6; Δ - В8

нимает нагрузку, о чем свидетельствует стабилизация скорости распространения ультразвука, происходит накопление микротрещин в бетоне. На третьем этапе микротрещины сливаются в магистральные трещины с последующим разрушением бетона. Характер разрушения сохраняется независимо от плотности бетона. Об этом свидетельствуют результаты изменения скорости распространения ультразвука в бетоне в зависимости от количества ударов. Полученные результаты подтверждают основные положения теории механики разрушения о процессах разрушения бетона.

Необратимые (значительные) изменения структуры бетона происходят после приложения 60% нагрузки от разрушающей. Критерием этих изменений является в условиях эксперимента приращение времени прохождения ультразвука через бетон, равное 1,5 мкс. С повышением прочности и плотности бетона уменьшаются степень и объем разрушения образцов бетона их верхней части, где прикладывается ударная нагрузка. Так, например, после 100%-ного нагружения в образцах-призмах плотностью В4 наряду с разрушением образовались видимые трещины, которые распространились на половину высоты образцов. У образцов плотностью В8 раскрошился бетон в верхней части, однако трещины в бетоне не появились.

Б. В. Бахолдиным, В. В. Кречмером, Ю. И. Васильевским и другими учеными установлено, что при забивке свай в плотные грунты в голове конструкции возникают сжимающие напряжения, которые превышают предел микротрещинообразования бетона $0,7 R_{пр}$ по О. Я. Бергу. С учетом этого на сваях различной плотности и прочности были определены деформации сжатия бетона при ударе в различных сечениях от головы сваи методом тензометрии. Испытания свай длиной 6 м и сечением $0,3 \times 0,3$ м проводились на динамическом стенде БашНИИСтроя. Масса ударной части 2,5 т, высота паде-

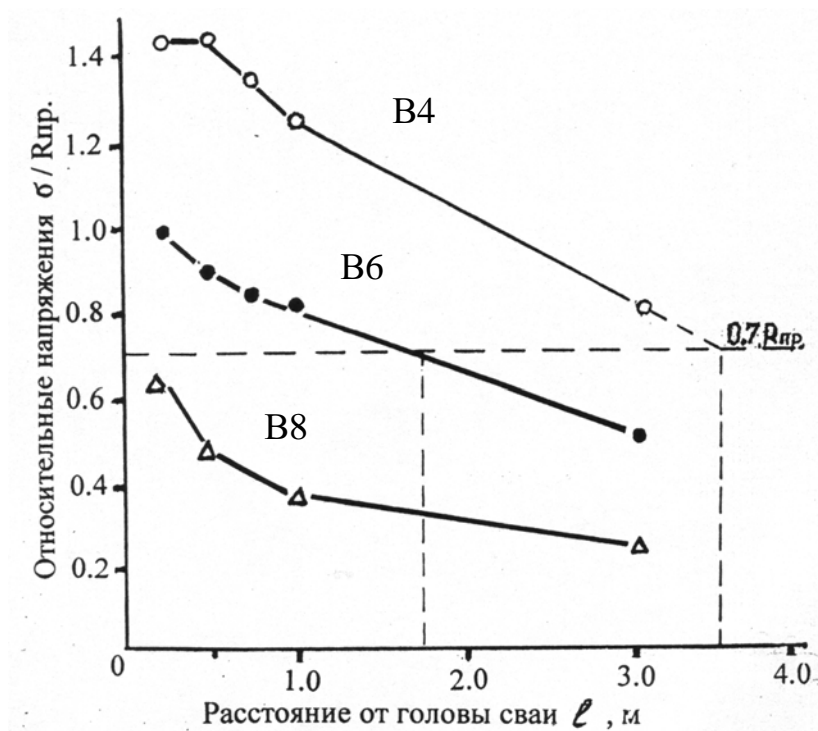


Рис. 2. Распределение напряжений в бетоне по длине свай

ния регулируемая - 0,62 м, 1,15 м и 1,55 м, основание упругое. Обобщенные результаты этих испытаний представлены на рис. 2. Анализ результатов показывает, что в голове сваи возникают максимальные деформации сжатия, уменьшаясь в направлении острия сваи. Кроме того, с повышением плотности бетона объем и степень разуплотнения бетона по длине сваи уменьшаются, о чем свидетельствуют результаты измерений скорости прохождения ультразвука через контрольные сечения свай. Полученные данные показывают, что наибольшее изменение структуры бетона происходит в верхней части сваи, уменьшаясь в направлении острия сваи. Для бетона В8 разуплотнение бетона происходит на расстоянии 0,5 м от головы сваи, для бетона В6 – примерно 1,5 м от головы сваи, а для бетона В4 – более 3 м от головы сваи.

Исследование структуры бетона проводилось неразрушающими методами: измерение скорости прохождения ультразвука через контрольное сечение конструкции; определение проницаемости бетона с помощью фильтратометра ФМ-2, а также разрушающими методами: отбор образцов в контрольных сечениях для каждого уровня нагружения. На отобранных образцах определялась остаточная прочность бетона, проводились петрографические исследования структуры бетона, оценивалась коррозионная стойкость бетона до и после ударного нагружения. Всего было испытано 156 свай длиной 6 м, сечением 0,3х0,3 м.

Контроль структуры бетона проводился через определенное количество ударов в строго фиксированных сечениях на расстоянии 0,25; 0,5; 1,0 ; 2,0; 3,0 м от верхнего торца сваи. Контрольные точки для измерений были выбраны с учетом тензометрических измерений деформаций в бетоне, а также с целью получения более точного изменения проницаемости бетона в верхней части конструкции. Испытания прекращались после разрушения головы сваи, т. е. после приложения 100%-ной ударной нагрузки на конструкцию.

Для определения количества ударов до разрушения предварительно было испытано по три сваи из бетона плотностью В4, В6, В8. Количество ударов до разрушения головы сваи для конструкций из бетона В4 составило 72.....90, для бетона В6 – 407.....526 и для конструкций из бетона В8 – 1262.....1792. Контрольные замеры проводились для бетона В4 через каждые 10 ударов, для В6 – через 50 ударов, для В8 - через 150 ударов. Исследование структуры бетона в различных сечениях свай позволило оценить влияние исходной плотности бетона на объем и степень его разрушения при ударном нагружении. Анализ полученных результатов и сопоставление их с данными на рис. 2 показали, что с повышением плотности бетона уменьшается негативное влияние ударных нагрузок на изменение структуры бетона. Аналогичные результаты получены при определении остаточной прочности и проницаемости бетона различной плотности в различных сечениях конструкции после ударного нагружения. Максимальная потеря прочности и проницаемости бетона наблюдается для свай из бетона плотностью В4 как в голове, так и по длине сваи в целом. Результаты исследования структуры бетона с помощью оптического микроскопа также подтверждают полученные ранее данные о поэтапном разрушении бетона при ударном нагружении.

Как показывают исследования, необратимое изменение структуры бетона происходит после приложения 60% нагрузки от разрушающей. При этом начало необратимых структурных изменений в бетоне соответствует приращению времени прохождения ультразвука через бетон равное 1,5 мкс. Необратимые изменения структуры зафиксированы для свай из бетона В4 на участке до 3 м от головы сваи, из бетона В6 – до 1,5 м, для свай из бетона В8 – до 0,5 м с максимальным разуплотнением в верхней части конструкции.

В лабораторных и стендовых условиях получены экспериментальные данные изменения структуры бетона при ударном нагружении (рис.3). Проведенные исследования подтвердили возможность контроля структурных изменений в бетоне забивных свай ультразвуковым методом. Оперативный контроль изменения структуры бетона позволит своевременно уточнять технологические параметры забивки свай (массу и высоту падения молота и т. п.) или исходные свойства бетона (прочность, плотность, армирование, введение

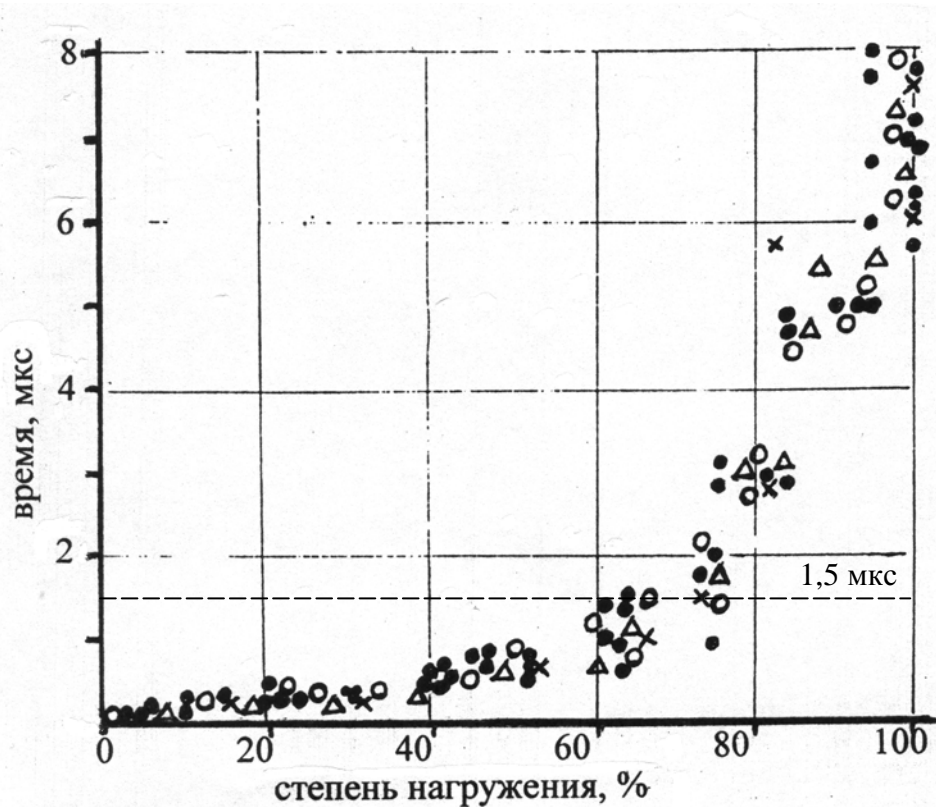


Рис. 3. Изменение времени прохождения ультразвука через бетон различной плотности при ударном нагружении:
 • – В4; о – В6; Δ – В8 – лабораторные данные,
 х – В8 – данные, стендовых испытаний

демпфирующих добавок и т. д.) с тем, чтобы выбрать оптимальные режимы погружения свай и тем самым повысить их долговечность в агрессивных грунтовых средах. Если при погружении свай в грунты суммарная ударная нагрузка на бетон сваи составляет 60-80% от разрушающей, то плотность бетона при изготовлении свай следует повышать как минимум на 2 марки или применять вторичную защиту бетона в зависимости от условий эксплуатации

(агрессивности грунтовых вод). При 80%-ной суммарной нагрузке сваю в агрессивных средах эксплуатировать нельзя. Следует корректировать технологические режимы погружения.

В четвертой главе обоснован выбор метода и разработан состав для защиты бетона забивных железобетонных свай в агрессивных грунтовых средах, а также проверена сохранность покрытия при забивке и исследовано его влияние на несущую способность свай по боковой поверхности.

Натурные испытания забивных железобетонных свай в различных грунтовых условиях показывают, что поверхностное покрытие при забивке может растрескиваться или отслаиваться от бетона под воздействием ударных нагрузок, а также в результате его трения о грунт. Сохранность защитных покрытий после забивки оценить достаточно сложно ввиду трудоемкости работ по вскрытию фундаментов, особенно в условиях действующих предприятий.

С учетом возможности повреждения поверхностных покрытий при забивке свай наиболее перспективным способом защиты забивных свай может быть пропитка бетона на глубину 5-10 мм.

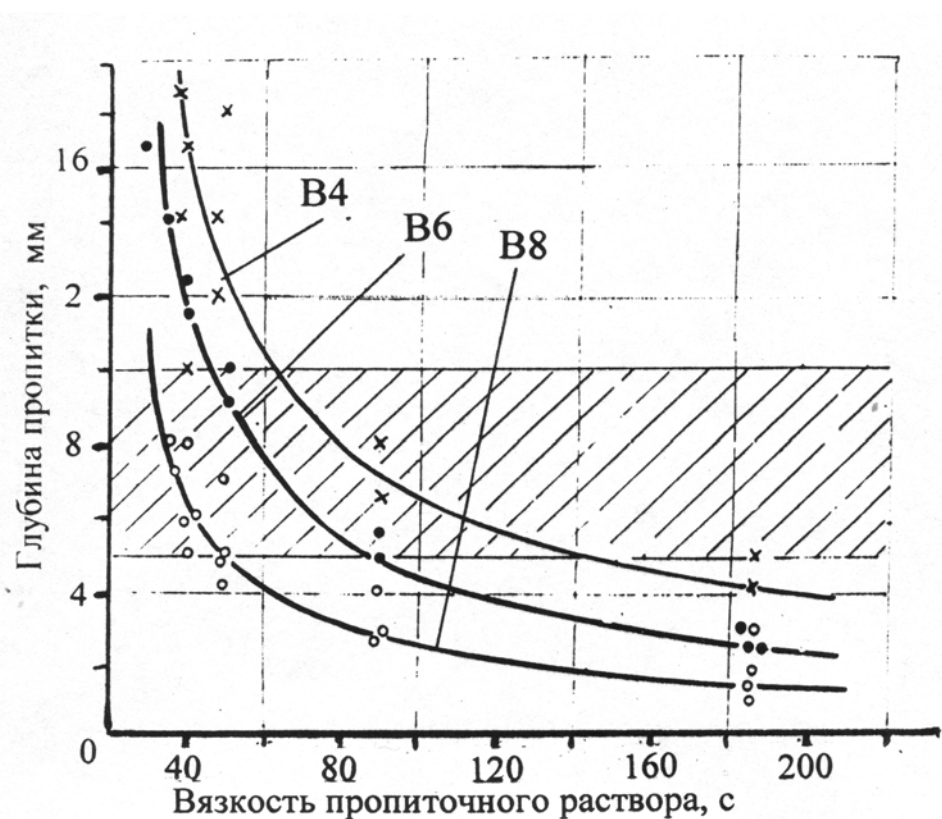


Рис. 4. Изменение глубины пропитки бетонов в зависимости от вязкости пропиточного раствора. (Время пропитки – 12 часов)

Для пропитки свай из большого спектра нефтепродуктов, производимых в Республике Башкортостан, был выбран топочный мазут как наиболее

доступный и относительно дешевый материал с относительно стабильными свойствами. В лабораторных условиях на образцах-кубах размером 10x10x10 см, плотностью бетона В4, В6, В8 определена оптимальная вязкость раствора мазута, позволяющая обеспечить глубину пропитки плотных бетонов не менее 5 мм за 12 часов при нормальной температуре и атмосферном давлении (рис. 4). По результатам исследований предложен следующий режим пропитки: рабочая вязкость состава 50 с по вискозиметру ВУ, длительность пропитки для бетона плотностью В4 – 6, для В6 - 9, для В8 – 12 часов.

Одновременно оценивалось влияние пропитки бетона на изменение его основных свойств. В результате проведенных исследований было получено:

- водопоглощение бетона, пропитанного мазутом, уменьшается примерно в 3-4 раза;
- ударостойкость возрастает в 1,5 раза при незначительном снижении прочности;
- плотность пропитанного слоя бетона повышается на 2-3 марки по водонепроницаемости.

При определении скорости прохождения ультразвука через пропитанные и непропитанные бетонные призмы размером 7x7x22 см при ударном нагружении установлено, что у образцов, пропитанных мазутом, проницаемость бетона ниже, чем у контрольных образцов, во всех сечениях.

Немаловажное значение имеет тот факт, что при забивке свай в плотные грунты возможно нарушение сплошности (целостности) покрытия. Исследование сохранности покрытий при трении боковой поверхности свай о грунт проводилось в лабораторных и натуральных условиях. Как показывают исследования отечественных и зарубежных авторов, а также результаты наших исследований, при погружении свай давление грунта на боковую поверхность конструкции может достигать 0,5 МПа. При этом следует отметить, что после забивки в верхней части свай на глубину 1-1,5 м от дневной поверхности между сваей и грунтом образуется воздушный зазор. Поэтому условия воздействия агрессивной среды на бетон по длине свай будут различными.

Для исследований были приняты наиболее распространенные покрытия - битумная и эпоксидная обмазка поверхности бетона и пропитка мазутом. Лабораторные испытания проводились при сдвиге покрытия по песчаному и глинистому грунту (различной влажности) при боковом давлении 0,2; 0,3 и 0,5 МПа. Результаты испытаний показали, что в песчаных грунтах при трении покрытия о грунт возможно его нарушение. Так, в лабораторных условиях было установлено, что целостность битумного покрытия нарушается при давлении грунта на боковую поверхность сваи более 0,2 МПа. На эпоксидном покрытии при давлении грунта 0,5 МПа имеются царапины от абразивных частиц песка. Аналогичные результаты были получены при забивке свай в песчаные грунты. Кроме того, в голове сваи на расстоянии 0,5 м произошло растрескивание и отслаивание эпоксидного покрытия от бетона. Разрушение эпоксидного покрытия связано с деформациями, возникающими при ударном нагружении в верхней части сваи. Нарушений покрытия на остальной части

свай не имелось. При испытании образцов и свай в глинистых грунтах нарушения покрытия не обнаружено.

Учитывая большой разброс в мнениях по вопросу несущей способности свай с покрытиями, а также требования СНиП 2.03.11-85 по контрольной забивке свай с покрытиями, для уточнения их несущей способности нами на полигоне БашНИИСтроя проведено испытание свай с различными покрытиями на несущую способность. Результаты испытания свай при выдергивании, представленные в табл. 2, показывают, что несущая способность свай с эпоксидным покрытием в глинистых грунтах снизилась примерно в 2 раза, с битумным покрытием на одну треть. Несущая способность свай, пропитанных мазутом, практически не снизилась. По-видимому, пропитка свай мазутом не влияет на шероховатость поверхности бетона свай и, следовательно, на величину сцепления поверхности конструкции с грунтом.

Таблица 2

Результаты испытания несущей способности свай по боковой поверхности

Показатели	Свая без вторичной защиты	Вид защиты		
		пропитка мазутом	обмазка битумом	эпоксидное покрытие
Выдергивающее усилие, тс	28	26,5	19,5	14,5
Снижение несущей способности, %	-	5	30	48

В пятой главе приведены результаты исследования коррозионной стойкости бетона до и после ударного нагружения, а также бетона, пропитанного мазутом, в наиболее распространенных по агрессивности грунтовых водах.

Исследование влияния плотности и пропитки бетона нефтепродуктами на его коррозионную стойкость в агрессивных средах проводилось с учетом изменения его проницаемости при динамическом нагружении. Испытания образцов, отобранных после динамического нагружения в контрольных сечениях из призм и свай, проводилось в 10%-ном растворе сульфата натрия. По удлинению образцов оценивалась их коррозионная стойкость. Результаты, представленные на рис. 5, показывают, что наибольшие деформации бетона в растворе сульфата натрия характерны для образцов, отобранных из головы свай.

Максимальное удлинение образцов получено при нагрузке 80% и более. Учитывая особенности методик испытания и сложность отбора пропитанных образцов из свай, коррозионная стойкость пропитанного бетона оценивалась на цементно-песчаных образцах ($\rho : \pi = 1 : 3$, $v/\rho = 0,5$) в жидких кислых и сульфатных средах. Результаты испытаний представлены на рис. 6 и 7.

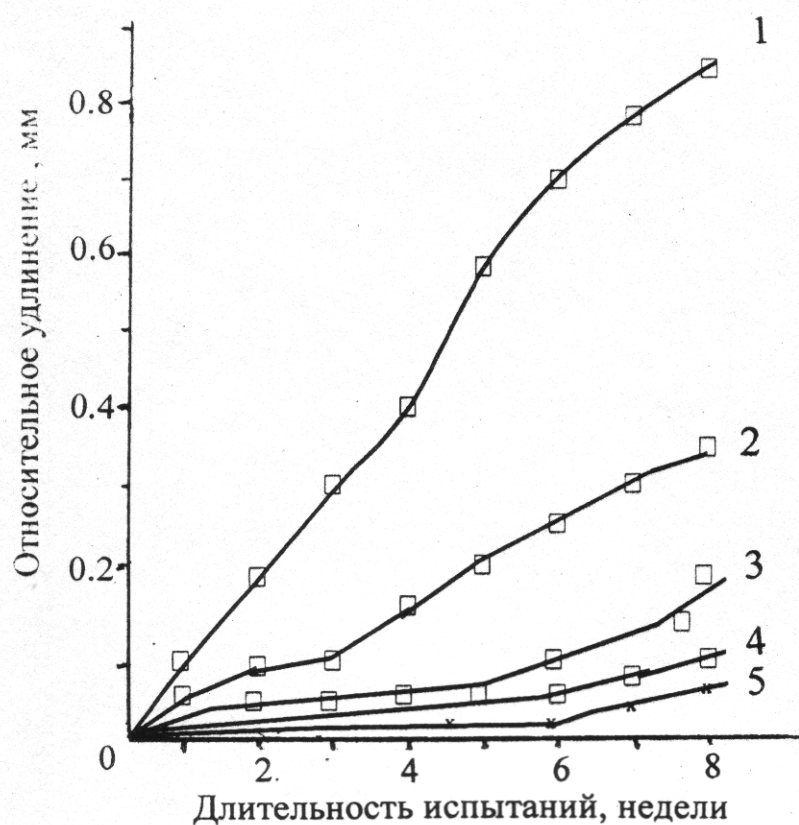


Рис. 5. Относительные деформации образцов бетона плотностью В8, отобранных из свай на расстоянии от верхнего торца: 1 – 0,25 м; 2 – 0,5 м; 3 – 1,0 м; 4 – 2,0 м; 5 – 3,0 м (степень нагружения 80%)



Рис. 6. Кинетика коррозионного поражения пропитанных и непропитанных цементно-песчаных образцов в 0,1%-ном растворе соляной кислоты (L - глубина коррозионного поражения)



Рис.7. Влияние пропитки раствором мазута на величину деформаций цементно-песчаных образцов при выдерживании их в 4,4 %-ном растворе сульфата натрия

Анализ показывает, что пропитка бетона раствором мазута повышает его коррозионную стойкость в жидких кислых средах в 3 раза, в сульфатных средах в 3-4 раза. Кроме того, проводились испытания в солевом растворе при наличии испаряющей поверхности. Коррозионная стойкость в солевых средах повысилась в 1,5-2,0 раза.

В шестой главе представлены результаты прогнозирования коррозионной стойкости бетона после погружения свай в грунт, в том числе бетона, пропитанного мазутом, предложения по дополнению и уточнению главы СНиП 2.03.11-85 и результаты внедрения.

Выполнен расчет глубины коррозионного поражения пропитанного и непропитанного бетона для верхней и нижней частей свай. При расчете принимались во внимание изменение проницаемости бетона при динамическом нагружении, изменение коэффициента фильтрации у поверхности земли и на глубине, а также вид и степень агрессивности водосреды. Оценочные расчеты коррозионной стойкости свай показывают, что глубина коррозии бетона в жидких кислых средах при прочих равных условиях неодинакова для различных участков свай. Вследствие нарушения структуры бетона и разуплотнения грунта при забивке свай можно ожидать, что глубина коррозии бетона верхней части (несколько ниже дневной поверхности) будет примерно в 6 раз больше, чем бетона нижней части свай (у острия). Пропитка раствором мазута уменьшает глубину поражения бетона примерно в 3 раза.

Полученные результаты позволили сформулировать предложения по дополнению главы СНиП 2.03.11-85 в части антикоррозионной защиты забивных железобетонных свай. При эксплуатации свай в агрессивных грунтовых

условиях исходная плотность бетона должна быть повышена до В8. При сильной степени агрессивности грунтовых вод необходима вторичная защита верхней части свай на глубину до 2 м от дневной поверхности в виде покрытий или пропитки бетона коррозионно-стойкими составами.

Результаты исследований реализованы в виде разработанных технических условий на сваи забивные железобетонные, пропитанные мазутом; технологического регламента на пропитку свай; исходных данных для проектирования пропиточной установки; рекомендаций по применению пропиточных составов.

Результаты работы внедрены при строительстве I и II очереди Астраханского газоконденсатного комплекса в объеме 2000 м³ железобетона с экономическим эффектом 269 тыс. рублей (в ценах 1984 г.); с 1993 по 1998 гг. на объектах г. Москвы в объеме 100 тыс. м² поверхности подземных бетонных и железобетонных конструкций с экономическим эффектом 2 млн. рублей в текущих ценах, а также в городах Уфе и Сочи в объеме 6300 м² поверхности подземных бетонных и железобетонных конструкций. В 1990 г. институтом «Моспроект-2» разработано пособие по проектированию «Гидрозащита подвальных и цокольных этажей», в которое включены разработанные автором составы. Суммарный экономический эффект от внедрения составил более 5,0 млн. рублей.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ литературных источников показал, что основные дефекты в структуре бетона и нарушение сплошности поверхностных покрытий возникают в результате несовершенной технологии забивки свай в грунт и отклонения от требуемых технологических параметров изготовления свай. В частности, при недостаточной плотности бетона и жестких режимах забивки происходит массовое разрушение голов свай, проявляющееся в виде сколов бетона и продольных трещин, распространяющихся в теле свай.

2. Установлено, что напряжения в бетоне, возникающие при забивке свай, достаточно часто превышают прочность бетона при растяжении. Это вызывает образование трещин в структуре, разуплотнение бетона и повышение его проницаемости. Необратимые изменения, т. е. накопление остаточных деформаций в бетоне, начинаются при приложении на сваи более 60% предельной ударной нагрузки, при которой происходит видимое разрушение бетона в голове свай.

3. Наибольшее разуплотнение бетона свай при их забивке имеет место в голове свай, уменьшаясь в направлении острия конструкции. С повышением плотности и прочности бетона уменьшается объем разуплотнения бетона. Так, при приложении максимальной нагрузки, соответствующей пределу выносливости бетона при ударном воздействии, изменение структуры материала в сваях, изготовленных из бетона плотностью В4, зафиксировано на участке длиной до 3 м от головы свай, а в сваях из бетона В6 и В8 - 1,5 и 0,5 м соответственно.

4. Для защиты бетона свай от коррозии предложен метод пропитки бетона раствором мазута в керосине при нормальной температуре и атмосферном давлении. Установлено, что для обеспечения необходимой глубины пропитки плотных бетонов (более 5 мм), обеспечивающей эффективную противокоррозионную защиту свай, вязкость пропиточного раствора должна быть не выше 50 с по вискозиметру ВУ, а длительность процесса пропитки около 12 часов.

5. Пропитка бетона раствором мазута повышает его ударостойкость в среднем на 50%, снижает объем и степень разуплотнения его структуры. Коррозионная стойкость бетона после пропитки возрастает:

- в жидких кислых и сульфатных средах более чем в 3 раза;
- в засоленных грунтах при наличии испаряющей поверхности в 1,5...2 раза.

Пропитка бетона раствором мазута практически не снижает несущую способность свай по боковой поверхности (снижение не более 5%), в то время как обмазка свай горячим битумом снижает несущую способность на 30%, а нанесение эпоксидного покрытия - примерно в 2 раза. Кроме того, при забивке свай в абразивные грунты возможно нарушение сплошности битумных и эпоксидных покрытий поверхности бетона.

6. Оценочные расчеты коррозионной стойкости свай показывают, что глубина коррозии бетона в жидких кислых средах при прочих равных условиях неодинакова для различных участков сваи. Вследствие нарушения структуры бетона и разуплотнения грунта при забивке свай можно ожидать, что глубина коррозии бетона верхней части сваи (несколько ниже дневной поверхности) будет в 6 раз больше, чем бетона нижней части сваи (у остря). Пропитка раствором мазута уменьшает глубину поражения бетона примерно в 3 раза.

7. Разработаны предложения по дополнению главы СНиП 2.03.11-85 в части защиты от коррозии бетона забивных железобетонных свай. Предложено повысить марку бетона по водонепроницаемости до В8. В сильноагрессивной среде предлагается вторичная защита верхней части свай на глубину до 2 м от дневной поверхности. Защита может быть выполнена в виде покрытий или пропитки бетона коррозионно-стойкими составами.

8. Результаты исследований внедрены при строительстве Астраханского газоконденсатного и Тобольского нефтехимического комбинатов, гражданских и промышленных зданий и сооружений в Республике Башкортостан, г.Москве, Сочи. Общий экономический эффект составил более 5,0 млн. рублей. В процессе внедрения был разработан комплект нормативно-технической документации на пропитку бетона раствором мазута (всего 6 наименований). Получено 7 авторских свидетельств на изобретения.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Дедков В. И. Антикоррозионная защита свайных фундаментов методом пропитки // Оптимизация технологии производства бетонов повышенной прочности и долговечности: Тез. докл. Первой респ. науч.-практ. конф. - Уфа, 1983. - С. 71-72.

2. Дедков В. И., Гельфман Г. Н. Особенности технологии пропитки бетона нефтепродуктами // Совершенствование технологии производства бетонов повышенной прочности и долговечности: Тез. докл. Второй респ. науч.-практ. конф. - Уфа, 1985. - С. 148-150.

3. Дедков В. И. Повышение долговечности забивных железобетонных свай // Повышение стойкости строительных материалов и защита от коррозии строительных конструкций и технологического оборудования: Тез. докл. и сообщ. науч.-техн. семинара. - Челябинск, 1986. - С. 52-53.

4. Дедков В. И., Михальчук П. А., Колесник Г. С. Особенности обеспечения долговечности забивных свай в агрессивных средах // Повышение долговечности строительных конструкций и материалов: Тр. НИИпромстроя. - Уфа, 1987. - С. 22-30.

5. Дедков В. И. Исследование влияния технологических и монтажных факторов на долговечность забивных свай в агрессивных грунтовых средах // Повышение долговечности строительных конструкций в агрессивных средах: Тез. докл. науч.-техн. семинара. - Уфа, 1987. - С. 56-57.

6. Дедков В. И., Михальчук П. А. Особенности взаимодействия бетона свай после забивки с агрессивной средой // Исследование прогрессивных конструкций свайных фундаментов: Тр. НИИпромстроя. - Уфа, 1989. - С. 117-127.

7. Дедков В. И., Михальчук П. А. Исследование коррозионной стойкости бетона забивных свай в агрессивной среде // Вопросы повышения долговечности строительных конструкций в агрессивных средах: Тр. НИИпромстроя. - Уфа, 1989. - С. 80-84.

8. Дедков В. И., Михальчук П. А. Ультразвуковое исследование структуры бетона свай в процессе забивки // Исследование местных строительных материалов: Тр. НИИпромстроя. - Уфа, 1990. - С. 86-91.

9. Дедков В. И., Колесник Г. С. Исследование сохранности защитных покрытий для свай при забивке и влияние их на несущую способность // Исследование прогрессивных видов фундаментов: Тр. НИИпромстроя. - Уфа, 1990. - С. 130-138.

10. Яковлев В. В., Дедков В. И., Михальчук П. А. Прогнозирование коррозионной стойкости бетона забивных свай в агрессивных грунтовых водах // Прогрессивные технологические и инвестиционные процессы в строительстве: Тр. Рос. инж. академии. Секция «Строительство». - М: РИА, 2003. - Вып.4. - ч. II. - С. 146-158.

11. Дедков В. И. Долговечность забивных свай в агрессивных грунтовых водах // Надежность и долговечность строительных материалов и кон-

струкций: Матер. III Междунар. науч-техн. конф. - Волгоград: ВГАСА, 2003. - С. 141-143.

12. Дедков В. И., Михальчук П. А., Яковлев В. В. Особенности оценки коррозионной стойкости забивных железобетонных свай в агрессивных грунтовых средах //Проблемы строительного комплекса России: Матер. VII Междунар. конф. - Уфа: УГНТУ, 2003. - С. 81-82.

13. Дедков В. И., Яковлев В. В. Исследование коррозионной стойкости бетона забивных железобетонных свай в агрессивных грунтовых средах //Защита от коррозии и мониторинг остаточного ресурса промышленных зданий, сооружений и инженерных сетей: Матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Донецк, 2003. - С. 134-138.

14. А. с. № 1244133 СССР Композиция для пропитки бетона / Г. Н. Гельфман, В. В. Яковлев, В. И. Дедков, Ф. В. Барон – заявл.01.06.83; опубл. 15.03.86, Бюл. № 26.

15. А. с. № 1301824 СССР Композиция для пропитки бетона /В. И. Дедков, В. В. Яковлев, Г. Н. Гельфман, В. А. Либерман., Л. А. Ахметова – заявл. 20.02.85, опубл. 08.12.87. - № 13.

16. А. с. № 1497982 СССР Композиция для пропитки бетона / В. В. Яковлев, В. И. Дедков В. А. Шашков, П. А. Михальчук, Г. С. Колесник – заявл.24.08.87; опубл. 01.04.89, Бюл. № 28.

17. А. с. № 1594898 (СССР) Композиция для обработки бетонных конструкций / В. И. Дедков и др. – заявл. 01.07.88; опубл. 22.05.90, № 35.

18. А. с. № 1674506 СССР Композиция для гидроизоляции строительных конструкций / В. И.Дедков и др. – заявл. 27.10.89; опубл. 01.05.91, Бюл. № 32.

19. А. с. № 1701711 СССР Композиция для обработки поверхности бетонных и железобетонных конструкций / В. И.Дедков и др. – заявл. 25.12.89; опубл. 01.09.91, Бюл. № 48.

20. А. с. № 1706164 СССР Композиция для гидроизоляции и герметизации стыков / В. И. Дедков и др. – заявл. 27.10.89.; опубл. 15.09.92, Бюл. № 2.