

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОРТОВЫХ ПРИЧАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ВИДЕ ТОНКИХ СТЕНОК

Рубцова Ю.А., Мишутин А.В.

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса*

Эффективная техническая эксплуатация морских и речных портовых гидротехнических сооружений должна обеспечивать работоспособность объектов в течение всего срока службы при их наиболее безопасном и безаварийном использовании по прямому назначению.

Для поддержания работоспособности сооружений должен предусматриваться комплекс организационных и инженерно-технических мероприятий по соблюдению установленного режима эксплуатации, а также требований по оптимальному техническому обслуживанию и ремонту.

В свою очередь, для создания и эффективного функционирования портовых гидротехнических сооружений необходимы информационная и технологическая основы – данные о техническом состоянии сооружений, современная научно-исследовательская база гидротехнического строительства и производства строительных материалов, разработка индивидуальных инженерных решений при проведении ремонтно-восстановительных работ для каждого объекта с учетом природно-климатических факторов, особенностей конструктивных схем и условий эксплуатации.

В процессе выполнения работ должны использоваться неразрушающие методы контроля технического состояния сооружения, а также инновационные методы анализа современного технического и деформативного состояния конструктивных элементов, позволяющие оценить их долговечность и спрогнозировать срок службы.

При исследовании работы сооружения используются численные методы математического моделирования, позволяющие усовершенствовать расчетные схемы и оценить фактические резервы (дефициты) несущей способности.

В данной статье рассматриваются гидротехнические сооружения в виде тонкой стенки, которые представлены следующими конструктивными решениями (рис. 1):

- уголковые стенки контрфорсного типа;
- уголковые стенки с внешней анкерровкой, имеющие в вертикальной плоскости две опоры: верхнюю - в точке крепления анкера и нижнюю - на низком пороге фундаментной плиты;
- уголковые стенки с внутренней анкерровкой;
- из оболочек большого диаметра.

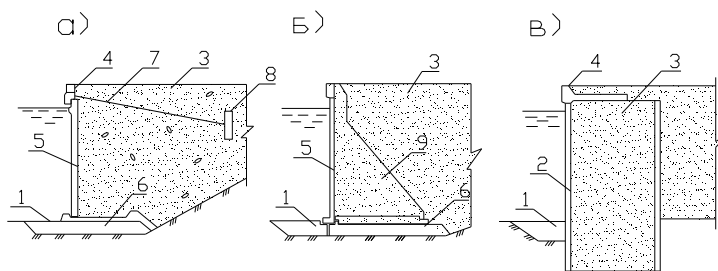


Рис. 1. Типы причальных сооружений уголкового типа:

а - уголкового типа с внешней анкерровкой; б - уголкового типа, контрфорсное; в - из оболочек большого диаметра; 1 - каменная постель; 2 - разгрузочная каменная призма; 3 - песчаная засыпка; 4 - надстройка; 5 - лицевая стенка уголкового блока; 6 - фундаментальная плита; 7 - анкерная тяга; 8 - анкерная плита (стенка); 9 - контрфорс; 10 - оболочка большого диаметра.

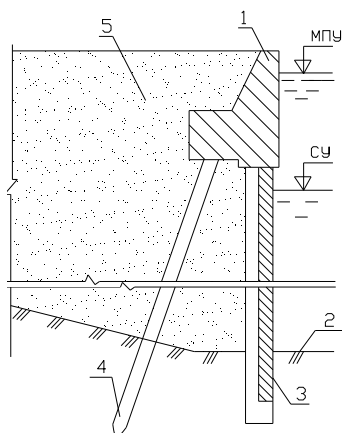


Рис. 2. Стена из железобетонного таврового или прямоугольного шпунта с наклонными анкерующими сваями:

- 1 - верхнее строение из сборно-монолитного железобетона;
- 2 - проектное дно;
- 3 - шпунт прямоугольного или таврового сечения;
- 4 - железобетонная свая;
- 5 - засыпка песчаным грунтом.

Сооружения уголкового типа из сборных железобетонных блокомодулей с внутренней анкерровкой или с контрфорсами монтируют из

укрупненных блоков (рис. 2), смонтированных на берегу из отдельных элементов.

Для реализации задач мониторинга технического состояния существующих конструкций необходим обзор имеющихся методов обследования и разработка индивидуальных решений для конкретных объектов.

Инженерные обследования портовых гидротехнических сооружений в виде тонких стенок (далее по тексту сооружений) проводятся с целью /1/:

- обнаружения и фиксации дефектов, определения их категории;
- определения сохранности и технического состояния элементов сооружения по установленной классификации;
- определения технического ресурса и физического износа сооружения в целом;
- оценки объемов работ для выяснения видов, сроков и способов выполнения операций ремонта;
- определения возможности проведения технического перевооружения или необходимости реконструкции;
- прогнозирования оптимальных сроков дальнейшей эксплуатации и определения режима эксплуатации сооружения.

В общем случае при инженерном обследовании сооружения необходимо предусматривать выполнение следующих основных работ:

- подбор и изучение проектной, исполнительной и др. технической документации, а также материалов предыдущих обследований;
- инструментальные наблюдения за перемещениями и кренами с использованием высокоточных средств измерения;
- наблюдения за местными деформациями и определение причин их возникновения;
- исследование материалов конструктивных элементов;
- надводное обследование конструктивных элементов;
- подводное (водолазное) обследование конструкции;
- изучение поверхностных грунтов на акватории, а также состояния дна, примыкающего к сооружению;
- анализ данных о нагрузках, действовавших на сооружение за время эксплуатации между предыдущим и выполняемым обследованиями, а также определение интенсивности эксплуатационных нагрузок в период обследования;
- обработка и анализ результатов обследования, выполнение поверочных расчетов;
- разработка рекомендаций по дальнейшей эксплуатации, определение необходимости уточнения инженерно-геологических, гидрологических и др. условий, а также проведения испытаний сооружения или его элементов;
- определение объемов и номенклатуры ремонтно-восстановительных работ, составление дефектных ведомостей, разработка рациональных способов выполнения ремонтно-восстановительных работ, в т.ч. анализ необходимых строительных материалов; оформление отчетных материалов.

#### ***Краткая методика выполнения работ***

Техническое обследование конструкций и камеральная обработка результатов выполняется в соответствии с требованиями нормативных документов. /2, 3/.

Подготовительные работы. Разбивка пикетов (через 10,0м) и маркировка полупикетов (через 5,0м) выполняется краской. Начало отсчета принимается от сопряжения с выбранным причалом.

#### Геодезические измерения.

Базисные измерения проводятся теодолитом Т5 по двум временным точкам А, В. Определение планового положения линии кордона осуществляется, в основных случаях, по пикетам с шагом 10,0м. Практическая точность базисных измерений – 3мм.

Для определения высотного положения обычно используют репер Рпб/н. Измерения производятся с использованием нивелира Н-3 по двум сторонам рейки – по поперечным профилям /4/. Практическая точность измерений – 3мм. Отметки даны в Балтийской системе высот.

Надводное обследование. Выполнено с борта надувного плавсредства, с использованием фото- и видеосъемки. Привязка и обмеры конструктивных элементов причала, элементов обустройства, рельсовых путей и др. выполнялись при помощи металлической рулетки.

Подводное обследование. Очистка элементов конструкции от обрастания произведена выборочно, вручную. Обследование подводной части причала выполнено силами легководолазной станции с борта надувного плавсредства. Обследование надводной и подводной частей сооружения выполнено при помощи специальной установки технического зрения. Промеры глубин выполнены с помощью ручного лота.

Определение технического состояния и прочностных характеристик элементов сооружений было проведено неразрушающим методом контроля с помощью молотка Шмидта, принцип механического действия которого основан на измерении упругого отскока ударника при постоянной величине кинетической энергии металлической пружины. /4/ Взвод и спуск бойка осуществляются автоматически при соприкосновении ударника с испытываемой поверхностью. Величину отскока бойка фиксирует указатель на шкале прибора. К приборам аналогичного принципа действия относятся: эталонный молоток Кашкарова, молоток Шмидта, молоток Физделя, пистолет ЦНИИСКА, молоток Польди и др. Эти приборы дают возможность определить прочность материала по величине внедрения бойка в поверхностный слой конструкций или по величине отскока бойка от поверхности конструкции при нанесении калиброванного удара (пистолет ЦНИИСКА). Преимущество приборов такого механического действия заключается в том, что они позволяют определить

прочность железобетонных конструкций малой толщины и высокого процента армирования.

В инженерной практике широкое применение получили приборы физического действия. Эти методы могут быть разделены на следующие основные виды: ультразвуковой импульсный, метод волны удара, резонансный и радиометрический.

*Ультразвуковой импульсный метод контроля прочности бетона* основан на измерении распространения в бетоне продольных ультразвуковых волн и степени их затухания. По заранее составленным графикам зависимости скорости ультразвука от прочности бетона данного состава определяют прочность контролируемой конструкции. Наибольшее распространение на практике получили приборы: УК-ЮП, УК-16П и УК-12П.

*Контроль прочности бетона методом удара волны* основан на измерении скорости распространения в бетоне продольных волн, вызванных механическим ударом. Для испытания бетона этим методом разработан ряд приборов (ПИК-6, «Удар-1», «Удар-2», МК-1 и др.), выпуск которых осуществляется небольшими партиями.

*Резонансный (вибрационный) метод* контроля прочности бетона конструкции основан на определении частоты собственных колебаний и характеристики их затухания. Для данного метода контроля прочности бетона используют приборы: измеритель амплитудного затухания ИАЗ, ПИК-8, конструкции Союздорнии и др.

*Радиометрический метод* испытания заключается в измерении интенсивности потока радиоактивных лучей, проходящих через исследуемое изделие. По изменению интенсивности  $\gamma$ -лучей судят о средней плотности бетона и других характеристиках. Этот метод находит также применение для выявления скрытых дефектов в железобетонных конструкциях.

#### **Определение технического состояния бетонных и железобетонных конструкций**

Визуальные наблюдения должны включать в себя определение состояния поверхности элементов, размеров и ориентирования трещин, характера и местоположения коррозионных разрушений, состояния защитных покрытий, а также дефектов, вызванных механическими воздействиями. /3/

Осмотр сооружений в пределах участка рекомендуется проводить в горизонтальном направлении. В случае, когда зоны осмотра располагаются вертикально и для обследования элементов водолазу необходимо опускаться и всплывать, осмотр рекомендуется проводить в вертикальном направлении. При недостаточной видимости, когда возможна потеря ориентации, участки осмотра дополнительно разбивают на вертикальные зоны с использованием для ориентации переносных тросов с грузами.

Для измерения наклона сооружения используется ручной лот и линейка или уклонометры. При измерениях с использованием лота водолаз, перемещаясь по вертикальному ходовому тросу, замеряет мерной линейкой расстояния от линии ручного лота до соответствующих точек лицевой стенки сооружения. При наклоне сооружения в сторону акватории лот опускают с линии кордона. Водолаз мерной линейкой замеряет расстояние между линем и стенкой в характерных точках. Точки, в которых делаются замеры, наносят на лине заранее с учетом особенностей конструкции и глубин у сооружения.

При наклоне стенки в сторону берега на поверхность надстройки перпендикулярно линии кордона укладывают рейку и через ее конец пропускают лить отвеса.

Замеры на стенках, покрытых обрастаниями, выполняют при помощи линейки с заостренным концом.

При необходимости образцы бетона из сооружения следует отбирать с целью определения его состава, механических и физических характеристик, химического состава цементного камня, степени карбонизации бетона, степени коррозии арматуры. Образцы могут быть в виде кернов или монолитов. Места взятия образцов должны быть заделаны мелкозернистым бетоном, марка которого по прочности должна быть на ступень выше класса бетона конструкции.

В соответствии с работами В. М. Москвина /5/ коррозия бетона в жидкой среде подразделяется на три основных вида.

Для первого вида коррозии, протекающей в воде малой жесткости, характерно растворение некоторых компонентов твердой фазы бетона и одновременный отвод продуктов растворения изнутри порового пространства во внешнюю среду, что сопровождается постепенным разрушением цементного камня.

Для второго вида коррозии характерна способность молекул или ионов внешней среды вступать в химическую реакцию с молекулами или ионами исходного растворенного вещества. В данном случае агрессивное вещество, проникая в поровое пространство бетона, усиливает процесс коррозии, который получил название «коррозии бетона в агрессивной жидкой среде».

Для третьего вида коррозии характерно образование продуктов химической реакции в кристаллическом виде.

Для конструкций всех типов гидротехнических сооружений существуют установленные нормативные показатели технического состояния элементов, соблюдение которых обеспечит эффективную работу всего комплекса /6/. Эти показатели для сооружений в виде тонких стенок приведены в таблице 1.

С целью соблюдения условий для нормальной эксплуатации и эффективного функционирования гидротехнических сооружений необходимо /7/ проводить их инженерную диагностику, включающую: определение состояния строительных объектов, их физических или теоретических моделей, проектных решений при возможных или фактических условиях эксплуатации, повреждениях или разрушениях

В качестве основных областей исследования инженерной диагностики необходимо назвать: диагностику проектных решений эксплуатируемых и возводимых сооружений, теоретических и физических моделей

конструкций и их оснований.

Для железобетонных конструкций гидротехнических сооружений выделяются следующие виды дефектов, возникающие:

а) на стадии изготовления, транспортировки и монтажа:

технологические трещины усадочного происхождения;

дефекты бетонирования (раковины, каверны, обнажения арматуры);

сколы бетона, силовые трещины, возникшие из-за нарушения технологии транспортных или монтажных операций.

б) под действием эксплуатационных факторов:

силовые трещины (поперечные в растянутых элементах и в растянутых зонах изгибаемых элементов, продольные в сжатых элементах и в сжатых зонах изгибаемых элементов, косые в стенках балок, трещины от местного действия нагрузки в местах опирания);

температурные трещины;

трещины вдоль арматуры, возникающие вследствие ее коррозии;

коррозионные разрушения (шелушение поверхности бетона, обнажение крупного заполнителя, разрушение структурных связей в бетоне), вызванные взаимодействием с химически агрессивной средой или физическим воздействием среда (переменное увлажнение - высыхание, замораживание - оттаивание).

Таблица 1

Показатели технического состояния сооружений  
в зависимости от имеющихся дефектов

Наименование элемента	Вид дефекта	Показатели состояния элементов	
		удовлетворительное	аварийное
Лицевая плита уголкового блока (№5 рис. 1)	Изменение положения в пространстве: - отклонение от вертикали	До 1,3 %	Более 2 % и устанавливается по степени влияния на условия эксплуатации
	Уступы между поверхностями лицевых плит	До 50 мм с сохранением грунтонепроницаемости	Нарушение грунтонепроницаемости
	Зазор между торцами лицевых плит	Не более 40 мм при условии сохранения грунтонепроницаемости	Нарушение грунтонепроницаемости
	Трещины в бетоне	Раскрытием до 0,5 мм	Сквозные по всей ширине плиты
Фундаментная плита уголкового блока (№9 рис1)	Снижение прочности бетона	Не более чем на 20 % от проектной величины	Более чем на 40 % от проектной величины

• **Требования к строительным материалам и составам, используемым для ремонтных работ для гидротехнических сооружений в виде тонких стенок**

После получения и обработки данных о прочности железобетонных конструкций сооружения в виде тонких стенок, необходимо сравнить результаты обследования и измерения с нормативными требованиями к показателям качества бетона тонких стенок, основными из которых являются следующие /6/:

– классы бетона по прочности на сжатие: B5, B7,5, B10, B12,5, B15, B20, B25, B30, B35;

– марки бетона по морозостойкости: F50, F75, F100, F150, F200, F300, F400, F500, F600 (Для Юга Украины: от F50 до F400);

– марки бетона по водонепроницаемости: W4, W6, W8, W10, W12, W16, W18, W20;

К бетону конструкций гидротехнических сооружений следует предъявлять дополнительные, устанавливаемые в проектах и подтверждаемые экспериментальными исследованиями, требования: по предельной растяжимости, отсутствию вредного взаимодействия щелочей цемента с заполнителями, сопротивляемости истиранию потоком воды с донными и взвешенными наносами, стойкости против кавитации и химического воздействия, тепловыделению при твердении бетона.

Для замоноличивания стыков элементов уголковых стенок, которые в процессе эксплуатации могут подвергаться воздействию отрицательных температур наружного воздуха или воздействию агрессивной воды, при проведении ремонтных работ следует применять бетоны проектных марок по морозостойкости и водонепроницаемости не ниже принятых для стыкуемых элементов.

**ПРИМЕР.** Приведем результаты контрольно-инспекторского обследования причалов № 3 в Феодосийском

морском торговом порту /8/

• **Конструктивное исполнение**

Причал 3. Построен в 1892-95 гг. в виде стенки из четырех курсов бетонных массивов, установленных на каменную постель толщиной более 3,0м, с разгрузочной каменной призмой (рис. 3).

В 1970 г. выполнена реконструкция причала с устройством оторочки в виде угловой железобетонной стенки с контрфорсами, установленной на каменную постель. Пазуха между стенкой из массивов и оторочкой заполнена камнем. Железобетонная надстройка имеет сборно-монолитное исполнение и включает монолитный оголовок, железобетонные плиты и шапочный брус. За железобетонными плитами надстройки отсыпана призма из щебня. Угловые блоки заанкерены за бетонную надстройку старой конструкции и за бетонные анкерные массивы. Причал оборудован крановыми и железнодорожными путями на шпально-балластном основании. Покрытие выполнено из железобетонных плит различных типоразмеров, за исключением полосы между линией кордона и кордонной ниткой кранового пути, на которой построено цементобетонное покрытие. Причал оборудован колесотбойным брусом, швартовными тумбами и отбойными устройствами. Длина причала – 148,35м, проектная глубина – минус 7,8м.

Таблица 2

Технические характеристики причала №3

Наименование	Ед. изм.	По проекту	Фактически
1. Элементы конструкции:			
1.1. Угловая стенка			железобетон М300 (В25)
материал			
высота			7,85
ширина подошвы			3,50
ширина поверху			1,00
длина одного углового блока по фасаду			4,98
толщина:			
- лицевой плиты			0,25
- фундаментной плиты			0,30
- контрфорса			0,20
продольный шаг контрфорсов			2,30; 2,70
2. Надстройка: материал			сборно-монолитный железобетон
2.1. Монолитный оголовок			
материал	м		железобетон М200
высота	м		0,60
ширина	м		1,00
тумбовый массив			
высота	м		1,53
ширина	м		1,20
длина	м		5,00
2.2. Железобетонные плиты			
материал			железобетон М300
размеры: высота	м		1,60
толщина	м		0,18
2.3. Шапочный брус	м		
материал			железобетон М200
размеры: высота	м		0,20
ширина	м		0,35
1. Допускаемые нагрузки			
- Равномерно-распределенная:			«II» категории норм /5/

Наименование	Ед. изм.	По проекту	Фактически
2. Коэффициенты запаса устойчивости:		Без учета сейсмичности	С учетом сейсмичности 8 баллов /9/
на опрокидывание		1,65	1,38
на сдвиг по контакту с каменной постелью		1,85	1,44
на сдвиг вместе с постелью		2,44	2,36
3. Коэффициент запаса общей устойчивости по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения	кН	1,060	0,982
4. Усилие в анкере	кН/м <sup>2</sup>	219	257
5. Макс./мин. напряжения по контакту:	кН/м <sup>2</sup>	228/37	284/2,5
- основание - каменная постель - каменная постель - грунт		175/12	231/3,1



Рис. 3. Заделка зазора между соседними уголковыми блоками бетоном в «мешочках». Стальной трос на поверхности грунта у линии кордона (ПК20+4,5м). /8/

Выводы по состоянию сооружения: Техническое состояние сооружения в целом: удовлетворительное. При выполнении текущего ремонта устранить зафиксированные дефекты по железобетонной надстройке.

Нормативные и расчетные сопротивления бетона в зависимости от классов бетона по прочности на сжатие и на осевое растяжение следует принимать по ГОСТ 7473-94, ГОСТ 26633-91 и СНиП 3.07.02-87.

Для восстановления объемных дефектов бетонных и железо-бетонных элементов сооружений применяются, главным образом, цементные растворы и бетоны. /10/ Минеральными вяжущими для бетонов зоны переменного уровня и подводной зоны могут быть высокомарочные и быстротвердеющие сульфатостойкие портландцементы, специально активированные или модифицированные химическими добавками и тонкомолотыми микронаполнителями, такие как: пластификатор С-3, ускоритель твердения ННК, воздухововлекающая добавка СНВ. Расход цемента в бетонах при этом составляет около 500 кг/м<sup>3</sup>/11/. Бетоны с такими добавками обладают технологичностью, доступностью, универсальностью и гибкостью действия.

Химические добавки (С-3, мельмент, майти-150) улучшают удобоукладываемость бетонной смеси; повышают водонепроницаемость бетонов, морозостойкость бетонов до F600 и более, адгезия с основанием на 50% /12/; заданная прочность достигается уже через 16...24 часа. Плотность и коррозионная стойкость бетонов с комплексными химическими добавками возрастают за счет снижения водопотребления, коагуляции пор и пассивации поверхности арматуры продуктами реакций.

Необходимо отметить, что в зарубежной строительной практике широко применяются модифицированные бетоны нового поколения (High Performance Concrete) /10, 12/. Высокофункциональные бетоны обладают высокой прочностью, низкой проницаемостью, повышенной коррозионной стойкостью и долговечностью, т. е. обладают свойствами, сочетание которых или преобладание одного из которых обеспечивает надежность конструкций в зависимости от условий эксплуатации, а также защиту арматуры от агрессивного воздействия морской воды без дополнительных противокоррозионных мероприятий. Модификаторы МБ (4 основных типа: МБ-01, МБ-30С, МБ-50С, МБ-100С) позволяют получать на обычных компонентах высокопрочные – класса В45...В60 и сверхпрочные бетоны – выше класса В60. Оптимальные дозировки МБ зависят от требований к

бетонам и обычно находится в пределах 8...12% от массы цемента. Степень эффективности - в зависимости от соотношения микрокремнезем/зола-уноса, оцененная по влиянию на прочность, проницаемость, морозостойкость бетона, может быть выражена следующим образом: МБ-01 $\geq$ МБ-30С $\geq$ МБ-50С $\geq$ МБ-100С. Особенности бетонов нового поколения являются применение высококачественных заполнителей и суперпластификаторов (С-3, мельмент, Майти100, сикамент), а также снижение количества воды при затворении до минимального уровня.

Использование высокомарочных (расход которых составляет: 450...550 кг/м<sup>3</sup>) сульфатостойких портландцементов, суперпластификаторов (расход: 1,5...2,0% массы портландцемента), микро- и нанокремнеземов с удельной поверхностью 30...300 м<sup>2</sup>/г (расход добавки: 15...20% массы портландцемента) при водоцементном отношении 0,24...0,28 и гранитном щебне придают бетонам High Performance Concrete высокую прочность на сжатие (60 МПа и более), повышенные водонепроницаемость (W16...W20), коррозионную стойкость и долговечность.

### ***Основные выводы***

1. Усовершенствовать существующую методику инженерного обследования для портовых гидротехнических сооружений в виде тонких стенок.
2. Необходимо уточнить расчетные характеристики гидротехнических сооружений, учитывающие фактическую несущую способность конструкций и схемы допускаемых эксплуатационных нагрузок.
3. Разработать технологию приготовления и применения модифицированных бетонов с применением комплексных химических добавок на сульфатостойком портландцементе для восстановления несущей способности железобетонных элементов конструкций гидротехнических сооружений.

### **SUMMARY**

**This article discusses the survey methodology of hydraulic structures in the form of thin walls, are indicators of their technical condition and a brief analysis of chemical additives in the concrete for the repair work.**

### ***Литература***

1. Інструкція з інженерного обстеження і паспортизації портових гідротехнічних споруд. Одеса, 2003
2. Правила технічної експлуатації портових гідротехнічних споруд (НД 31.3.003-2005). Одеса, 2005.
3. Пойзнер М. Б. Авторский надзор за портовыми гидротехническими сооружениями/ Яковенко В. Г. // М.: «Транспорт», 1990.
4. Інструкція по використанню приладу для визначення міцності бетону склерометричним методом – молотка Шмідта. Фірма-виробник "PROCEQ`SA". Цюрих, Швейцарія, 2001
5. Москвин В. М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты./ В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев, Е. А. Гузеев// М.: 1980.
6. СНиП 2.06.08-87 - Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений.
7. Школа А. В. Диагностика портовых сооружений// Монография// Одесса: 2010.
8. Паспорт технического состояния причала № 3 Феодосийского морского торгового порта/ЧерноморНИИПроект – Одесса, 2008.
9. Строительство в сейсмических районах Украины. ДБН В.1.1 - 12 : 2006. Киев, 2006.
10. Алексеев И. О. Ремонт портовых гидротехнических сооружений – Санкт-Петербург, 2001
11. Мишутин А. В. Повышение долговечности бетонов тонкостенных конструкций плавучих и портовых гидротехнических сооружений./ А. В. Мишутин, Н. В. Мишутин// Одесса: 2003.
12. Химические и минеральные добавки в бетон/ Под ред. проф. А. Ушерова-Маршака. – Харьков: Изд. Колорит, 2005 – стр. 104-117.