

технических сооружений даёт комплексное визуальное и приборное обследование. Дальнейшую работу по повышению эффективности оценки технического состояния объектов данного типа следует сосредоточить на расширении методической и приборной базы по оценке нарушенности грунтов, подстилающих бетонное покрытие. Нами проводятся исследования по применению методов пассивной электромагнитной и электрометрической диагностики в решении рассматриваемой проблемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постанова Кабінету Міністрів України від 05.05.97 № 409 "Про забезпечення надійності і безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж".
2. Степанов И.Н. Формы в мире почв. – М.: Наука, 1986 – 192 с.
3. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. – М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.
4. Яланский А.А. и др. Теоретические и аппаратурные разработки виброволнового контроля строительных конструкций и материалов. /Яланский А.А., Паламарчук Т.А., Сергиенко В.Н., Усаченко В.Б. //Тезисы докладов IV-ой международной научной конференции «Материалы для строительных конструкций». - Днепропетровск, 1996 - С. 73.
5. Инструментальное виброакустическое обследование системы «бетонное покрытие – грунт» верхового откоса левобережной плотины Кременчугской ГЭС: Отчет о НИР / НПП Технополис «Экоиндустрия», руководитель Б.Усаченко, 2005. – 50 с.
6. Инструментальное виброакустическое обследование системы «бетонное покрытие – грунт» опытного участка Табурищанского мыса Кременчугской ГЭС: Отчет о НИР / НПП Технополис «Экоиндустрия», руководитель Б.Усаченко, 2005. – 46 с.

УДК 622.83

В.Н. Сергиенко, С.П. Мусяенко, В.Б. Усаченко

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРОРАБОТКИ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПОДВОДНОЙ ВИБРОДИАГНОСТИКИ

Розглянуто проблему виявлення порожнин під бетонним покриттям. Встановлено можливість використання вібраційної діагностики зі змінною базою для контролю підводних об'єктів. Наведено приклад практичного використання методики.

THE METHODOICAL DEVELOPMENTAL WORKS AND PRACTICAL APPLICATION OF AN UNDERWATER VIBRATION DIAGNOSTICS

The problem of revealing of emptiness under a concrete covering is considered. The opportunity of use of vibrating diagnostics with variable base for the control of underwater objects is established. The example of practical use of a technique is given.

Значительная часть искусственных водохранилищ на территории Украины была сооружена в середине прошлого столетия. Под влиянием естественных факторов покрытие верховых откосов плотин водохранилищ в большой мере утратило свои первоначальные эксплуатационные качества. Основным следствием этого является образование пустот под плитами противодиффузионного покрытия, площадь которых достигает в отдельных случаях десятки квадратных метров. Под влиянием силы тяжести происходит первоначальная осадка плит покрытия с образованием в нем трещин, за счет чего значительно усиливается фильтрация воды сквозь тело насыпной плотины. Процесс разрушения

плотины идет достаточно медленно, но постоянно и в конечном счете может привести к аварийному прорыву воды на самом слабом участке плотины.

Специалисты института геотехнической механики НАН Украины им. Н.С. Полякова и НПП Технополис "Экоиндустрия" имеют достаточный опыт ликвидации пустот под бетонным покрытием методом тампонажа [1, 2]. Эффективность тампонажа в значительной степени повышается при предварительном выполнении виброакустической диагностики покрытия, позволяющей получить карту распределения пустот под ним [3].

Выполнение ремонтных работ в подводных условиях в Приднепровском регионе производится специализированным предприятием ООО "Подводспецстрой". Ввиду значительной стоимости таких работ их проведение должно быть обоснованным. Работы по ремонту должны выполняться локально, на действительно опасных участках. В этих условиях первостепенное значение приобретает достоверность данных, получаемых в процессе предварительного обследования подводной части плотины, ниже нижнего допустимого уровня (НДУ). Производимый водолазами визуальный осмотр позволяет выявить трещины в плитах, разрушение швов между ними, но не дает возможность определить наличие полостей под плитами. С этой целью были проведены исследования по применению для указанной цели виброакустического метода.

Схематически объект исследования представлен на рис. 1.

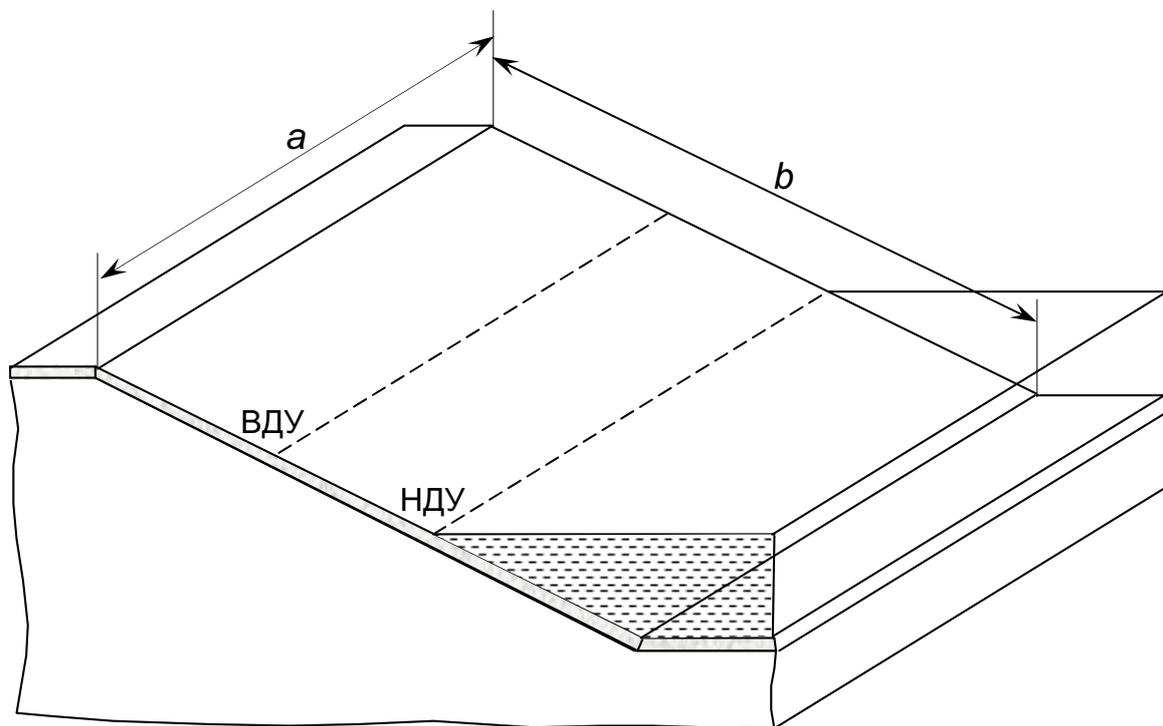


Рис. 1 – Схематическая модель покрытия на верховом откосе плотины

Известны точные аналитические решения, позволяющие определить спектральный состав пакета свободных колебаний тонкой прямоугольной плиты с размерами сторон a и b при различных граничных условиях на контуре и отсут-

ствии внешних сил на обеих плоскостях [4]. В работе [5] рассмотрена задача о свободных колебаниях плиты с односторонним демпфированием колебаний вязкоупругой средой. Один из главных выводов, полученных при анализе решения - если акустическая жесткость и вязкость демпфирующей среды значительно меньше аналогичных параметров для материала плиты, то возможно выявление полостей под плитой, заполненных данной средой. При этом достоверность выявления полостей резко снижается с увеличением толщины плиты.

В качественном плане рассматриваемая задача является наиболее близкой к решенной в работе [5]. Основные же отличия заключаются в следующем:

- двухстороннее демпфирование части плиты;
- различные граничные условия на обеих плоскостях плиты в подводной части.

Экспериментальные исследования, выполненные в небольших закрытых бассейнах с использованием портативного спектроанализатора ИСК-1Ш [6], показали, что добротность погруженной в воду плиты, как колебательной системы, существенно снижается по сравнению с плитами, лежащими на грунте. Тем не менее, с использованием герметичных приемников возможным является выделение по амплитудному признаку заполненных водой полостей под затопленным основанием доковых частей насосных станций, наличие которых подтверждено контрольным бурением. Однако, попытка применения этой же методики для контроля противофильтрационного покрытия плотин оказалась неудачной. Вода является прекрасным проводником звука. При малейшем волнении поверхности, что всегда характерно для открытых водоемов большой площади, уровень акустических шумов оказывается соизмерим или даже превышает уровень вибрации плиты, воспринимаемый датчиком. Приемлемого соотношения полезного сигнала и шумов удавалось добиться только при значительном возрастании массы возбудителя (свыше 5 кг). Учитывая то, что удар нужно наносить в воде, процедура контроля оказывается утомительной и малопродуктивной.

Проведенные в натуральных условиях исследования показали, что с целью повышения соотношения "полезный сигнал - шум" можно использовать волноводные свойства самих плит покрытия. Возбужденная в конкретной точке подводной части плита совершает свободные колебания, параметры которых определены ее геометрическими размерами и граничными условиями. На достаточном удалении от точки удара плита, как механический резонатор выделит частотный ансамбль, соответствующий собственным колебаниям, а шумы, отличающиеся случайной фазой и амплитудой, затухают по длине плиты значительно сильнее. Оказалось также, что наиболее информативным параметром для выявления полостей под плитой в подводных условиях является длительность колебательного процесса.

При увеличении расстояния между точкой возбуждения, находящейся под водой и точкой приема, расположенной на удалении от водной поверхности, отношение полезного сигнала к шуму увеличивается, но сам уровень полезного сигнала существенно уменьшается. Он может быть скомпенсирован возраста-

нием чувствительности приемника. В классическом варианте вибродиагностики приемник представляет собой первичный преобразователь виброскорости или виброускорения, конструктивно закрепленный на штанге, в электрический аналог и удерживаемый при работе оператором в нужном положении. Необходимое для регистрации слабой вибрации повышение чувствительности приемника сделало невозможным использование прежней конструкции, так как малейшее шевеление оператора, даже порывы ветра во время измерений приводили к помехам импульсного характера и соответственно к сбоям в работе прибора. Поэтому специально для этих целей была разработана конструкция высокочувствительного плоского датчика, прижим которого к бетону осуществляется за счет собственного веса. Стабильность акустического контакта первичного преобразователя с бетоном обеспечивается применением конического концентратора. Для повышения помехозащищенности используется защитный противоветровой экран. Встроенный предусилитель сигнала позволяет передавать сигнал к регистрирующему устройству по гибкому кабелю, не имеющему экрана, на расстояние до 20 м. Это позволяет оператору нормально работать за пределами зоны чувствительности датчика, не ограничивая себя в движениях.

Контроль противофльтрационного покрытия в надводной и подводной части осуществляется по профилям, перпендикулярным к оси плотины. Расстояние между профилями выбирают от 2 до 5 м. Схема расположения профилей иллюстрируется рис. 2.

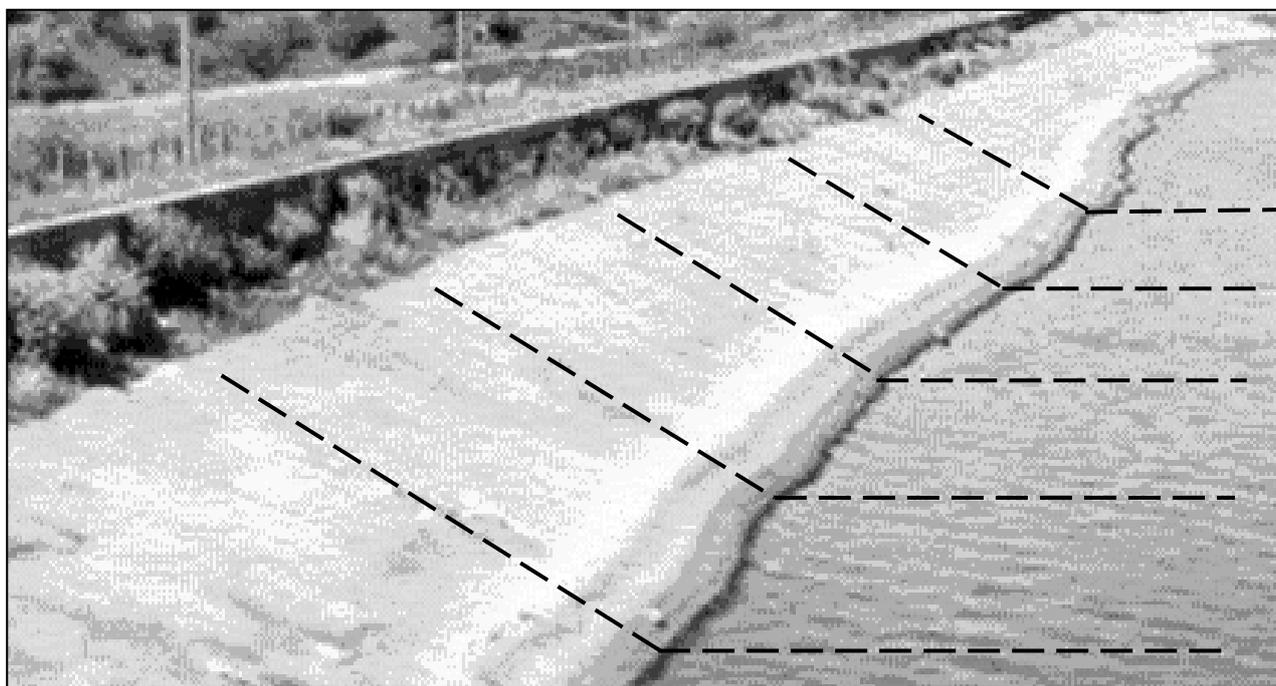


Рис. 2 - Схема расположения профилей на откосе плотины

Пунктом приема является наиболее удаленная от воды точка профиля. Точки возбуждения располагаются вдоль профиля с шагом от 1 до 5 м. Первая из точек возбуждения обязательно должна находиться на расстоянии не менее чем

5 м от точки приема. В этой точке закрепляется начало шнура с закрепленными через интервал, равный шагу возбуждения, грузиками. Натягивая шнур и последовательно переходя от одного грузика к другому, водолаз обеспечивает необходимое положение точек возбуждения, как над водой так и под водой. Схематический разрез вдоль профиля представлен на рис. 3.

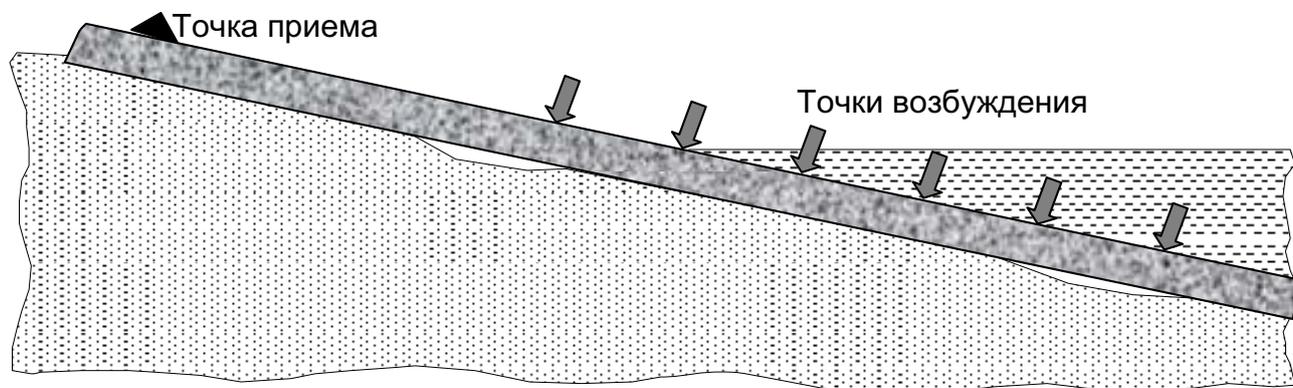


Рис. 3 - Поперечный разрез профиля

При неизменном положении приемника вибрации последовательно регистрируют значения информативного параметра для каждой из точек профиля. При обработке данных строят график изменения параметра вдоль профиля. При плотном контакте всей плиты с подстилающим насыпным основанием амплитуда и продолжительность пакета свободных колебаний монотонно убывают по причине увеличения базы контроля (рис. 4, график № 1). Признаком наличия полости под плитой является локальное возрастание информативного параметра, несмотря на увеличение базы контроля (рис. 4, график № 2).



Рис. 4 - Характер изменения информативного параметра вдоль профиля для плотного контакта покрытия с основанием (график 1) и при наличии пустоты под покрытием (график 2)

В соответствии с рис. 4 значения информативного параметра в различных точках профиля при одинаковом состоянии системы "насыпное основание - противofильтрационное покрытие" будут различными. Однако, для автоматического построения карт, отображающих положение полостей в грунте, изоляции равных значений информативного параметра должны соответствовать границам зон с определенной градацией пустотности. С этой целью производится операция нормирования массива данных, заключающаяся в умножении полученного значения на поправочный коэффициент, в зависимости от расстояния до точки приема. Значение коэффициента получают экспериментально, выполняя послеремонтную диагностику на контрольных участках плотины, где уже выполнен тампонаж полостей и произошло отверждение тампонажной смеси. Учитывая стандартную технологию защиты верхнего бьефа на насыпных земляных плотинах в условиях Украины, результаты, полученные на объектах, где выполнен ремонт, могут быть с достаточной для практики точностью применимы для новых объектов.

Практический опыт показал, что для исчерпывающей оценки состояния системы "насыпное основание - противofильтрационное покрытие" во многих случаях достаточно трех градаций, сведения о которых представлены в табл. 1.

Таблица 1 - Градации пустотности по результатам виброакустической диагностики противofильтрационного покрытия

Градация пустотности	Расположение пустот	Относительная площадь пустот, %	Глубина пустот в центре, см	Нормированное значение параметра
слабая	локальные	0 - 10	0 - 5	0 - 50
средняя	образуют систему	10 - 40	5 - 20	50 - 120
сильная	образуют систему	> 40	> 20	> 120

Одной из работ по подводной вибродиагностике было обследование откоса пруда-охладителя Криворожской ТЭЦ. Общая длина каждого профиля составляла 18 м, в том числе 7 м в его надводной части. Расстояние между профилями равнялось 5 м. Первая точка возбуждения располагалась за 5 м от приемника, остальные последовательно удалялись с шагом 4 м. Поправочные коэффициенты, полученные на основе анализа данных послеремонтной диагностики на объектах-аналогах, составляли: для 5 м - 1,00; для 9 м - 1,33; для 13 м - 1,56; для 17 м - 1,71. После выполнения предварительной обработки первичных данных было выполнено построение графической карты пустотности, фрагмент которой представлен на рис. 5.

Предлагаемая методика может иметь более широкое применение. Имеется целый ряд случаев, когда вся поверхность объекта в принципе доступна и не покрыта водой, но синхронное перемещение возбудителя и приемника вибрации связано со значительным неудобством при выполнении работы. Типичным примером являются заглубленные в грунте цилиндрические бетонные конст-

рукции, характерным дефектом которых является наличие полостей за вертикальной бетонной обделкой. В этом случае датчик располагают в центре основания, а возбуждение производят по вертикальным профилям по всей высоте цилиндра.

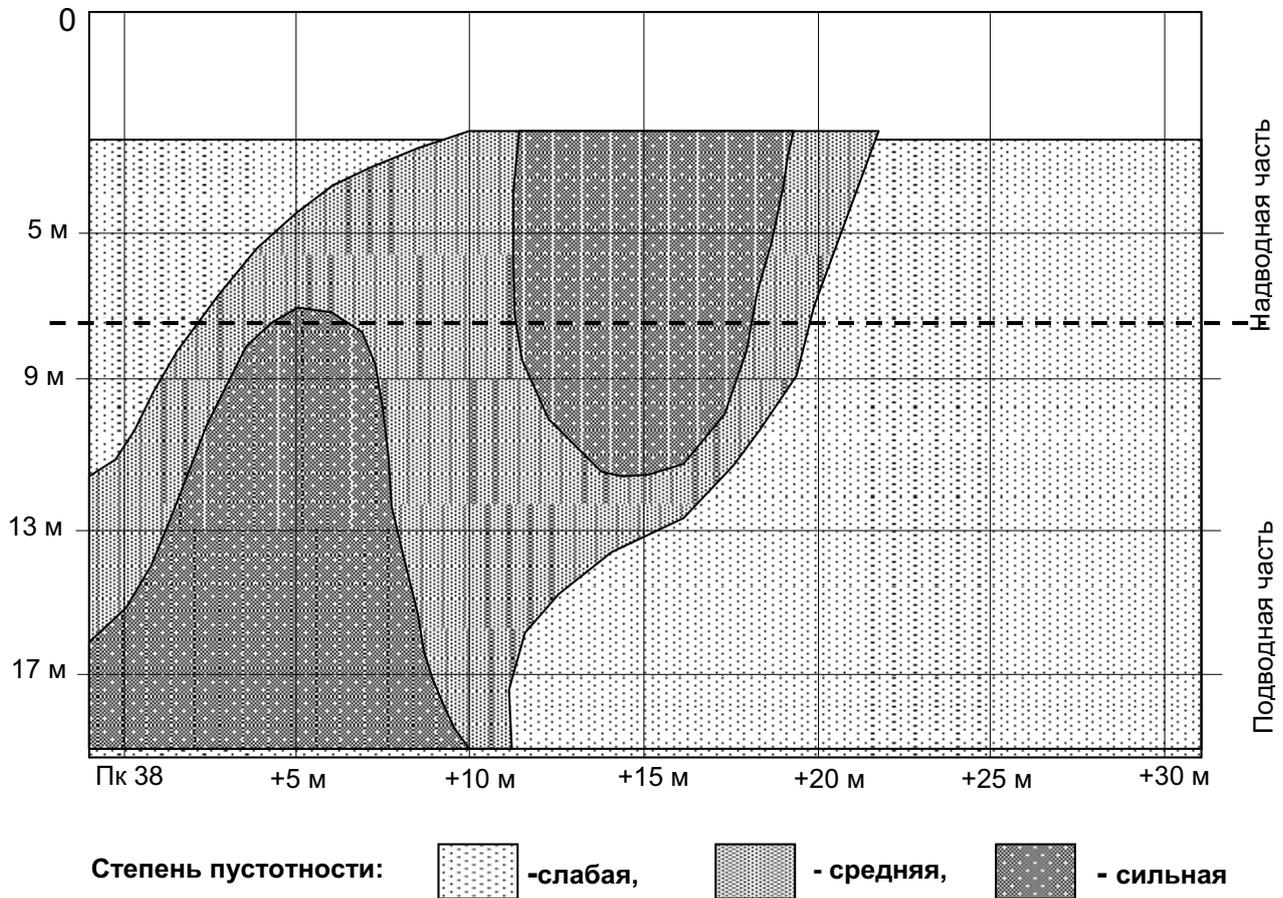


Рис. 5 - Фрагмент карты пустотности под покрытием откоса пруда-охладителя

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мусиенко С.П. Строительная санация подземных и заглубленных объектов – безусловная предпосылка их эксплуатационной надежности // Геотехническая механика – Сб. научн. трудов ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск. – 2001. – Вып. 29. – С. 140 – 142.
2. Усаченко Б.М., Мусиенко С.П., Земба В.А. Техника для упрочняющих и защитных технологий при строительстве и эксплуатации магистральных трубопроводов // Материалы научн.-техн. конф. «Экологические проблемы и перспективы развития магистральных трубопроводов», - К., тов. «Знання», 1997. – С. 165 – 168.
3. Пат. 2133283 Франції, МКВ⁵ E21C 39/00. Methode et dispositif de classification à partir de sondages par percossion applicable notamment à la reconnaissance des dalles et blocs dangenz dans les mines; G. de Montille (Фр.); Agence National de valorisation de la rechnerche (Фр.) № 7113320; Заявлено 15.04.71; Опубл. 24.11.72.
4. Гонткевич В.Г. Собственные колебания пластинок и оболочек. Справочник. – К.: Наукова думка, 1984. – 287 с.
5. Сергиенко В.Н. Разработка комплексной методики и средств контроля состояния потолочин длительно эксплуатируемых выработок большой высоты: – Дисс. .. канд. техн. наук - Днепропетровск, 1992 – 179 с.
6. Яланский А.А. и др. Теоретические и аппаратурные разработки виброволнового контроля строительных конструкций и материалов. /Яланский А.А., Паламарчук Т.А., Сергиенко В.Н., Усаченко В.Б. //Тезисы докладов IV-ой международной научной конференции «Материалы для строительных конструкций». – Днепропетровск, 1996 – С. 73.