

Эгбалник Саназ Мохаммад, инженер, аспирант кафедры «Технология бетона и строительные материалы» БНТУ  
Батяновский Эдуард Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология бетона и строительные материалы» БНТУ

## **ПРОБЛЕМЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ УХОДА ЗА БЕТОНОМ ЗАЩИТНЫМИ СОСТАВАМИ**

### **PROBLEMS AND EFFICIENCY OF CARE FOR HARDENING CONCRETE WITH PROTECTING AGENTS**

#### **АННОТАЦИЯ**

*В статье приведены данные исследований эффективности защиты бетона после укладки и съема опалубки при твердении в воздушно-сухих условиях при повышенной температуре путем изменения структуры его поверхностного слоя за счет использования химических реагентов, нанесенных на защищаемую поверхность.*

#### **SUMMARY**

*In article data of researches are given on the efficiency of protection of concrete after packing and removing forms at hardening in air-dry conditions at high temperature by changing structure of its blanket using chemical agents put on the protected surface.*

#### **ВВЕДЕНИЕ**

На строение порового пространства тяжелого цементного бетона оказывает влияние множество разнообразных факторов, от которых зависит объем и «качественное» состояние пор. При соблюдении технологической дисциплины процессов приготовления, транспортирования, укладки и уплотнения бетона, рационально подобранного состава, одним из определяющих факторов качества формирующейся структуры материала является режим его твердения и особенно – на начальной стадии в первые 1-7 суток.

## О ФАКТОРАХ, ВЛИЯЮЩИХ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ БЕТОНА

Как известно, физико-технические свойства бетона непосредственно зависят от наличия и объема капиллярной (открытой, сообщающейся) пористости. При рационально подобранном составе бетона и качественном его уплотнении испарение воды на начальной стадии твердения бетона является одной из основных причин образования в его структуре макрокапиллярных пор, резко ухудшающих физико-технические свойства материала. В исследованиях [1, 2], выполненных в 50–60-ых годах XX века показано, что вода, находящаяся в порах и капиллярах с радиусами более  $1000 \text{ \AA}$  ( $0,1 \text{ мкм}$ ) будет испаряться из материала до установления равновесной влажности, даже в случае, когда воздух насыщен водяными парами. Таким образом, макрокапиллярные поры, например, в бетоне могут обезвоживаться даже в камерах нормального твердения при высокой относительной влажности воздуха ( $\phi \geq 90\%$ ).

В твердеющем цементном камне, вследствие развития реакций цемента с водой и перераспределения последней, проявляется эффект контракции [3-9], в результате которого в его объеме возникает некоторое разрежение (вакуум), так как абсолютный объем формирующихся новообразований меньше суммарного абсолютного объема ионов клинкерных минералов и воды, вступивших в реакцию. При твердении бетона в воде (в наиболее благоприятных условиях) создающийся вакуум способствует непрерывному «подсосу» влаги, и капиллярное пространство, свободное от продуктов гидратации цемента и доступное для молекул воды, практически полностью заполняется жидкой фазой. В этих условиях развитие гидратации цемента обеспечивает формирование порового пространства, характеризующегося возрастающими объемами пор новообразований (геля), уменьшением сечений контракционных пор и увеличением количества микрокапиллярных пор ( $\leq 1000 \text{ \AA}$  или  $\leq 0,1 \text{ мкм}$ ) при снижении объема пор больших сечений.

При тепловой интенсификации твердения бетона (тепловые обработки сборных изделий и разнообразные прогревы бетона монолитных конструкций, включая такой вариант ухода за ним в летний период) большое влияние на строение порового

пространства цементного камня (бетона) оказывают режимы тепловой обработки, в частности, время и условия предварительной выдержки, скорость подъема температуры, продолжительность и температура изотермического прогрева, скорость охлаждения, условия хранения изделий и распалубки монолитных конструкций. Перечисленные параметры оказывают существенное влияние на общую и дифференциальную пористость бетона. В сравнении с образцами нормального влажностного (тем более водного) твердения в образцах бетона после пропаривания или прогрева наблюдается увеличение интегральной пористости, главным образом за счет повышения доли макропор [10-13]. В частности, по экспериментальным данным интегральная пористость образцов из цементного камня на цементе с удельной поверхностью  $0,3 \text{ м}^2/\text{г}$  после пропаривания составила  $0,115 \text{ см}^3/\text{г}$ , после 28 суток водного твердения  $\sim 0,0607 \text{ см}^3/\text{г}$ ; пористость раствора на том же цементе после пропаривания была равна  $\sim 0,092 \text{ см}^3/\text{г}$ , а после 28-суточного твердения в воде  $- 0,066 \text{ см}^3/\text{г}$ . Сравнение дифференциальной пористости цементного камня после 28 суток водного твердения и после пропаривания показало, что если объем пор радиусом от 300 до 1000 Å (до 0,1 мкм, т.е. микропор) у цементного камня 28-суточного водного твердения составил  $\sim 74,1 \%$ , то у пропаренного объем таких пор был равен  $39,8 \%$  при одновременном увеличении количества более крупных пор. Эта тенденция сохранилась и для образцов бетона (по указанным экспериментам – мелкозернистого). При этом, после последующего хранения в воде пропаренных образцов цементного камня и раствора, уменьшился объем интегральной пористости и средний радиус капилляров, однако менее значительно в сравнении с образцами бетона нормально влажностного твердения или твердения до 28 суток в воде.

То есть, даже при высокой степени влажности воздушной среды твердения бетона нельзя избежать явления испарения влаги и ее сорбции извне. При этом внутреннее перераспределение жидкой фазы на продолжение гидратации цемента (в целом благоприятный процесс, способствующий снижению общей пористости бетона и уменьшению объемов макрокапиллярной пористости) может быть ограничено оттоком воды на испарение. *При твердении бетона в воздушных условиях с пониженной влажностью воздуха так и происходит.* Исследованиями и практикой строительства,

особенно монолитного, при повышенных температурах воздуха и при производстве сборных изделий с «сухими» вариантами прогрева (электромагнитные камеры, отходящие горячие газы и пр.), выявлена недопустимость таких условий твердения бетона без дополнительных мер по его защите с целью обеспечения требуемого качества (физико-механических и эксплуатационных свойств) материала и строительных конструкций в целом. По существу эти мероприятия направлены на предотвращение некомпенсируемого и неконтролируемого удаления (испарения) воды затворения бетона, как причины, обуславливающей рост капиллярной пористости, недостаточное развитие процессов гидролиза-гидратации цемента, снижение темпа образования и количества кристаллогидратов, а в результате – ухудшение условий формирования «реакционных каемок» из кристаллогидратных, окружающих отдельные остаточные цементные частицы, что сопровождается ростом размеров контракционных пор при одновременном уменьшении зон (площадей) взаимных контактов между реакционными каемками в «бетоне Юнга» [3-6]. Это в целом приводит к формированию структуры цементного камня и бетона (дополняется объемом пор у поверхности заполнителей), которая характеризуется как возросшим объемом общей пористости, так и увеличением количества и размеров сечений макрокапиллярных пор, а также – контракционных пор. Последние практически могут перейти в разряд макрокапиллярных открытых пор (т.е.  $r > 0,1$  мкм), т.к. сообщаются между собой и имеют «выходы» в объеме цементного камня к внешним поверхностям конструкций. Как известно [8, 9, 12], размер их сечений может достигать  $\geq 1$  мкм и они способны существенно ухудшить свойства бетона.

Оценивая влияние различных факторов на формирование порового пространства цементного камня и бетона на заполнителях из плотных горных пород приходим к следующим выводам. Среди технологических факторов, таких, как свойства цемента (минералогический и вещественный состав, тонкость помола), характеристики состава бетона (расход вяжущего, свойства заполнителей, водоцементное отношение), а также условия и продолжительность твердения, наиболее значительными для бетона общестроительного назначения являются водоцементное отношение и условия твердения бетона. А в случае рационального выбора вида и свойств

цемента, подбора состава бетона (включая расчет количественного соотношения компонентов, водоцементного отношения и введения химических и минеральных добавок), и качественного уплотнения бетона в «теле» конструкции решающее влияние на формирование структуры бетона оказывают условия его твердения. В зависимости от них, при соблюдении прочих равных условий, развиваются физико-химические процессы взаимодействия цемента с водой, обеспечивающие структурообразование, рост прочности бетона и формирование его эксплуатационных характеристик.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ЗАЩИТЫ БЕТОНА.

Среди множества приемов ухода за твердеющим бетоном [14-18], технология с использованием защитных (пленкообразующих и иных) составов получила в современных условиях строительства наиболее широкое распространение по причинам:

- технологичности: нанесение распылением, например, с помощью сжатого воздуха, которое обеспечивает защиту любых по конфигурации поверхностей (после укладки бетона или съема опалубки);
- доступности: разработаны и предложены разнообразные пленкообразующие составы для нанесения по свежееуложенному или схватившемуся бетону;
- надежности эффекта защиты; большинство пленкообразующих составов обеспечивает коэффициент защиты от испарения воды  $K_z \geq 0,9$ . В качестве пленкообразующих материалов предложено к использованию [16-18] в разных странах за период с 80-х годов XX века множество составов, которые готовят в виде органических растворов или водных дисперсий и эмульсий высокомолекулярных веществ (поливинилацетата, эпоксидных смол и латексов (искусственных и натуральных), парафинов (твердых, мягких и жидких), нефтеполимерных смол, битумов и др.).

К недостаткам этого в целом универсального и легкоосуществимого метода защиты бетона следует отнести, во-первых, провоцируемый образующейся пленкой саморазогрев бетона, во-вторых, ухудшение сцепления его «старых» и «новых» слоев при бетонировании монолитных конструкций (или отделки к бетону), а также то, что самые дешевые и доступные из них (на битумах

и нефтеполимерных смолах) окрашены в темные тона, что усугубляет эффект неконтролируемого разогрева бетона.

С целью снижения термического эффекта пленкообразующие составы делают осветленными или светоотражающими (например, поморолы ПМ-86, ПМ-100А, ПМ-100АМ) либо вынужденно устраивают после нанесения на бетон защитных составов дополнительные теплоизолирующие или тенеобразующие укрытия, что естественно усложняет и удорожает уход за бетоном.

С целью устранения отрицательного эффекта от ухудшения сцепления слоев бетона (или бетона с отделкой) предложены самораспадающиеся со временем составы для защиты бетона, которые однако не гарантируют полного эффекта исчезновения пленки, особенно при высоких темпах ведения бетонных работ.

Пленкообразующие составы обеспечивают защиту бетона «физическим» способом, препятствуя испарению воды за счет непроницаемости формирующейся на его поверхности пленки из вещества защитного состава.

Иной, физико-химический вариант защиты бетона обеспечивается при обработке поверхности конструкций гидрофобизирующими составами. В этом случае роль гидроизолирующей «пленки» играет поверхностный слой цементного теста, трансформирующийся в твердеющем бетоне в цементный камень. Молекулы гидрофобных веществ проявляют эффект, реализующийся в форме замедления диффузии воды к поверхности испарения.

Вариант защиты твердеющего бетона путем пропитки гидрофобными композициями также близок к рассматриваемой в настоящей статье защите его уплотняющими структуру веществами. Однако он характеризуется сопутствующим отрицательным эффектом воздействия на внешний (защищаемый) слой бетона. Гидрофобные вещества, молекулы которых в водной среде концентрируются у поверхности частиц цемента, частично блокируют доступ молекул воды к его поверхности. В результате замедляются реакции взаимодействия вяжущего с водой в слое цементного камня в бетоне, доступном для проникновения гидрофобизирующего вещества. Как следствие, обработанный ими бетон характеризуется наличием внешнего медленно твердею-

щего и набирающего прочность слоя, что ухудшает (ослабляет) сцепление «старого» и «нового» бетона в процессе строительства и ухудшает условия работ при последующей отделке строительных конструкций. Можно предположить, что более эффективным будет вариант сочетания малых дозировок гидрофобных веществ с иными, например, уплотняющими структуру бетона химическими веществами.

Таким образом, оценка применяемых в строительной практике методов и приемов защиты твердеющего в воздушно-сухих условиях конструкционного бетона показывает необходимость их совершенствования и развития. При этом наиболее технологичны и менее трудоемки приемы нанесения на обрабатываемую поверхность бетона (свежеуложенного или после снятия опалубки) защитных составов (веществ) методом распыления, например, сжатым воздухом. В этом случае возможна организация ухода за бетоном независимо от конфигурации конструкций и ориентации в пространстве защищаемых поверхностей.

На основании изложенного можно сделать вывод, что разработка предлагаемого и исследуемого метода защиты бетона путем нанесения на его поверхность химических веществ, способствующих ускоренному уплотнению цементного камня внешнего слоя, перспективна и актуальна. Такой вариант защиты не тормозит, а наоборот, ускоряет процесс твердения цемента во внешнем (защищаемом) слое бетона (в отличие от использования гидрофобизирующих веществ), и не ухудшает качества сцепления «старых – новых» слоев бетона (и бетона с отделкой), как это имеет место при использовании пленкообразующих составов. Прием уплотнения структуры защищаемого слоя бетона позволяет ухаживать как за свежесуложенным бетоном, так и после снятия опалубки, используя вариант нанесения защитных составов методом напыления, т.к. при этом предлагается использовать водорастворимые химические реагенты. Очевидно, что отсутствуют препятствия для совместного использования разрабатываемого приема защиты бетона (при необходимости и соответствующем обосновании) в сочетании, например, с укрытием поверхности разнообразными пленками для создания парникового эффекта и тепловой интенсификации роста прочности бетона или в сочетании с влажностными методами ухода.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ БЕТОНА

С учетом изложенного были выполнены исследования по направлениям: выбор и оценка эффективности химических реагентов для ухода за бетоном, приготовление и приемы нанесения растворов на защищаемую поверхность, влияние различных веществ на процесс их диффузии в бетон, их влияние на процесс испарения влаги из бетона, а также на состояние обрабатываемой ими поверхности бетона, оценку физико-технических свойств бетона, включая качество сцепления слоев «старого – нового» бетона и ряд других исследовательских работ, что позволило решить, задачи:

- дать теоретическое обоснование и разработать математические зависимости для оценки глубины проникновения в бетон веществ пропиточных составов, обеспечивающих качественную защиту его от испарения влаги;
- предложить составы химических веществ, обеспечивающих надлежащую защиту твердеющего в воздушно-сухих условиях цементного (тяжелого) бетона, а также технологию и режимы ухода за ними;
- выявить закономерности влияния изменяющихся факторов (температуры, скорости ветра, влажности воздуха и др.) на процесс твердения бетона, степень его защиты от испарения воды затворения различными составами;
- определить закономерности влияния защитных составов на физико-технические свойства обрабатываемого ими слоя бетона и качество его сцепления со свежим бетоном;
- выявить закономерности влияния ухода за бетоном с помощью защитных составов на прочностные, упруго-деформативные и эксплуатационные (стойкость в солевой среде, морозо-, водостойкость, защитная способность по отношению к стальной арматуре и др.) свойства и характеристики бетона.

Далее представлены некоторые результаты экспериментальной проверки ряда изложенных положений разрабатываемой технологии защиты твердеющего бетона уплотняющими его структуру защитными составами (веществами), которые получены на образцах цементного камня (размеры: 20 x 20 x 20 мм) и мелкозернистого бетона (состав – Ц:П = 1:3, размеры образцов: 40 x 40 x 160 мм) на различных марках цемента и бетоне с крупным заполнителем

(состав – стандартизированный для оценки эффективности химических добавок в бетон (ГОСТ 30459-96), Ц = 350 кг (М500-Д20); Щ5-20 = 1150 кг; П=675 кг, П/Ц = 0,5, ОК~3...4 см; образцы – кубы с ребром 100 мм, масштабный коэффициент  $\alpha=0,95$ ).

В исследованиях использовали традиционно применяемые уплотняющие структуру бетона кальматирующие добавки (например, сульфат алюминия), а также новую отечественную кальматирующую добавку «Сифтом» на основе  $MgSiF_6$ ; белорусско-российскую кальматирующую добавку «Кальматрон», жидкость гидрофобизирующую 136-41 (кремний-органическая жидкость ГКЖ-94); а также комплекс уплотняющей структуру добавки и ускорителя твердения бетона ( $Al_2(SO_4)_2 + Na_2SO_4$ ).

На рисунках № 1-3 частично представлены результаты экспериментальных исследований, отражающих наиболее характерные и общие закономерности изменений прочности цементного камня в зависимости от ряда факторов. Данные приведены для ПЦ М500-Д20, удовлетворяющего стандартным требованиям. Образцы цементного камня (20 x 20 x 20 мм) были изготовлены из теста нормальной густоты (К нг ~0,28).

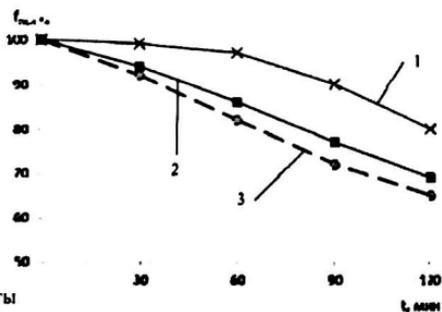
На рис. 1 отражена тенденция изменений прочности цементного камня, твердевшего 24 часа при температуре (40...50) °С, относительной влажности воздуха  $\phi \sim (45...50)$  % при скорости ветра:  $V_v = 0$ , м/с; (N1 – комплексное вещество (уплотняющее структуру + ускоритель твердения; N3 – гидрофобизирующее вещество). На рис. 2 приведены данные, относящиеся к образцам цементного камня, твердевшего 28 суток в воздушно-сухих условиях при температуре  $20 \pm 3$  °С и  $\phi \sim (60...65)$  %, при прочих равных с данными рис. 1 условиях. На рис. 3. отражена тенденция изменения прочности бетона (стандартизированного состава) в зависимости от примененного защитного состава в сравнении с герметично укрытой поверхностью образцов (график № 1).

Результаты выполненных экспериментов с образцами цементного камня и бетона, твердевшими в воздушно-сухих условиях, показывают достаточно высокую эффективность первичной защиты цементного бетона за счет применения уплотняющих его структуру в сочетании с ускоряющими твердение бетона добавками. Учитывая технологичность выполнения такой защиты как свежееотформованного бетона, так и после снятия опалубки со схва-

а)

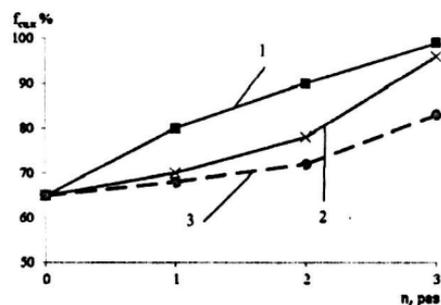


б)

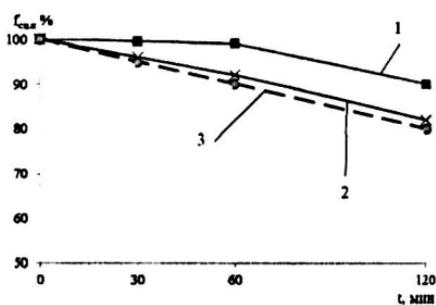


**Рис. 1. Тенденция изменений прочности цементного камня при сухом прогреве ( $t = 40 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) 24 часа:**  
 а – от наличия и «качества» гидроизоляции;  
 б – в зависимости от времени нанесения защитного состава

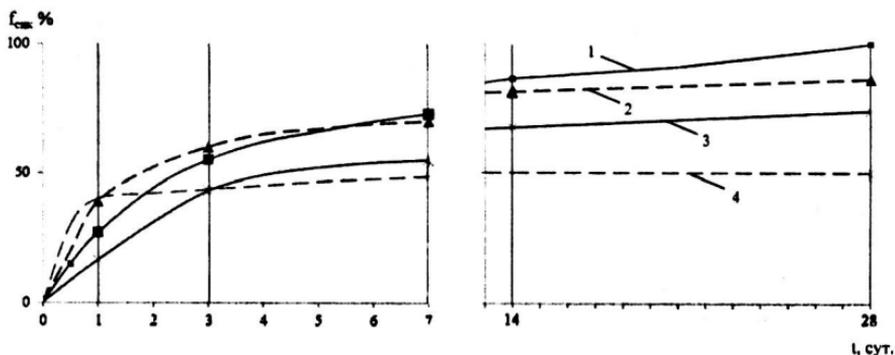
а)



б)



**Рис. 2. Тенденция изменений прочности цементного камня в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения:**  
 а – влияние количества (раз) нанесения защитного состава после формования;  
 б – влияние периода времени до нанесения защитного состава



**Рис. 3. Тенденции изменения прочности в зависимости от примененного защитного состава: 1 – 100 %-ная гидроизоляция (полиэтиленом); 2 – защитные составы с ускорителем; 3 – гидрофобизирующие защитные составы; 4 – воздушно-сухие условия твердения (без защиты)**

тившегося (твердеющего) бетона (например, нанесением составов распылением с помощью сжатого воздуха), данная разработка представляется весьма перспективной.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты теоретических и экспериментальных исследований обосновывают возможность и подтверждают достаточную эффективность для практической реализации технологического приема первичной защиты твердеющего бетона нанесением на открытые (неопалубленные) поверхности водных растворов уплотняющих структуру химических веществ. При этом наиболее эффективен состав, состоящий из комплекса, включающего водорастворимые вещества, уплотняющие структуру и ускоряющие твердение бетона.

## СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лыков, А.В. Тепло- и массообмен в процессах сушки. – М. : Госэнергоиздат, 1956. – 464 с.
2. Лыков, А.В. Теория сушки. – М.: Госиздат, 1968. – 472 с.
3. Юнг, В.Н., Бут, Ю.М., Журавлев, В.Ф., Огороков, С.Д. Технология вяжущих веществ. – М. : Промстройиздат, 1952. – 262 с.
4. Ахвердов, И.Н. Высокопрочный бетон. – М. : Стройиздат, 1961. – 106 с.

5. Ахвердов, И.Н., Шалимо, М.А. Ультразвуковое вибрирование в технологии бетона. – М.:Стройиздат, 1969. – 135 с.
6. Ахвердов, И.Н. Основы физики бетона. – М. : Стройиздат, 1981. – 220 с.
7. Лермит, Р. Проблемы технологии бетона.-М. : Госстройиздат, 1959. – 294 с.
8. Пауэрс, Т.К. Физическая структура портландцементного теста. – М.:Стройиздат,1969. – С. 300-319.
9. Тейлор, К. Химия цемента.–М.:Мир,1986. – С. 294-345.
10. Ступаченко, П.П. Структурная пористость и ее связь со свойствами цементных, силикатных и гипсовых материалов // Тр. Дальневосточного политехнического института им. В.В. Куйбышева. – Владивосток, 1964. – Т.63. – Вып.1. – С.3-62.
11. Бруссер, М.И. Исследования структурной пористости бетона и факторов ее определяющих: автореф. дис. канд. техн. наук/ М.И.Бруссер. – М., 1971. – 19с.
12. Шейкин, А.Е., Чеховский, Ю.В., Бруссер, М.И. Структура и свойства цементного бетона.-М.:Стройиздат,1979. – 344 с.
13. Ушеров-Маршак, А.В., Соков, В.П. Микроструктура цементного камня//Коллоидный журнал.Т.59. – № 6. – С. 846-850.
14. ТКП 45-5.03-131-2009 (02250) Монолитные бетонные и железобетонные конструкции. Правила возведения. – Минск: Минстройархитектуры РБ 2009.
- 15.Руководство по производству бетонных работ в условиях сухого жаркого климата. – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1977. – С. 29-38.
- 16.Хигерович, М.И. Улучшение свойств бетона органическими поверхностно-активными добавками. – М.: ВНИИЭСМ, 1975. – 45 с.
- 17.Крылов, Б.А., Чкуаселидзе, Л.Г., Топильский, Г.В., Рыбасов, В.П. Вододисперсионные пленкообразующие составы для бетонов в условиях сухого жаркого климата//Бетон и железобетон. – 1992. – с. 15-17.
- 18.Фам Ван Хоан. Бетоны без защитного слоя для безрулонных кровель, эксплуатируемых в условиях влажного жаркого климата Вьетнама: автореферат дис. канд. техн. наук: 05.23.05/ Фам Ван Хоан. – М., 1993. – 19 с.