

УДК 691.327:666.973

САМООРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ «БЕТОН – СРЕДА».

Кучеренко А.А. Государственная академия строительства и архитектуры. г.Одесса

Изложены теоретические основы самоорганизации системы «бетон-среда». Приведена классификация информационных полей системы и пример механического взаимодействия их. Указано на отсутствие серьезных экспериментальных данных в этой области и на необходимость стихийную самоорганизацию системы вывести на уровень управляемой.

Железобетонные изделия зданий и сооружений готовятся и эксплуатируются в разных условиях. Например, при монолитном изготовлении свай в условиях агрессивных грунтовых вод, укладываемая и уплотняемая бетонная смесь не только большой площадью соприкасается с агрессивной водой, но и, возможно, смешивается с нею. Заранее смонтированная арматура также контактирует с агрессивной водой, которая попадает во внутрь бетонируемого изделия. В этих же условиях сваи и твердеют. Здесь есть смысл говорить об адаптации бетона.

Понятие «адаптация бетона» дискуссионное, но мне оно представляется надуманным и вредным. Вредным потому, что создается ложное впечатление, будто мы готовим бетон столь низкого качества, что он весь период эксплуатации адаптируется к условиям окружающей среды. Так сказать готовим бетон типа «Маугли». Известно, что Маугли был столь испорчен условиями «дикой» среды в раннем возрасте, что никогда уже не адаптируется в условиях «светского общества». Надуманным потому, что здесь напрочь забыты такие понятия как «Долговечность бетона» или «Стойкость бетона в агрессивных средах» и незаслуженно подменены понятием «адаптация». Кстати адаптация относительно короткий, а не «пожизненный» срок. Авторы адаптации даже не подозревают, что, как это ни странно звучит, но приспособление бетона к условиям окружающей среды начинается тогда, когда его еще нет, т.е. на стадиях проектирования (выбор материалов и др.) и изготовления (получения заданной структуры и других специфических для предполагаемой среды свойств). Иными словами, сборный и в подавляющем большинстве монолитный железобетон по истечении 28

суток и достижении заданных свойств уже на максимум должен быть адаптирован к условиям эксплуатации в заданных агрессивных средах.

В бетоне, эксплуатируемом в агрессивных средах, происходят процессы самоорганизации. Бетон (объект) и окружающая среда (среда) – это две подсистемы в единой системе «бетон-среда». Бетон со своим собственным комплексом физико-химических, термодинамических и других свойств – это подсистема, открытая к действию окружающей среды. Среда со своим собственным комплексом физико-химических, термодинамических и других свойств – это подсистема, открытая для действия на нее бетона. Обладая каждый своим собственным комплексом свойств, объект и среда обладают каждый своей собственной информацией. В нашем случае это информационное поле бетона и информационное поле окружающей среды. Направлены они навстречу друг другу. Информационное поле бетона – это комплекс качественных и количественных показателей свойств: прочность, вещественный состав (новообразования, непрореагировавшие зерна вяжущего, качество заполнителей и многое другое). Информационное поле окружающей среды – это комплекс ее качественных (вид агрессивных веществ и др.) и количественных (концентрация и др.) свойств твердых, жидких или газообразных веществ, это и механические стационарные или знакопеременные нагрузки, воздействие знакопеременных температур и влаги и др. Информационные поля системы «бетон – среда» можно классифицировать на механические, химические, физические и тепловые. При эксплуатации между бетоном и окружающей средой идет обмен информацией. Постоянно поглощая структурированную информацию (химические вещества и их концентрация, нагрузка и ее величина и др.) из окружающей среды, бетон возвращает в окружающую среду деструктурированную информацию (выщелачивание и др.) или внутри него происходит деструктуризация (возникновение кристаллов, деформации и др.). В результате в бетоне происходят конструктивные или деструктивные процессы. Превалирующие из них, обеспечивают ту или иную долговечность бетона.

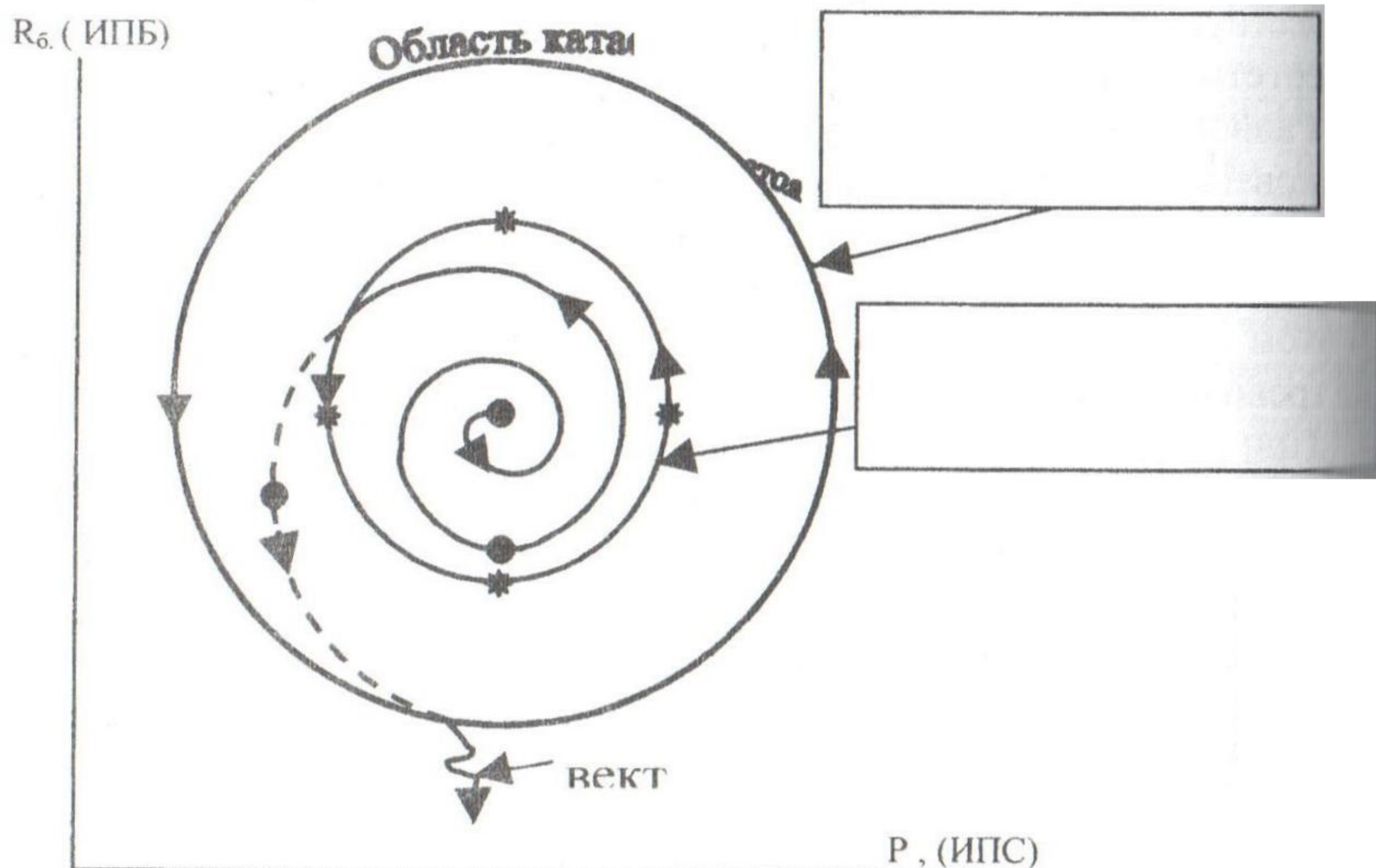
Но как бы там ни было, обмен информацией и взаимодействие между окружающей средой и бетоном целенаправленно к поддержанию физико-химического и (или) термодинамического равновесия. Равновесие – это энергетически выгодное, оптимальное состояние объекта в данной среде. Оптимальное – это норма. При отклонении от нормы возникает встречное, противоположно направленное действие, которое стремится вернуть систему к

нормальное (оптимальное) состояние. Это происходит потому, что существует стрела оптимальности. Процесс возврата в оптимальный (энергетически выгодный) режим и есть самоорганизация.

Равновесие полей информации или балансировка их вблизи точки равновесия – это «крепкое здоровье» бетона. Это состояние обеспечивает всем составляющим его структуры работать, функционировать слаженно, совместно или независимо друг от друга. В этом случае «состояние» бетона никак не проявляется и технолога не тревожит. Такое состояние бетона можно назвать виртуальным.

При длительном взаимодействии с окружающей средой изменяется наследственная структура бетона. Например, химическое взаимодействие сопровождается выщелачиванием, которое изменяет количество новообразований цементного камня, количество твердого компонента, величину пористости, прочность при сжатии и другие информационные поля бетона. В результате происходит отклонение от равновесия (от нормы) Здесь речь идет уже о бифуркации, т.е. о качественной (генетической) перестройке. Генетическая неустойчивость структуры бетона как бы включает универсальный принцип оптимальности», всегда обеспечивающий или отражающий стремление системы бетона к стабильности, ближе к точке равновесия. Из виртуального состояния бетон переходит в реальное, уже с определенной долей беспорядка в структуре. Происходит постепенная хаотизация структуры, информационных полей объекта. Это может привести к значительным и даже непредсказуемым последствиям. И здесь задача технолога, если это возможно, предсказать, к чему приведет система после прохождения точки изменения (бифуркации) – к самосохранению, к особой компенсаторной деятельности или к саморазрушению.

Взаимодействие системы «бетон – среда» математически описывается векторным полем в фазовом пространстве. Любая точка фазового пространства отражает состояние системы «объект – среда». Приложенный в точке вектор определяет скорость изменения состояния системы. Есть точки, где вектор обращается в нуль. Эта точка отражает положение равновесия (состояние системы не меняется в течении определенного времени). Фазовое пространство системы, отражающее стойкость бетона в окружающей среде, можно изобразить в осях координат, если по оси абсцисс отложить величины информационных полей среды (ИПС), например нагрузка (P), а по оси ординат – величины информационных полей бетона (ИПБ), например прочность (R_5), рис. 1. Размерность ИПС и ИПБ одна и та же.



Равновесное состояние системы отражено точкой r_c , когда соответствующей величине нагрузки P отвечает требуемая прочность бетона R_{δ} , т.е. это идеальное сосуществование подсистемы «бетон» и подсистемы «среда». Однако, точечное состояние равновесия неустойчиво и в системе устанавливаются плоскостные колебания от точки равновесия, в пределах которых обеспечена эксплуатационная надежность бетона. Точки 1, r_c , 3 соответствуют равновесной величине R_{δ} при диапазоне нагрузок от P_{\min} до $P_{\text{пред}}$. Точки 4, r_c , 2 обеспечивают равновесное состояние нагрузки при колебаниях прочности бетона от минимальной до предельной. Любая точка площади круга (область устойчивого равновесного состояния) – это установившееся равновесное состояние системы «бетон – среда», при параметрах ей соответствующих. В пределах площади круга (область устойчивого равновесного состояния) в бетоне идут процессы самоорганизации на самосохранение. Наружная граница этого круга (начало области неустойчивого равновесного состояния, т.е. начало области хаоса или бифуркаций) – это предельное состояние бетона, при котором эксплуатация его еще допустима. При подходе параметров системы к бифуркационному значению положение равновесия «умирает», слившись с равновесием хаоса, неустойчивого равновесия. За пределами круга (кривые не в области бифуркаций) в бетоне идут процессы самоорганизации на самоуничтожение. Замкнутая кривая второго круга (конец области бифуркаций и начало

области катастроф) – это предельный цикл бифуркаций. За внешней границей его начинается поле катастроф, т.е. скачкообразного изменения объекта, возникающее в виде внезапного ответа системы «бетон – среда» на плавное изменение внешних условий (среды). Как видим, самоорганизация ответственна за стойкость бетона в агрессивных средах.

Рассмотрим систему механических информационных полей «бетон – нагрузка». На примере работы колонны подвального помещения, распалубленной после монолитного бетонирования. По достижении передаточной прочности, она должна воспринять нагрузку от перекрытия. Механическое поле информации окружающей среды, т.е. величина нагрузки от перекрытия, должно быть адекватно механическому полю колонны, т.е. величине прочности бетона. И если это соответствие есть – существует равновесное состояние полей. По мере монтажа здания (сооружения) растет нагрузка от вышележащих этажей и одновременно растет прочность колонны, способная воспринять эту и в последующем эксплуатационную нагрузку. Продолжает существовать равновесие механических полей и состояние бетона колонн технолога не тревожит. Хотя нельзя отрицать подвижек, смещений твердых компонентов относительно друг друга внутри структуры бетона, т.е. перераспределение напряжений вызывает и возникновение деформаций в бетоне. В условиях благоприятной окружающей среды такие конструкции обладают долговечностью и выдерживают запроецированный им срок. Вектор двух сил, направленных в разные стороны $v=R_6-P$. При $R_6=P$, $v=0$ – это норма, положение устойчивого равновесного состояния системы «бетон-среда». При $R_6>P$, $v>0$ – запас прочности бетона, область устойчивого равновесного состояния системы. При правильной технологии и организации строительства эта область технолога практически не беспокоит. При $R_6<P$, $v<0$ – это область неустойчивого равновесного состояния, переход ко все большему хаосу. В этой области технолог должен научиться управлять подсистемой «бетон», с целью улучшения характеристик информационных полей зрелого бетона. Работы в этом направлении должны сопровождаться и разработкой нового оборудования и приборов, позволяющих без разрушения бетона определять его механические (прочность и др.), физические (влажность и др.), химические (степень гидратации и др.) и другие параметры информационных полей. При $R_6\ll P$, $v\ll 0$ – область катастроф. Здесь технолог может рекомендовать изменить некоторые свойства информационных полей окружающей среды (перепрофилировать

производство и др.), а конструктор усилит конструкцию, здание или сооружение (металлические бандажи и др.) Найти границы этих областей и научиться управлять подсистемой «бетон» в зрелом возрасте – задача научно-исследовательских работ.

Если же колонны твердеют в условиях пониженной влажности и сухих ветров и, даже в дождливую погоду под перекрытием не увлажняются, то, теряя воду затворения, они могут недобрать до 20% марочной прочности. Механические информационные поля таких колонн не соответствуют механическим информационным полям от возрастающей нагрузки по мере возведения вышележащих этажей. Это состояние неустойчивого равновесия и в бетоне колонны будут идти бифуркационные процессы деформаций, подвижек, трещинообразование, т.е. возникнут элементы хаоса, неадекватных ответов нагрузке. Технолог должен принять соответствующие меры и ввести колонну в положение устойчивого равновесия. К примеру, он обеспечит доступ воды внутрь бетона, увлажняя колонну частыми поливами или, обмотав рогожей, постоянно ее смачивать после чего покрыть влагонепроницаемой пленкой. Рост прочности бетона возобновится.

Когда колонны нижележащих этажей достигают заданной марки бетона, что обеспечивает устойчивое равновесие весь период строительства и от эксплуатационных нагрузок. Несмотря на это, по мере возведения здания и возрастания нагрузок информационное поле их находится в постоянном изменении, так как напряжения и деформации в них возрастают, реакции гидратации продолжаются и т.п. Даже при 100%-ной готовности колонн принять все нагрузки (монтажные и эксплуатационные) в них идут процессы самоорганизации. При статическом нагружении возникают напряжения и происходят определенные подвижки наружных и внутренних слоев бетона, т.е. идет процесс контактирования поверхностей. Причина этого в том, что бетон – капиллярно пористая структура. Он состоит из массы геометрически хаотичных (в виде выступов, острых граней, изломов, слабых участков и т.п.) и разнонаправленных твердых составляющих, частично или всесторонне граничащих с газообразной или жидкой средой. Технология контактирования их друг с другом нам представляется следующей. Сечение колонны (бетона) перпендикулярное нагрузке воспринимает ее вершинами выступов, неровностей, острых углов, образовавшихся в процессе твердения. Часть их направлена вертикально вверх, другая – вниз. При микроперемещениях, до перехода к относительному движению, между твердыми телами (выступами и др.) возникает так

называемое трение покоя. При перемещениях их друг относительно друга возникает трение движения. Иными словами, возникает какая-то поверхность тел, участвующих в трении. Под статической нагрузкой, соприкасаясь друг с другом, возникают зоны контактного касания. Деформация неровностей вызывает сближение поверхностей изломанных, пилообразных и т.п. По мере увеличения нагрузки поверхности больших выступов вступают в контакт с поверхностями малых выступов. Разновременность вхождения в контакт выступов, различающихся по высоте, дифференцирует их напряженное состояние и деформацию. Это особенно характерно при первичном нагружении, когда пластической деформации принадлежит ведущая роль в формировании фактической площади контакта. Входящие в контакт выступы вначале пластически расплющиваются, сминаются, т.е. изменяют линейные размеры без потери массы, а затем, разминаются, срезаются, раздавливаются, разрываются и вызывают поперечные напряжения. Чаще всего это происходит с внедрением более прочного, твердого выступа или того, геометрическая форма которого придает большее сопротивление деформации. Поперечные напряжения вызывают поперечные деформации и процесс их происходит аналогично описанному, но в вертикальной, параллельно нагрузке, плоскости. Идет процесс развития микротрещин, которые разделяют монолитный бетон на отдельные, индивидуально работающие, разной формы и размеров части. Они теряют устойчивость, разрушаются от изгиба, сминаются и срезаются под действием касательных напряжений в этом сечении. Если добавить к этому влажность среды внутри бетона, наличие новообразований, окружающей среды с ПАВ и т.п., при которых проявляется внешний и внутренний эффекты Ребиндера (а они проявляются именно при совместном действии среды и определенного напряженного состояния объекта), что оказывает еще более сильное воздействие на интенсивность контактирования и разрушения изломанных поверхностей. Кроме того, трение их друг о друга – это один из мощных методов ускорения химических реакций обнаженных, новых поверхностей вяжущего. Оно может сопровождаться выделением теплоты в микрообъемах, а при повышенных температурах физическая адсорбция может переходить в химическую. Трение, смятие, разрушение – это уже элемент процесса самоорганизации хаоса, в последующем приводящий к равновесной системе за счет дальнейшей гидратации «раскрывшихся» зерен цемента и последующем повышении прочности бетона колонны. Наличие химических реакций минералов цементного клинкера с водой и тем самым повышение

степени гидратации цемента будет зависеть от наличия в зоне сдвига твердых компонентов свободной, диффузионной или адсорбционно связанной воды. Если ее нет технолог обязан искать пути обеспечения прохождения химических реакций. Но, вполне возможно, что вновь открытые поверхности минералов вяжущего воспользуются и химически связанной водой рядом расположенных новообразований. Это реакции в твердом виде. Подобное может происходить и когда многоосновные новообразования переходят в менее основные с высвобождением части воды и «захватом» ее открытыми при сдвиге минералами цемента. Даже выбор нужной тонкости помола цемента может в нужный момент повысить прочность бетона. Известно, что при тонком помоле (цемент практически прогидратирован) долговечность бетона снижается. При более грубом помоле возможны еще (а при правильном назначении в нужный момент) реакции гидратации и «самозалечивание» микротрещин, возникающих в бетоне. Для нас главное в этом процессе то, что таких сечений, перпендикулярных и продольных нагрузке (статической или динамической) по высоте колонны бесконечное множество и то, что все это приводит к раскрытию массы новых поверхностей. Новые поверхности могут появиться от отделения новообразований от полностью непрогидратированных зерен цемента или от раскола непрореагировавших зерен цемента. Мы начали с того, что под нагрузкой информационное поле бетона постепенно переходит в зону хаоса, бифуркаций, неравновесного состояния с информационным полем окружающей среды, а заканчиваем тем, что окружающая среда (нагрузка) способствует повышению степени гидратации цемента, повышению прочности бетона при сжатии и возврату его и всей системы в равновесное устойчивое (более устойчивое) состояние. Это и есть процесс самопроизвольного возврата по вектору вверх, в оптимальный режим, к норме, ближе к точке устойчивого равновесия, что и называют самоорганизацией. Кроме того мы видим, что механические информационные поля среды, воздействуя на объект, изменяют характеристику его механического информационного поля. Последнее же, противодействуя первому, возрождает и «призывает на помощь» новое, химическое информационное поле, которое способствует улучшению характеристик объекта и противостоянию среды. Иными словами, внутри объекта механическое информационное поле (сдвиг обнажает непрореагировавшие зерна цемента) порождает химическое информационное поле (гидратация непрореагировавших зерен цемента), энергия которого вновь трансформируется в механическое информационное поле (повышение

прочности бетона колонны). Цикл преобразований внутри объекта замкнулся. Если окружающая среда динамического характера, то все (и не упомянутые здесь физические или тепловые) информационные поля, как бы объединяясь, совместно противостоят именно динамике среды. Если бы, кроме динамического, среда приобрела и химическое информационное поле (химически агрессивная среда), то процессы в объекте были бы сложнее, но также «дружно» кооперируясь противодействовали бы уже двум информационным полям среды. Здесь один процесс породил другой во благо всей системы, но, возможно, есть процессы подавляющие другие, опять же во благо всей системы «объект-среда». В противном случае технолог должен быть обеспокоен и принять соответствующие меры.

Если действуют динамические (знакопеременные, циклические, например удар), то в бетоне будут проходить процессы аналогичные стационарным. Однако характеристика информационного поля среды (частота, сила удара и др.) будет приводить не только к смещениям твердых компонентов структуры зрелого бетона, но и той части, которая вступила в реакцию по раскрывшимся в момент ударов площадям непрореагировавших зерен цемента, ослабляя еще не окрепшие связи новообразований. Хуже если эти новообразования, находясь в динамике, выступают в роли поверхностно активных веществ (ПАВ) и работает внутренний (адсорбция ПАВ на внутренних поверхностях раздела) эффект Ребиндера, еще более ослабляя механическое информационное поле бетона. Здесь, возрожденное ударами, химическое информационное поле слабо укрепляет постоянно ослабевающее механическое поле бетона, а эффект Ребиндера даже может подавлять его. Это пример взаимодействия той системы, в которой накапливается энергия в виде скопления дефектов и процесс может идти до полного разрушения. Очевидно у такой системы крайне малый срок или вовсе отсутствует область устойчивого равновесного состояния – самоорганизация на саморазрушение.

Некоторые подтверждения изложенному есть в исследованиях автора. Суть их заключается в том, что часть образцов-кубов с ребром 20мм твердела под постоянно увеличивающейся деформацией (нагрузкой), δ , другая часть – твердела в обычных условиях без приложения нагрузки(деформаций) и все испытывались в один и тот же заданный, t , срок. Первая часть образцов названа натурными и их прочность при сжатии $R_{\text{натур}}$, вторая – контрольными и их $R_{\text{контр}}$.

$t, \text{час}$	1	2	3	4	5
$R_{\text{контр.}} \text{ КПа}$	51	70	109	294	363
$\delta, \text{мм}$	0,53	0,83	1,14	1,37	1,5
$R_{\text{натур.}} \text{ кПа}$	135	160	240	310	370

Здесь свежееотформованные натурные образцы в течение 1 часа равномерно деформировались нагрузкой и при $\delta = 0,53$ мм в возрасте 1 часа разрушались. Аналогичные образцы в возрасте 5 час получали весь диапазон деформаций до 1 часа и от 0,53 до 1,5 мм за время от 1 до 5 час, а затем разрушались. Контрольные образцы деформациям не подвергались и имели прочность при сжатии ниже натуральных.

Знание основ самоорганизации системы «бетон – среда» порождает громадное количество нерешенных вопросов и проблем. Что касается бетона, то сейчас это стихийная самоорганизация, а в перспективе мы должны поднять ее на более высокий уровень - самоорганизацию с элементами контроля и, через него, управления. Поэтому научные исследования должны всесторонне раскрыть природу этого явления и выявить общие закономерности, чтобы уметь создать объект, уметь эксплуатировать и уметь предсказать длительность его эксплуатации в заданной среде.

Чернявский В.Л. Адаптация бетона. Днепропетровск. Нова Идеологія. 2002, 116 с.

Бондаренко О.Я. О самоорганизации. Кн. «Фундаментальные проблемы естествознания». С.-П. 2002, ч. II, с.408.

Гаркунов Д.Н. Триботехника. –М.: Машиностроение, 1985. –424 с., илл.

Берг О.Я. и др. Высокопрочный бетон. –М.: Стройиздат. 1971. –208 с.

Арнольд В.И. Теория катастроф. –М.; Изд-во МГУ, 1983. –80 с.