

**Неудовлетворительное
качество цемента как
возможная причина
коллапса бетонных систем.**

к.т.н. Б.Э.Юдович,

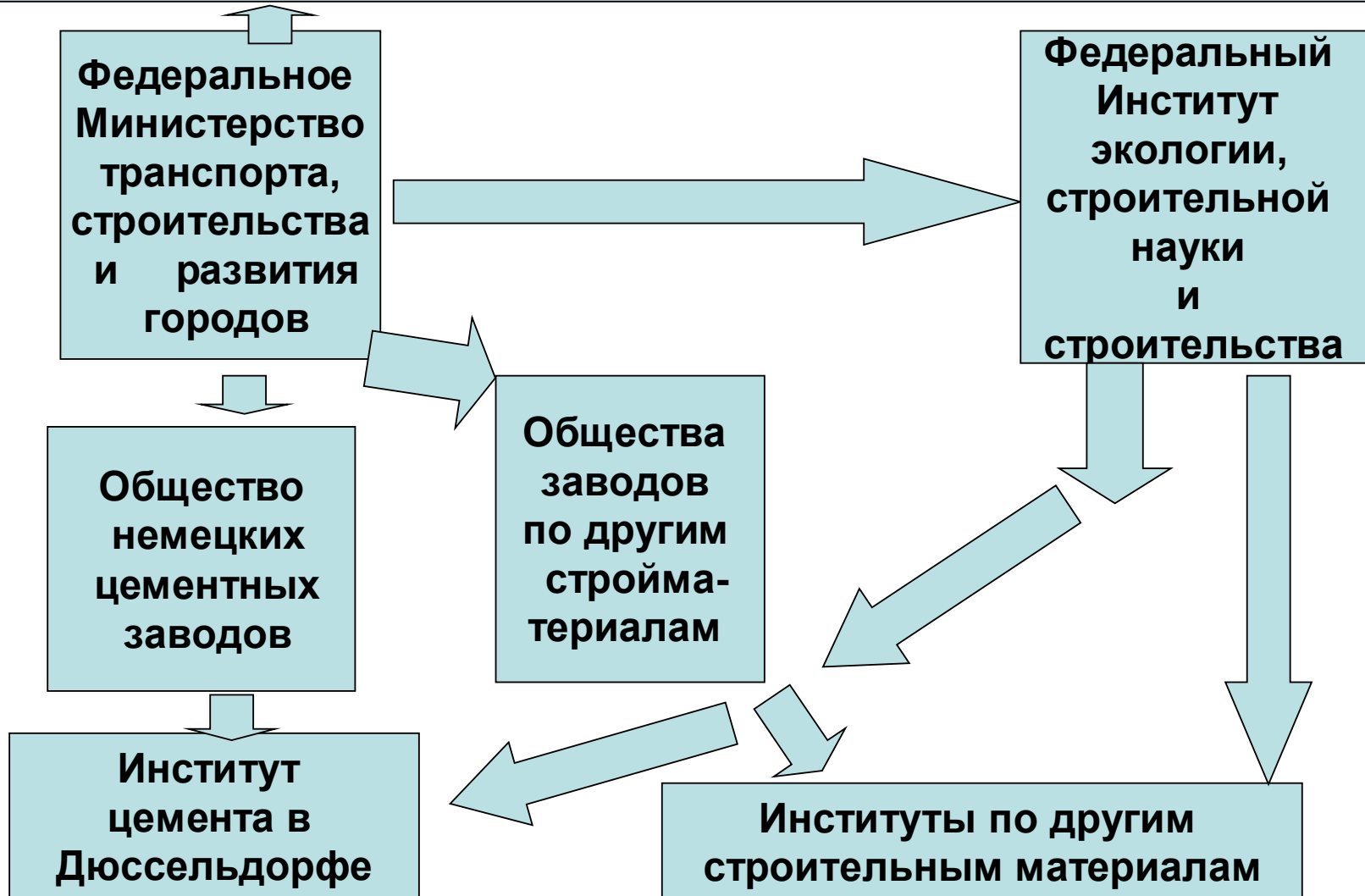
Н.Е.Берегова, Л.Г.Бернштейн.

Портландцементный клинкер это гидравлический материал, который должен состоять не менее чем из двух третей по массе силикатов кальция (3CaO SiO_2 и 2CaO SiO_2) остальная часть состоит из клинкерных минералов, содержащих алюминий и железо и другие компоненты. Отношение по массе $(\text{CaO})/(\text{SiO}_2)$ должно быть не менее 2,0. Содержание оксида магния (MgO) должно не превышать 5%.

Цемент: Порошкообразный строительный вяжущий материал, который обладает гидравлическими свойствами, состоит из клинкера и, при необходимости, гипса или его производных и добавок.

ГЕРМАНИЯ

Государственный Закон о строительных материалах от 1998 – 2006 г определяет принципы обращения со строительными материалами.

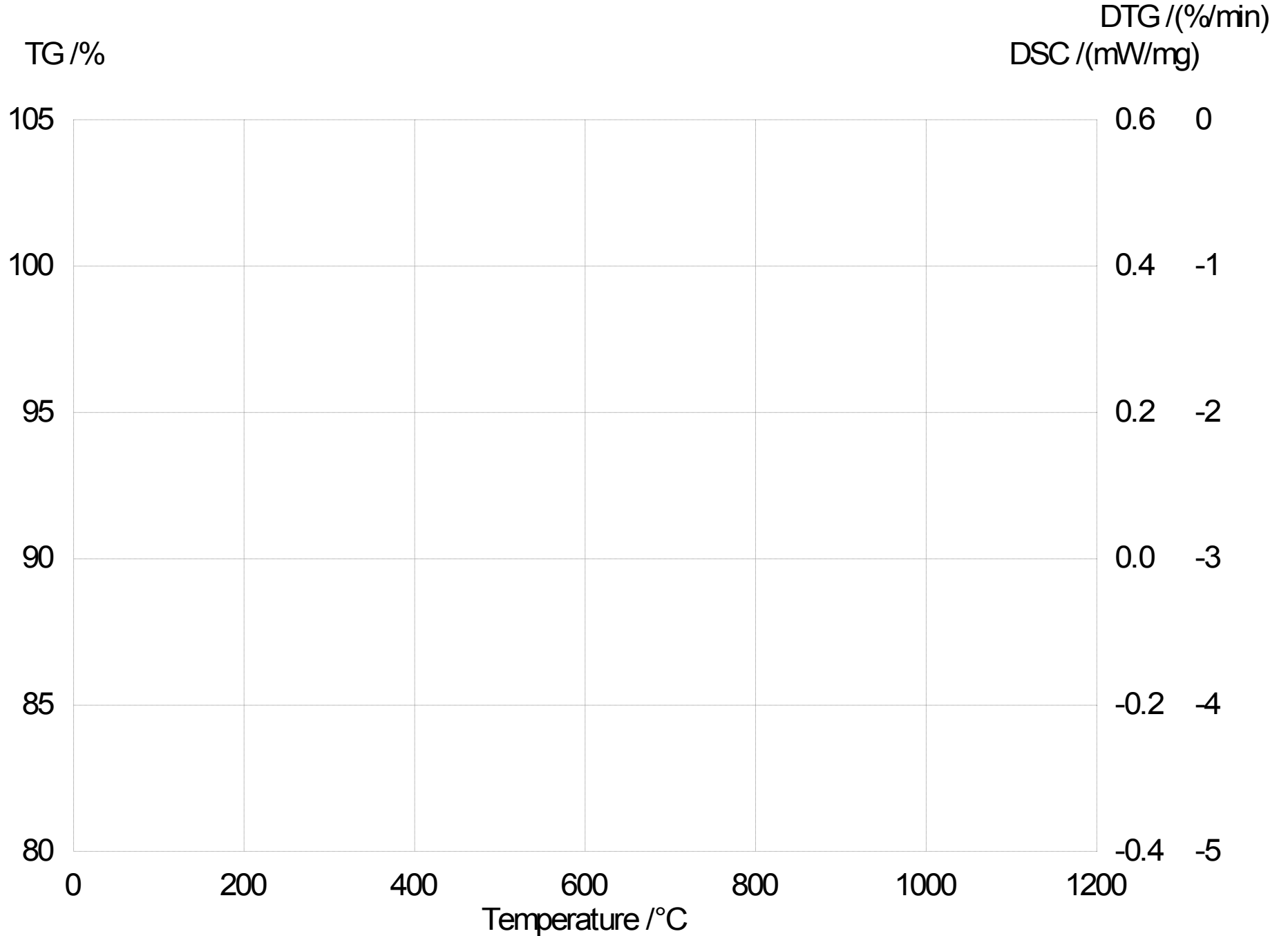


Коллапс (разрушение) бетонных систем во время их строительства и эксплуатации глубоко исследуется современной строительной наукой и контрольными органами во всем мире, поскольку является причиной серьезных происшествий и аварий, в том числе с жертвами. При этом в 2013 г. по сравнению с предыдущим годом число аварий удвоилось. В период 2008 – 2013 гг. из 2309 инцидентов более 80 разных типов 34% обусловлены ненадлежащим качеством бетона.









Первая особенность, бросающаяся в глаза, это мощный экзотермический эффект при температурах 50–100°C. Этот абсолютно необычный эффект может означать только одно: снятие подогревом плёнки, препятствующей гидратации клинкерной части образца. Плёнка постепенно убирается от 50 до 100 С, чему соответствует прирост массы образца на кривой TG, – пошла гидратация.

а) плёнка является неорганической и, поскольку все неорганические химические добавки в ГОСТ 25192 – электролиты и плёнок не образуют, приходится заключить, что плёнка обусловлена фазовым составом образца;

б) приостанавливать гидратацию клинкерной части цемента и сниматься в указанном температурном интервале могут только плёнки из гидро-алюминатов кальция (ГАК).

Отсюда следует, что при приготовлении бетонной смеси, из которой получен образец, произошло алюминатное ложное схватывание (ниже со-кращённо л.с.), вызвавшее резкое замедление гидратации алита (C3S). Оно именуется л.с. II типа и обуславливается (А. С. Кошмай, 1983) недостатком силикатных ионов в жидкой фазе цементного теста и, соответственно, алита в составе цемента.

Если алита достаточно, то при его гидратации в жидкой фазе цементного теста возникает золь $\text{SiO}(\text{OH})_2$, заряженный отрицательно, тогда как сросток ГАК, вызвавший л.с.ІІ, заряжен положительно, их взаимо-действие ликвидирует л.с. Если же алита не хватает то л.с.ІІ приводит к связыванию жидкой фазы бетона преимущественно на гидратацию алюминатов клинкера а на гидратацию алита свободной воды остаётся мало.

Такова одна из важных причин недобора бетоном проектной прочности, ибо основа прочности це-ментного камня – гидросили-каты кальция, а ГАК в портландцементе проч-ного сростка не формируют. Это отражение требования Богга , Браунмил-лера и Хансена к составу клинкера 66% силикатов кальция.

низко-основные ГАК захватывают из жидкой фазы бетона известь и в период от 1 до 7 суток формируют кристаллический гидроалюминат СЗАН6, кубические кристаллы которого расширяют твёрдую фазу бетона на 16 – 18 об.%. Эти кристаллы являются затравкой для всех ГАК, присутствующих в цементном камне, и когда их количество локально превышает 10 об.%, начинают рас- трескивание цементного камня.

Этот эффект проявляется слабо при В/Ц бетонной смеси менее 0,3, и тем заметнее, чем больше В/Ц, так что л.с. способствует его проявлению. Когда общее содержание ГАК доходит до 30% (в бетоне на глинозёмистом цементе), затравка из кубического ГАК приводит к падению прочности вплоть до полного разрушения (эффект Реваи, Венгрия, 1973 [12]). В данном случае локальный распад бетона в нагруженном состоянии может привести к коллапсу бетонной системы.

В исследуемом бетоне присутствуют непрогидратированные остатки исходных клинкерных фаз – алита, белита и алюмо-ферритов кальция. Из них отсутствует только С3А. В контрольном растворе фиксируются иные клинкерные фазы – алит и С3А, причём алит остался в заметно меньшем количестве, чем в исследуемом бетоне. Тем самым РФА подтверждает замедленную гидратацию клинкерной части цемента в аномальном бетоне.

Наиболее важным результатом является обнаружение $7\pm 2\%$ ран-кинита, минерала, который не должен содержаться в нормально обожженном клинкере.

Наличие этого минерала является явным и безусловным доказательством недожога клинкера, поскольку он является промежуточным продуктом генезиса белита в обжигаемой цементной сырьевой смеси, характерным для температурного интервала 1150 – 1230 С

Заключение. Неудовлетворительное качество исследованного бетона обусловлено критическим недостатком качества цемента вызванным недожогом клинкера, однозначно фиксируемом в бетоне по наличию минерала ранкинит C1,5S. В условиях недостатка силикатов кальция гидроалюминаты кальция в кубической форме локально увеличили объём твёрдой фазы бетона на 16-18%, что привело к его разрушению (эффект Реваи).