

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИФфуЗИОННОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ИОНОВ ХЛОРА В ЦЕМЕНТНОМ БЕТОНЕ

Важной характеристикой стойкости такого пористого материала как бетон по отношению к агрессивной среде является диффузионная проницаемость. От значения этой величины, например, зависит величина времени, в течение которого через защитный слой бетона конструкции проникают ионы хлора, вызывающие коррозию арматуры. Это, в свою очередь, позволяет просчитать исходные характеристики материала, обеспечивающие надежную эксплуатацию железобетонной конструкции в расчетные сроки [1, 2].

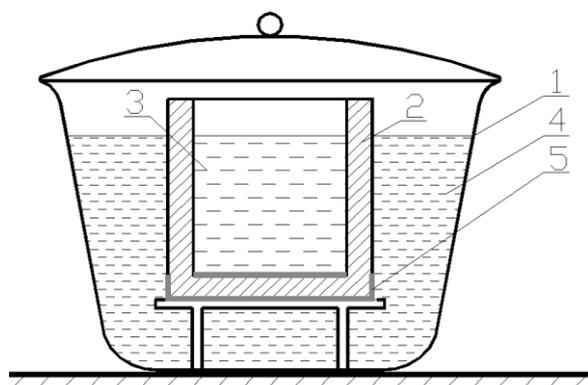
При исследовании диффузионных процессов необходимо смоделировать лабораторный эксперимент, в максимальной степени соответствующий реальной системе. На современном этапе к таковым относят методики по исследованию диффузионной проницаемости цементного бетона ионами хлора.

В настоящее время предложено более десяти различных методов испытания проницаемости бетона в хлоросодержащих средах. Все эти методы можно классифицировать следующим образом: *прямые диффузионные испытания*, основанные на погружении опытных образцов в хлоросодержащую среду, *ускоренные диффузионные испытания* во внешнем электрическом поле, *непрямые диффузионные испытания*, основанные на определении косвенных характеристик бетона.

Классическими представителями *прямых диффузионных испытаний* являются методы, включенные в EN 13396 и NT BUILD 443. Согласно методу в EN 13396, испытания проводят путем погружения цилиндрических образцов в 3% раствор NaCl, с последующим измерением содержания хлоридов на глубине 0..2; 4..6; 8..10 мм в течение 3-х периодов хранения (28 суток; 3 месяцев и 6 месяцев) [3]. В качестве рабочей рассматривается торцевая поверхность образца. Методика NT BUILD 443 принципиально от методики EN 13396 ничем не отличается. Миграция ионов хлора так же инициируется за счет высокого градиента концентрации вещества. Испытания проводят путем погружения образцов в ≈8% раствор NaCl как минимум на 35 дней и с последующим измерением поглощения хлоридов по глубине (причем с шагом, определяемым в соответствии с рекомендациями, приведенными в норме). В качестве рабочей также рассматривается торцевая поверхность образца, а остальные поверхности покрывают эпоксидным композитом [4]. В обоих методах параметры проницаемости исследуемого материала получают за счет построения профиля распространения хлорид-ионов по глубине испытываемых образцов, пример которого показан на слайде. Однако определение содержания хлорид-ионов по глубине образца предложенным в методике методом объемного титрования AgNO<sub>3</sub>, с малым шагом определения, является весьма трудоемкой задачей, с которой мы столкнулись на практике. Так же к явным недостаткам рассмотренных методик относятся значительные временные затраты, необходимые для выполнения экспериментов [5].

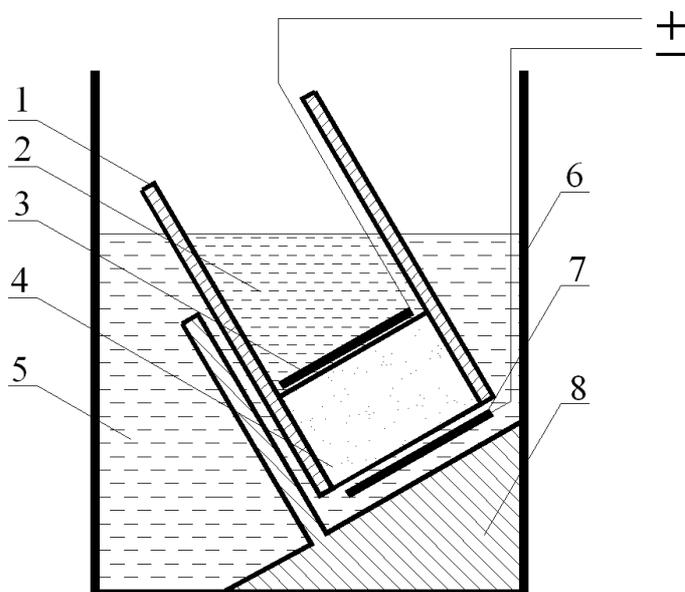
Отдельно хотелось бы рассмотреть методику прямых диффузионных испытаний, разработанную ООО «Интел Групп», так эта методика весьма оригинальна и проста в исполнении. Эффективный коэффициент диффузии ионов хлора определяется при испытании бетонных образцов-стаканов со стенками и дном толщиной 20 мм. В качестве

рабочей рассматривается горизонтальная плоскость распространения ионов хлора, поэтому дно и наружная поверхность стенки изолируются. В стакан заливаются 5-процентный раствор  $\text{NaPI}$ , и он помещается в эксикатор с дистиллированной водой, уровень которой находится на уровне внутреннего раствора. Периодически (в течение не менее 4 месяцев) из внутреннего и внешнего растворов отбираются пробы для химического анализа содержания ионов хлора. К недостаткам данной методики можно отнести длительность эксперимента, сложность выдерживания в течение длительного срока постоянства температурного режима (что является важным условием объективности получаемых значений диффузионной проницаемости различных составов бетона, подвергаемых испытаниям), а также незначительную толщину стенок стакана (как следствие, можно проводить испытания только мелкозернистых бетонов) [6]. Установка для проведения испытаний по данной методике изображена на рисунке 1.



1 – эксикатор; 2 – исследуемый образец;  
3 – раствор  $\text{NaCl}$ ; 4 – дистиллированная вода;  
5 – изоляция эпоксидным композитом  
**Рисунок 1 – Схема установки по исследованию диффузии ионов хлора в цементном материале по методике ООО «Интел-Групп»**

К ускоренным методам испытаний относится метод, изложенный в NT BUILD 492. Установка для ускоренного испытания миграции хлоридов изображена на рисунке 2. Испытания проводят создавая внешний потенциал 10-60 В через образец с торцевой рабочей поверхностью, помещенной в 10% раствор  $\text{NaPI}$ , а на противоположной грани располагают 0,3М раствор  $\text{NaOH}$ . Длительность испытаний, как правило, составляет 24 часа. После раскалывают образец и измеряют положение фронта распространения ионов хлора методом объемного титрования [7].



1 – резиновая труба;  
2 – электролит в прианодной области (анолит); 3 – анод;  
4 – образец; 5 – католит (катодная жидкость);  
6 – пластиковая емкость;  
7 – катод; 8 – пластиковая опора  
**Рисунок 2 – Установка для ускоренного испытания миграции хлоридов**

К третьей группе методов испытаний (*непрямые диффузионные испытания*) относится метод AASHTO T-277. Согласно этому методу параметры проницаемости бетона оцениваются и вычисляются по косвенному параметру – по количеству электричества в Кулонах, прошедшего через бетонный образец за 6 часов при разности потенциалов постоянного тока 50 вольт [6]. К *непрямым методам испытаний* так же относится методика, внесенная в стандарт РФ (ГОСТ Р 31383-2008). В опытах используются стандартные образцы-балки размером 40x40x160 мм с установленными в них стальными электродами. При подключении их к источнику постоянного тока определяется параметр удельного сопротивления бетона. Также этот параметр определяется и в водной вытяжке из цементного камня исследуемого состава бетона. Именно по значениям этих косвенных параметров и вычисляется параметр диффузионной проницаемости исследуемого состава [8]. В качестве основного недостатка предложенного метода хотелось бы отметить относительную сложность исполнения опыта и моделирования испытательных установок.

Перед исследователями УО БрГТУ была поставлена задача изучения диффузионной проницаемости ионов хлора следующих цементных составов:

- *Состав I.*

Цементный камень, полученный затворением портландцемента ПЦ500 Д0 дистиллированной водой с водоцементным отношением В/Ц = 0,29 (нормальная густота).

- *Состав II.*

Цементный камень, полученный затворением того же портландцемента дистиллированной водой с В/Ц = 0,29 и введением суперпластифицирующей добавки SiKA в количестве 0,2% (на сухое вещество) от массы цемента.

- *Состав III.*

Цементный камень, полученный затворением портландцемента дистиллированной водой (В/Ц = 0,29) с введением гиперпластифицирующей добавки FREYGIPER в количестве 0,2% (сухого вещества) от массы цемента.

- *Состав IV.*

Цементный камень, полученный затворением портландцемента дистиллированной водой (В/Ц + 0,29) с последующим введением гранитного щебня фракции 5..10 мм в соотношении по объему – цементное тесто : щебень – 1 : 1.

Актуальность исследований именно этих цементных составов обусловлена тем, что для бетонов с низкими значениями водоцементного отношения при использовании гиперпластификаторов данные по коэффициентам диффузии полностью отсутствуют. Для проведения исследования из всех вышеперечисленных были апробированы два метода: метод испытания ООО «Интел Групп» и метод из европейских норм NT BUILD 492.

Результаты испытаний, проведенных в соответствии с методикой ООО «Интел Групп», а конкретно – значения полученных коэффициентов диффузии, представлены в табл. 1. Однако стоит отметить, что оригинальная методика была изменена для упрощения подготовки испытываемых образцов. Так вместо стаканов круглого сечения были использованы стаканы квадратного сечения с внешними размерами 100x100x100 мм со стенками также толщиной 20 мм. В остальном ход эксперимента от оригинальной методики не отличался.

Методика ускоренных испытаний NT BUILD 492 была скорректирована и дополнена положениями методики NT BUILD 442 (прямые диффузионные испытания). Результаты испытаний представлены в таблице 2. Исследуемые образцы из цементных материалов

диаметром 100 мм и высотой 200 мм до производства испытания выдерживались в среде со стопроцентной влажностью воздуха. Далее образец после 28 суток твердения распиливался на три части толщиной каждый по 6,6 см. Два образца снова возвращались во влажную среду для продолжения твердения и испытания их в возрасте 2 и 3 месяца. Третий образец испытывался в поле постоянного тока соответствии с методикой европейских норм. Потом образец разрезался на три равные части толщиной по 2,2 см, и для каждой из этих частей определялась концентрация хлор-ионов.

Таблица 1 – Эффективные коэффициенты диффузии, полученные в результате прямых диффузионных испытаний (ООО «Интел Групп»)

Номер состава материала	Эффективный коэффициент диффузии ионов хлора ( $\text{мм}^2/\text{с} \cdot 10^{-6}$ ) при испытании через:			
	28 суток	60 суток	90 суток	180 суток
I	7,2	4,7	3,7	1,9
II	6,0	4,0	3,6	1,8
III	5,7	2,7	2,5	1,5
IV	7,9	5,4	4,5	2,2

Таблица 2 – Эффективные коэффициенты диффузии, полученные в результате ускоренного метода испытаний (NT BUILD 492)

Состав исследуемых образцов	Эффективный коэффициент диффузии ( $\text{мм}^2/\text{с} \cdot 10^6$ ) при испытании цементных образцов после предварительного их твердения (сут):		
	28 суток	60 суток	90 суток
I	2,7	2,3	2,2
I	2,0	2,0	1,97
III	1,7	2,1	2,0
IV	2,8	2,7	2,5

И хоть результаты исследований по разным методикам имеют некоторое расхождение, логически они хорошо согласуются с исследованиями по методике с выдерживанием образцов только при градиенте концентрации ионов хлора. Например, результаты исследования показали ускоренный перенос ионов хлора в составе IV, что заведомо обусловлено наличием в нем транзитного слоя между цементным камнем и поверхностью заполнителей. Так же, в качестве своеобразной проверки результатов, полученные значения коэффициентов диффузии сопоставлялись со значениями коэффициентов диффузии для похожих цементных составов, приведенных в различных литературных источниках.

В качестве *заключения* хотелось бы отметить, что в данной статье дана краткая характеристика основных существующих на сегодняшний день методов исследования диффузионной проницаемости ионов хлора в цементном бетоне, с последующей попыткой их классификации. Приведены некоторые замечания касательно практического выполнения вышеизложенных методик (в том числе замечания, которые были отмечены исследователями УО БрГТУ при проведении собственных испытаний по вышеизложенным методикам). В работе так же приведены результаты собственных исследований по методикам NT BUILD 492 и ООО «Интел Групп», по итогам анализа которых можно сделать вывод о том, что предложенные изменения и упрощения, внесенные в оригинальные методики, являются весьма практичными (существенно упрощают проведение эксперимента) и не оказывают влияния на достоверность получаемых результатов.

### Список цитированных источников

1. Москвин, В.М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин [и др.]. – М.: Стройиздат – 1980. – С. 535.
2. Ковалев, Я.Н. Физико-химические основы технологии строительных материалов / Я.Н. Ковалев. – Мн.: Новое знание. – 2012. – С. 284.
3. Products and systems for the protection and repair of concrete structures, Test methods. EN 13396–1:2002: Part I. Measurement of chloride ion ingress by Diffusion of repair mortars and concretes.
4. Concrete, Hardened, Accelerated Chloride Penetration: NT BUILD 492:94.
5. Resistance of concrete to chloride ingress – From Laboratory tests to in-field performance – Report, project № GRD1-202-71808-CHLORTEST – January 2003-December 2005. – 273 p.
6. Тур, В.В. Методы испытания проницаемости бетона в хлоросодержащих средах в соответствии с требованиями европейских стандартов / В.В. Тур, В.Н. Плосконовов, В.М. Добрунова, А.В. Замировский. – Мн.: СтройМедиаПроект. – 2013. – С.179-198.
7. Concrete, Mortar and Cement Based Repair Materials: Chloride Migration Coefficient from Non-Steady State Migration Experiments: NT BUILD 492:99.
8. Способ определения диффузионной проницаемости бетона: пат. 2269777 Российская Федерация / Н.К. Розенталь, Г.В. Чехний, Д.Ю. Фёдоров; заявл. 10.02.2006.

УДК 528.486.3.

**Каракулов Ю.Т.**

**Научный руководитель: ст. преподаватель Крючкова Л.С.**

## АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ СПОСОБОВ РАЗБИВОЧНЫХ РАБОТ

Целью настоящей исследовательской работы являлось анализирование и сравнение точности различных способов разбивочных работ.

Разбивочные работы являются одним из основных видов инженерно-геодезической деятельности. Выполняют их для определения на местности планового и высотного положения характерных точек и плоскостей строящегося сооружения в соответствии с рабочими чертежами проекта.

На точность разбивочных работ влияют погрешности из-за центрирования прибора и визирных целей ( $m_{Ц}$ ), погрешности фиксации точки на местности или конструкции сооружения ( $m_{Ф}$ ), погрешности собственно разбивочных работ ( $m_{РР}$ ), которые зависят от геометрии способа разбивки, а также погрешности исходных данных ( $m_{ИСХ}$ ), зависящие от точности определения координат геодезической разбивочной основы. При этом погрешности  $m_{ИСХ}$  и  $m_{Ц}$  определяются и геометрией способа разбивки. С учетом этого общая погрешность разбивки ( $m_{Р}$ ) определится суммой всех перечисленных выше погрешностей в вероятностном её выражении:

$$m_{Р} = \sqrt{m_{ИСХ}^2 + m_{Ц}^2 + m_{Ф}^2} \quad (1)$$

Выполним оценку каждого из слагаемых формулы (9.31) в зависимости от геометрии способа разбивки. При этом рассмотрим здесь только четыре основных способа разбивки, наиболее часто используемых при проведении указанных работ: способ прямой угловой засечки; способ обратной угловой засечки; способ линейной засечки; способ полярных координат.