Строительство уникальных зданий и сооружений. ISSN 2304-6295. 5 (32). 2015. 84-94



Непрерывный мониторинг движения меридиональных трещин, возникающих в оболочках градирен под воздействием внешних факторов

Е. Айзенкрайн¹

ZERNA Baumanagement GmbH, 44801, 162 Lennershof st, Бохум, Германия

Информация о статье	История	Ключевые слова
УДК 69.058.2	Подана в редакцию 22 апреля 2015 Принята 13 мая 2015	меридиональные трещины, характеристики распространения трещин, датчики распространения трещин,
Научная статья		
		мониторинг трещин,
		трещины в градирнях

АННОТАЦИЯ

Довольно часто в бетонных оболочках возникают вертикальные трещины большой длины. Иногда в таких случаях возникает вопрос: можно ли применять сшивающие покрытия для трещин, чтобы избежать попадания из рабочей или окружающей среды агрессивных компонентов, оказывающих разрушительное воздействие на бетон или армирование? Чтобы понять, какой тип покрытия следует использовать, нужно определить характеристики распространения трещины. На примере будет показано, как можно измерить движение краев трещины снаружи и внутри оболочки и как это повлияет на покрытие.

Содержание

1.	Введение	85
2.	Используемое оборудование	86
3.	Выбор объекта, установка оборудования, результаты измерений	87
4.	Возможность реализации и оценка методики измерения	90

¹ Контактный автор: +4 917 978 456 60, hei@zerna-bm.eu (Айзенкрайн Елена, управляющий)

1. Введение

Меридиональные трещины часто встречаются в железобетонных оболочках градирен с естественной тягой старой конструкции (Крэтциг и др. 2003). Возникновение трещин зачастую (по мнению современных специалистов) связано со слабой конструкцией кольцевой косвенной арматуры при одновременном использовании марок бетона высокой прочности; они возникают преимущественно на участках, где внешняя поверхность бетонной оболочки подвергается максимальной инсоляции. В последнем случае предполагается, что кольцевые растягивающие напряжения возникают с внутренней стороны оболочки в период простоя вследствие того, что внешняя сторона подвергается интенсивному нагреву, при этом возникает перепад температуры в толще бетона между внешней и внутренней поверхностями оболочки, что приводит к возникновению меридиональных трещин в случае превышения предела прочности бетона на растяжение.

На рисунке 1 зеленым цветом отмечены несколько трещин длиной 40–60 м, образовавшиеся в оболочке градирни, построенной в 1960-х гг., в юго-западной части на уровне середины. Некоторые из них были обнаружены в ходе исследования состояния 14 градирен с естественной тягой подобной конструкции, которое проводилось на протяжении нескольких лет (Энгельфрид и др. 2012). Ширина большинства из этих трещин составляет Δw 0,2–2,0 мм.



Рисунок 1. Градирня, оснащенная установкой для десульфуризации дымовых газов, два датчика перемещения краев трещин, установленные на одной меридиональной трещине – один снаружи и один изнутри

На рисунке 2 показана оболочка градирни с естественной тягой более позднего поколения (1980-е гг.). Здесь также было обнаружено несколько меридиональных трещин в бетонной оболочке. Самая крупная (w_{Max} = 0,5 мм) образовалась на юго-восточном участке (Дорге и др. 2008, Экштайн и др. 2012).

Появление трещин подобного рода отражается не только на устойчивости конструкции, но и на состоянии материала градирни, поскольку вода, применяемая в стандартном рабочем цикле, подкисленный конденсат из системы вывода дымовых газов или же хлористые отложения на бетоне при использовании

Айзенкрайн Е. Непрерывный мониторинг движения меридиональных трещин, возникающих в оболочках градирен под воздействием внешних факторов. /

Eisenkrein H. Continuous measuring of moving crack width of severing meridian cracks in cooling tower shells caused by external influences.

морской воды могут вызывать повреждения бетона и арматуры различной степени в зоне образования трещины.

Помимо герметизирующих инъекций для закрытия трещин в качестве защитных систем также используются полимерные покрытия в самых различных формах (VGB-R 612 е 2010). Возможность применения подобной системы определяется, помимо прочего, степенью ее пластичности, от которой зависит ее способность закрывать на длительный срок трещины, края которых перемещаются под влиянием рабочих и атмосферных нагрузок.

Информация о перемещении краев трещины является наиболее существенной при оценке пригодности той или иной системы материалов и ее характеристик. С достаточной уверенностью подобную информацию можно получить только путем проведения измерений на местах; замеры следует по возможности осуществлять в течение всего года с целью регистрации суточных и сезонных изменений температуры – основного параметра, отвечающего за распространение трещины в ширину. Целью настоящей статьи является рассмотрение данного вопроса. В статье описывается оборудование, его установка на оболочку двух градирен, а также сам процесс измерения. Также представлены выдержки из результатов измерения.



Рисунок 2. Градирня для нормального режима эксплуатации, четыре датчика распространения трещин в ширину на одной меридиональной трещине – три снаружи и один изнутри

Результаты измерений рассматриваются только в текущем контексте выработки необходимых мер по защите конструкции сооружений. Результаты определения параметров изменения ширины трещины в данном случае не используется для проведения анализа безопасности несущих конструкций, не смотря на то, что данные, полученные с применением данного метода измерения, могут оказаться полезными при прояснении вопросов, связанных с состоянием несущих конструкций.

2. Используемое оборудование

Для регистрации распространения трещины в ширину применяется механический/электронный датчик высокого разрешения (с точностью до 2,5 мкм). Данные, регистрируемые механически, преобразуются в электронные сигналы и передаются по проводу от точки измерения на трещине к регистрирующему устройству, расположенному внизу, в памяти которого они и сохраняются. Полученные данные могут быть переданы на ПК посредством интерфейсного кабеля и представлены в графической форме при помощи специально разработанного ПО.

Айзенкрайн Е. Непрерывный мониторинг движения меридиональных трещин, возникающих в оболочках градирен под воздействием внешних факторов. /

Eisenkrein H. Continuous measuring of moving crack width of severing meridian cracks in cooling tower shells caused by external influences.

3. Выбор объекта, установка оборудования, результаты измерений

Мы осознанно отобрали две градирни, о которых было заранее известно, что ширина присутствующих на их поверхности трещин может изменяться.

Градирня, показанная на рисунке 1 в виде развертки, была построена в 1968 г. с использованием шлакопортландцемента, класс бетона В 25. Первые 15 лет градирня эксплуатировалась в нормальном режиме. После переоборудования (на внутреннюю поверхность оболочки было нанесено покрытие) в течение 30 лет вплоть до настоящего времени она эксплуатировалась вместе с установкой для десульфуризации дымовых газов. Несколько лет назад в юго-западных секторах были обнаружены меридиональные трещины длиной 40–60 м и шириной 0,2–2 мм. По большей части они представляют собой сквозные трещины.

На развертке видно, что датчики перемещения краев трещин были установлены на меридиональной трещине, проходящей с перерывами по линии меридиана М106/М107 с внутренней и внешней стороны оболочки на высоте R 53 и R 62. На рисунке 3 показан небольшой участок данной меридиональной трещины. Она имеет форму канавки вследствие того, что подкисленный конденсат многие годы просачивался сквозь трещину, ширина которой на тот момент составляла прибл. 0,4 мм, и растворил цемент на глубину 2–4 см. На трещину был нанесен слой полимерцементного бетона (РСС), на который был установлен датчик перемещения краев трещины (см. рис. ниже). Установленный датчик аналогичен датчику, показанному на рисунке 4.



Рисунок 3. Основание из полимерцементного бетона (РСС) для установки датчика перемещения краев трещины на участке канавки, образованной меридиональной трещиной.

Рисунок 4. Датчик перемещения краев трещины, установленный на участке меридиональной трещины, в защитном боксе из акрилового стекла.

87

Датчик перемещения краев трещины установлен горизонтально внутри защитного бокса на уголке из легкосплавного металла, справа от трещины и вкручен в бетонную поверхность. Слева от него, а также слева от трещины – на расстоянии прибл. 10 мм от горизонтального уголка – в оболочку вкручен ограничитель датчика. Перемещение краев трещины регистрируется механически при помощи металлического штифта, упирающегося в ограничитель датчика, значения преобразуются в электронные сигналы, после чего передаются по закрепленному на оболочке проводу на регистрирующее устройство.

На рисунке 2 показана развертка оболочки второй градирни с естественной тягой, которая была построена в 1983 г. с применением портландцемента, класс бетона В35. Градирня использовалась в нормальном режиме с самого начала и по настоящее время. Несколько меридиональных трещин образовалось с внешней стороны оболочки.

В ходе обследования меридиана М 61 (запад-юго-запад) с внешней стороны оболочки с использованием подвесного оборудования была выявлена непрерывная быстро изменяющаяся

Айзенкрайн Е. Непрерывный мониторинг движения меридиональных трещин, возникающих в оболочках градирен под воздействием внешних факторов. /

Eisenkrein H. Continuous measuring of moving crack width of severing meridian cracks in cooling tower shells caused by external influences.

меридиональная трещина на участках R 48–R 4. Ширина трещины составляла 0,2–0,6 мм. С внутренней стороны оболочки при обследовании меридиана 61 трещина не была обнаружена.

Трещина на меридиане 17 (восток-юго-восток) с внешней стороны оболочки была заметна с земли. Она начиналась на уровне, прибл. соответствующем верхнему краю градирни, и проходила непрерывно вплоть до уровня R 20. Обследование внутренней поверхности оболочки показало, что положение внутренней и наружной трещин практически совпадало, что однозначно указывало на наличие сквозной трещины. Ширина трещины изнутри и снаружи варьировалась в пределах 0,1–0,5 мм. Снаружи, на некоторых участках трещины были видны следы потемнения.

Датчики изменения ширины трещины были установлены на меридиане 17 с внешней стороны оболочки на трех разных уровнях, а с внутренней стороны оболочки на одном уровне. Соответствующие точки замеров отмечены на рисунке 2. На рисунке 4 показан датчик, установленный на внешней поверхности оболочки на уровне R 58.

Регистрация данных на обеих градирнях была запущена осенью 2009. Изменения ширины трещин фиксировались на протяжении года. В течение этого времени выбирались участки, как с малой, так и большой периодичностью регистрации значений. В каждом подготовленном отчете (Энгельфрид 2009) приводится подробная информация по перемещению краев трещин во всех четырех точках проведения замеров.

Показаны изменения ширины трещины, для которых можно выделить две основных зависимости: вопервых, отчетливо прослеживается изменение ширины трещины в зависимости от температуры в течение суток, степень выраженности которой значительно меняется от сезона к сезону. Во-вторых, края трещины начинают перемещаться вследствие разницы амплитуды температурных колебаний в теплое и холодное время года. Помимо этого, следует отметить также неоднородность в диапазоне изменения ширины трещины, которая может быть вызвана перераспределением нагрузки после возникновения структурных изменений бетона в зоне трещины.

Изменение ширины трещины под воздействием ветра однозначно выделить из полученных записей невозможно, поскольку даже в случае частого съема показаний обнаружить соответствующие перемещения не получилось.

Тем не менее, стало ясно, что изменения ширины трещины были более выраженными в градирне, используемой для отведения дымовых газов, чем в градирне, функционирующей в нормальном режиме. На рис. 5 показаны данные за почти три месяца, в течение которых производилась регистрация показаний для трещины с внешней стороны оболочки градирни, оснащенной установкой десульфуризации. Изменение ширины трещины происходит в диапазоне ∆w, составляющем прибл. 2 мм. Колебания носят прерывистый характер, поэтому их амплитуда также часто меняется. Оба параметра в значительной мере обусловлены изменением наружной температуры.



Рисунок 5. Градирня, оборудованная установкой для десульфуризации дымовых газов, внешняя поверхность R 62, кривая перемещения краев трещины с 20.04 по 09.07.2010

88

Айзенкрайн Е. Непрерывный мониторинг движения меридиональных трещин, возникающих в оболочках градирен под воздействием внешних факторов. /

На рисунке 6 показаны изменения в течение почти четырех недель для меридиональной трещины на внутренней стороне оболочки градирни, используемой в нормальном режиме. Отчетливо прослеживаются ежедневные пики закрытия и раскрытия трещины, при этом кривая изменяется относительно исходного положения (нуля). Диапазон изменения ширины трещины, расположенной на меридиане М 17 с внешней стороны оболочки градирни, эксплуатирующейся в нормальном режиме, составляет прибл. ∆w = 0,25 мм.



Рисунок 6. Градирня, эксплуатируемая в нормальном режиме, внутренняя поверхность R 49, кривая перемещения краев трещины с 20.10 по 17.11.2009

И, наконец, на рисунке 7 показано изменение ширины трещины за период 15 дней на том же участке оболочки, однако измеренное с использованием двух датчиков, один из которых был установлен с внутренней, а другой с внешней стороны сквозной трещины на градирне, оборудованной установкой для десульфуризации газов. На определенных участках фазы раскрытия и закрытия одной и той же трещины в некоторых случаях совпадают.



Рисунок 7. Градирня, оборудованная установкой для десульфуризации дымовых газов, попеременное изменение ширины трещины с внутренней и внешней стороны оболочки

89

Айзенкрайн Е. Непрерывный мониторинг движения меридиональных трещин, возникающих в оболочках градирен под воздействием внешних факторов. /

Eisenkrein H. Continuous measuring of moving crack width of severing meridian cracks in cooling tower shells caused by external influences.

4.Возможность реализации и оценка методики измерения

Условия, при которых осуществляется регистрация параметров изменения ширины трещины, являются довольно сложными ввиду необходимости использования специального оборудования для установки датчиков трещин на поверхность оболочки (подъемное оборудование и рабочая платформа). Установка датчиков на внутренней поверхности возможна только после прекращения эксплуатации градирни.

Ввиду того, что измерение ширины трещины осуществляется механическим/электронным датчиком, а также вследствие того, что измерительное оборудование подвергается воздействию внешних факторов внутри (нагрев, влажность, возможное наличие дымовых газов) и снаружи градирни (атмосферное воздействие), к надежности оборудования предъявляются особые требования. Для обеспечения непрерывной регистрации данных необходимо использовать дополнительное защитное оборудование. Длина кабелей в данном случае достигала 100 м, вследствие чего поставщики измерительного оборудования не могли гарантировать стабильную передачу данных в течение длительного срока.

Выбор компонентов и способ размещения систем показали, что регистрация и передача данных об изменении ширины трещины возможна даже в очень сложных условиях, как при использовании градирни в нормальном режиме, так и в случае отвода через нее дымовых газов. Регистрация изменения ширины трещины возможна в нижнем микрометрическом диапазоне измерений. Однако выполнение измерений на протяжении всего года показало, что отдельные системы (датчик–кабель–регистратор) в сложных условиях могут полностью выходить из строя, если установлены внутри или снаружи функционирующей градирни. Поэтому рекомендуется использовать соответствующее количество дублирующих систем.

Пока еще сложно однозначно утверждать о причинах перемещения краев трещин, однако результаты являются многообещающими и могут быть использованы в целях, обозначенных в самом начале, т. е. для защиты зданий. Профили нагрузки для покрытий, заполняющих трещины, могут быть определены на основании параметров изменения ширины трещины в зависимости от сезона или в отдельные дни в течение данных периодов времени (Айзенкрайн и Энгельфрид 2007). Это позволяет понять, можно ли использовать для подобной трещины заполняющие покрытия.

Изменения ширины трещины, показанные на рисунке 5, едва ли можно регистрировать с использованием систем, представленных на рынке, в подобных рабочих условиях вследствие перемещения ее краев в диапазоне 2 мм. Ситуация отличается для случая изменения ширины трещины, отраженного на профиле изменений на рисунке 6. Учитывая остальные параметры, существует возможность обеспечить стойкую защиту при использовании эластичной системы покрытия.

Литература

- Dorge A, Eckstein U, Wörmann R 2008. Sicherheitsanalyse des Naturzugkühlturms KW Ibbenbüren Block B. Beton- und Stahlbetonbau 103 (1): Pp. 20 - 27.
- [2]. Eckstein U, Placzek D, Wörmann R 2012. Structural Interaction between Cooling Towers and Subsoil based on executed Projects, Proc. of 6th International Symposium on Cooling Towers, Cologne, Germany, June 20-23, 2012.
- [3]. Eisenkrein H, Engelfried R 2007. Rissüberbrückungsfähigkeit viskoseelastischer Betonbeschichtungen realitätsnah prüfen, farbe + lack, Vincentz Network 12-2007.
- [4]. Engelfried R 2009. Expert status analyses of natural draught cooling towers with results of crack width change characteristics, RWE Power AG, unpublished.
- [5]. Engelfried R, Siegert U, Eisenkrein H 2012. AGENDA 2030: Polymer coated shell insides of 14 RC cooling towers under horizontal FGD. Monitoring system for long term operation, Proc. of 6th International Symposium on Cooling Towers, Cologne, Germany, June 20-23, 2012.
- [6]. Krätzig WB, Montag U, Petryna YS 2003. Schädigung, Dauerhaftigkeit und (Rest)-Nutzungsdauer von Tragwerken, Bauingenieur 78 (12): Pp. 553 -561.
- [7]. VGB-R 612 e 2010. Protection Measures on Reinforced Concrete Cooling Towers and Chimneys against Operational and Environmental Impacts, Third Edition. Essen: VGB PowerTech e.V
- [8]. Bamu, P.C., Zingoni, A. Damage, deterioration and the long-term structural performance of cooling-tower shells: A survey of developments over the past 50 years (2005) Engineering Structures, 27 (12 SPEC. ISS.), pp. 1794-1800.
- [9]. Gould, P.L., Guedelhoefer, O.C. Repair and completion of damaged cooling tower (1989) Journal of structural engineering New York, N.Y., 115 (3), pp. 576-593.
- [10].Kaminski, M., Maszczak, M. Durability of cooling tower constructions and methods of their repair and reinforcement (2012) Life-Cycle and Sustainability of Civil Infrastructure Systems - Proceedings of the 3rd International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, IALCCE 2012, pp. 540-546.
- [11].Bydzovsky, J., Dufka, A., Snirch, Z. New possibilities of cooling towers diagnostics and repairs for increasing a service life (2010) Concrete under Severe Conditions: Environment and Loading - Proceedings of the 6th International Conference on Concrete under Severe Conditions, CONSEC'10, 1, pp. 717-726.
- [12].Noyce, P.A., Hite, A.L. Selection of corrosion mitigation system for two reinforced concrete natural draft hyperbolic cooling towers in a marine environment (2010) NACE - International Corrosion Conference Series, 13 p.
- [13]. Folic, R. Repair methodology of reinforced concrete cooling towers (2009) Concrete Engineering International, 13 (2), pp. 55-57.
- [14].Mozaryn, T., Kokowska, J. The service life of coating systems applied on cooling towers A laboratory study and in-situ investigations (2009) RILEM Workshop on Long-Term Performance of Cementitious Barriers and Reinforced Concrete in Nuclear Power Plants, NUCPERF 2009, pp. 305-312.
- [15].Krätzig, W.B., Könke, C., Mancevski, D., Gruber, K.P. Design for durability of natural draught cooling towers by life-cycle simulations (1998) Engineering Structures, 20 (10), pp. 899-908.
- [16].Woolley, G.R., Van der Cruyssen, D. Structural deficiencies of natural draught cooling towers at UK power. Part 3: strengthening of natural draught cooling tower shells (1994) Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings, 104 (1), pp. 25-38.
- [17].Huemer, Thomas, Kropik, Christian, Mang, Herbert A., Meschke, Gunther. Repair of a cracked cooling tower shell based on numerical simulations (1994) Proceedings of the IASS-ASCE International Symposium 1994 on Spatial, Lattice and Tension Structures, pp. 887-896.
- [18].Meschke, Guenther, Mang, Herbert A., Kosza, Peter. Finite element analyses of cracked cooling tower shell (1991) Journal of structural engineering New York, N.Y., 117 (9), pp. 2620-2639.
- [19].Erdmann, W. Experiences with the first dry cooling tower for the THTR power plant at Schmehausen, FRG (1991) Construction and Building Materials, 5 (2), pp. 68-74.
- [20]. Krapfenbauer, R.J. Repair of cooling towers. (1984) pp. 374-380.

Айзенкрайн Е. Непрерывный мониторинг движения меридиональных трещин, возникающих в оболочках градирен под воздействием внешних факторов. /

Eisenkrein H. Continuous measuring of moving crack width of severing meridian cracks in cooling tower shells caused by external influences.

Continuous measuring of moving crack width of severing meridian cracks in cooling tower shells caused by external influences

H. Eisenkrein¹

ZERNA Baumanagement GmbH, Управляющий, D.Eng., 162 Lennershofstraße, Bochum Deutschland 44801.

ARTICLE INFO

1

Original research article

Article history

Received 22 April 2015 Accepted 13 May 2015 Keywords

severing meridian cracks, crack moving characteristics, crack movement sensors, crack monitoring, cracks in cooling tovers

92

ABSTRACT

Quite often concrete shells have vertical cracks with huge length. Sometimes there has to be answered the question whether or not could it be possible to apply crack bridging coatings to avoid ingress of aggressive substances deteriorating concrete or reinforcement by substances from operation and environment. It must be known which crack moving characteristic has to be to carry out determining and dimensioning of a coating. There will be shown exem-plary how the crack movement inside and outside of the shell can be measured on side and which consequences does it have concerning coating or not.

Corresponding author: +491797845660, hei@zerna-bm.eu (Eisenkrein Helena, D.Eng, Leading manager)

Айзенкрайн Е. Непрерывный мониторинг движения меридиональных трещин, возникающих в оболочках градирен под воздействием внешних факторов. /

Eisenkrein H. Continuous measuring of moving crack width of severing meridian cracks in cooling tower shells caused by external influences.

References

- Dorge A, Eckstein U, Wörmann R 2008. Sicherheitsanalyse des Naturzugkühlturms KW Ibbenbüren Block B. Beton- und Stahlbetonbau 103 (1): Pp. 20 - 27.
- [2]. Eckstein U, Placzek D, Wörmann R 2012. Structural Interaction between Cooling Towers and Subsoil based on executed Projects, Proc. of 6th International Symposium on Cooling Towers, Cologne, Germany, June 20-23, 2012.
- [3]. Eisenkrein H, Engelfried R 2007. Rissüberbrückungsfähigkeit viskoseelastischer Betonbeschichtungen realitätsnah prüfen, farbe + lack, Vincentz Network 12-2007.
- [4]. Engelfried R 2009. Expert status analyses of natural draught cooling towers with results of crack width change characteristics, RWE Power AG, unpublished.
- [5]. Engelfried R, Siegert U, Eisenkrein H 2012. AGENDA 2030: Polymer coated shell insides of 14 RC cooling towers under horizontal FGD. Monitoring system for long term operation, Proc. of 6th International Symposium on Cooling Towers, Cologne, Germany, June 20-23, 2012.
- [6]. Krätzig WB, Montag U, Petryna YS 2003. Schädigung, Dauerhaftigkeit und (Rest)-Nutzungsdauer von Tragwerken, Bauingenieur 78 (12): Pp. 553 -561.
- [7]. VGB-R 612 e 2010. Protection Measures on Reinforced Concrete Cooling Towers and Chimneys against Operational and Environmental Impacts, Third Edition. Essen: VGB PowerTech e.V
- [8]. Bamu, P.C., Zingoni, A. Damage, deterioration and the long-term structural performance of cooling-tower shells: A survey of developments over the past 50 years (2005) Engineering Structures, 27 (12 SPEC. ISS.), pp. 1794-1800.
- [9]. Gould, P.L., Guedelhoefer, O.C. Repair and completion of damaged cooling tower (1989) Journal of structural engineering New York, N.Y., 115 (3), pp. 576-593.
- [10].Kaminski, M., Maszczak, M. Durability of cooling tower constructions and methods of their repair and reinforcement (2012) Life-Cycle and Sustainability of Civil Infrastructure Systems - Proceedings of the 3rd International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, IALCCE 2012, pp. 540-546.
- [11].Bydzovsky, J., Dufka, A., Snirch, Z. New possibilities of cooling towers diagnostics and repairs for increasing a service life (2010) Concrete under Severe Conditions: Environment and Loading - Proceedings of the 6th International Conference on Concrete under Severe Conditions, CONSEC'10, 1, pp. 717-726.
- [12].Noyce, P.A., Hite, A.L. Selection of corrosion mitigation system for two reinforced concrete natural draft hyperbolic cooling towers in a marine environment (2010) NACE - International Corrosion Conference Series, 13 p.
- [13]. Folic, R. Repair methodology of reinforced concrete cooling towers (2009) Concrete Engineering International, 13 (2), pp. 55-57.
- [14].Mozaryn, T., Kokowska, J. The service life of coating systems applied on cooling towers A laboratory study and in-situ investigations (2009) RILEM Workshop on Long-Term Performance of Cementitious Barriers and Reinforced Concrete in Nuclear Power Plants, NUCPERF 2009, pp. 305-312.
- [15].Krätzig, W.B., Könke, C., Mancevski, D., Gruber, K.P. Design for durability of natural draught cooling towers by life-cycle simulations (1998) Engineering Structures, 20 (10), pp. 899-908.
- [16].Woolley, G.R., Van der Cruyssen, D. Structural deficiencies of natural draught cooling towers at UK power. Part 3: strengthening of natural draught cooling tower shells (1994) Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings, 104 (1), pp. 25-38.
- [17].Huemer, Thomas, Kropik, Christian, Mang, Herbert A., Meschke, Gunther. Repair of a cracked cooling tower shell based on numerical simulations (1994) Proceedings of the IASS-ASCE International Symposium 1994 on Spatial, Lattice and Tension Structures, pp. 887-896.
- [18].Meschke, Guenther, Mang, Herbert A., Kosza, Peter. Finite element analyses of cracked cooling tower shell (1991) Journal of structural engineering New York, N.Y., 117 (9), pp. 2620-2639.
- [19].Erdmann, W. Experiences with the first dry cooling tower for the THTR power plant at Schmehausen, FRG (1991) Construction and Building Materials, 5 (2), pp. 68-74.
- [20]. Krapfenbauer, R.J. Repair of cooling towers. (1984) pp. 374-380.

Айзенкрайн Е. Непрерывный мониторинг движения меридиональных трещин, возникающих в оболочках градирен под воздействием внешних факторов. /

Eisenkrein H. Continuous measuring of moving crack width of severing meridian cracks in cooling tower shells caused by external influences.

Айзенкрайн Е. Непрерывный мониторинг движения меридиональных трещин, возникающих в оболочках градирен под воздействием внешних факторов // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №5(32). С. 84-94.

Eisenkrein H. Continuous measuring of moving crack width of severing meridian cracks in cooling tower shells caused by external influences. Construction of Unique Buildings and Structures, 2015, 5(32), Pp. 84-94. (rus)

Айзенкрайн Е. Непрерывный мониторинг движения меридиональных трещин, возникающих в оболочках градирен под воздействием внешних факторов. /