

## ТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБОЛОЧЕК ПОКРЫТИЯ

Коломийчук Г.П. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

**Сучасне проектування, будівництво та експлуатацію тонкостінних просторових залізобетонних оболонок покриття слід проводити з врахуванням зростаючих вимог конструктивної безпеки. Розрахунки виконувати з використанням деформаційних моделей у геометричній та фізично нелінійній постановках. Технічну оцінку провадити періодично на всьому протязі строку служби конструкції з розробкою паспорту на час обстеження.**

Современный подход в проектировании новых строительных объектов предполагает четыре составляющих: постановку задачи; анализ (дивергентный поиск); синтез; многофункциональную оценку качества проекта [1]. Повышение качества и безопасности проектируемых конструкций при более экономичном использовании материальных ресурсов, оценка надежности эксплуатируемых и усиливаемых зданий и сооружений – наиболее важные задачи строительства [2,3].

В соответствии с действующими нормами [4], расчет тонкостенных пространственных конструкций выполняется по предельным состояниям. Тем не менее, практика их возведения и эксплуатации свидетельствует о том, что и тогда, когда они запроектированы в соответствии с нормативными документами, возникают аварийные ситуации и обрушения от воздействий, не учтенных проектом. Причинами отказа могут выступать как воздействия, не предусмотренные условиями нормальной эксплуатации конструкций, связанные с чрезвычайными ситуациями, так и грубые человеческие ошибки. Для снижения числа аварийных ситуаций необходимо разработать методы расчета поведения конструкций на протяжении всего срока службы с учетом конструктивной безопасности, а также научиться выполнять техническую оценку состояния натуральных тонкостенных оболочечных покрытий при запроектных воздействиях.

Проблема обеспечения безопасности при проектировании, строительстве и реконструкции зданий и сооружений, а также поддержание в надежном состоянии объектов недвижимости очень важна. Вызвано это тем, что проектирование новых, реконструкция существующих, строительство зданий и сооружений осуществляется множеством вновь организованных, в условиях рынка, проектных организаций и строительных фирм разного уровня квалификации и ответственности. Проектная документация выполняется чаще всего поэтапно и подвергается экспертизе далеко не в полном объеме, определенном нормативно – техническими требованиями, что ведет к прямому нарушению конструктивной безопасности проектируемых зданий и сооружений.

Научно – технический прогресс в материаловедении, технологии возведения строительных объектов открывают для проектировщиков значительные возможности по внедрению новых архитектурно выразительных и конструктивно индивидуальных решений с покрытиями железобетонными тонкостенными оболочками сложной геометрии. Такие покрытия в значительной мере используются для общественных зданий с большими зальными помещениями, где одновременно может находиться большое количество людей. Это очень ответственные конструкции и требования к проектированию, возведению, а в дальнейшем и к их эксплуатации должны соответствовать международным стандартам даже на случай аварийных ситуаций [5].

Основным нормативным документом для расчетов и конструирования железобетонных пространственных конструкций покрытий остается "Руководство..." [4], составленное еще 30 лет назад. Основной акцент его направлен на сборные пространственные тонкостенные покрытия, собираемые из более мелких элементов, которые изготавливаются на заводах

сборного железобетона, а затем на строительных площадках монтируются в конечную конструкцию. В нормативный документ вошли достаточно апробированные на практике не сложные типовые решения.

В 1986 году в дополнение к [ 4 ] разработаны "Рекомендации..." для сборных составных железобетонных оболочек гражданских и промышленных зданий [ 6 ]. В них предлагается из простых железобетонных тонкостенных элементов собирать сложные оболочки различной геометрии.

Начальные несовершенства формы железобетонных оболочек в [ 3, 5 ] не учитываются, но именно они имеют наибольшее влияние на устойчивость, несущую способность и форму разрушения тонкостенных оболочек.

На рис.1 [ 7 ] в виде горизонталей показано поле прогибов железобетонной квадратной модели – оболочки положительной гауссовой кривизны жестко защемленной по контуру, построенное на основе результатов эксперимента. Местное увеличение прогибов при равномерно распределенной нагрузке получено в местах наибольших несовершенств поверхности оболочки, измеренных до начала загрузки.

В работе [8] измерялись фактические геометрические несовершенства железобетонных оболочек покрытий положительной кривизны конструкции ПИ-1. Выполненные исследования дали возможность сделать несколько выводов о характере начальных несовершенств реальных оболочек:

1. Практически нигде математическое ожидание не равно нулю, поэтому существуют некоторые систематические факторы, влияющие на статистические свойства изделий;

2. Статистические характеристики геометрических размеров плит имеют разброс, значительно превышающий существующие нормативы. Поэтому в расчетах, при оценке качества изготовления и монтажа, необходимо учитывать реальные условия с использованием коэффициента перегрузки.

3. Длительный опыт эксплуатации оболочек со значительными начальными несовершенствами формы поверхности показывает, что необходимо дать научно обоснованные методы назначения нормативов на точность изготовления и монтажа оболочек.

Результаты контрольной геодезической съемки поверхности оболочки положительной кривизны [ 9 ] покрытия рынка в г. Минске с размерами в плане  $103 \times 103$  м показали, что среднее отклонение центральной части поля оболочки от проектного положения составило – 23.3 мм, а среднеквадратическое отклонение  $\pm 38.4$  мм, соответственно для контурных элементов + 26.75 мм и  $\pm 31.2$  мм. Анализ работ по возведению сборно-монолитной аглопорито-железобетонной оболочки показал, что совокупность функциональных и технологических ошибок превысила допустимые расчетом величины отклонения поверхности оболочки от проектного положения. Точность монтажа большепролетных покрытий в виде оболочек без использования специальных приспособлений, как правило, не может удовлетворить требования проекта.

Экспериментальными результатами установлено, что начало трещинообразования в бетоне оболочек начинается при нагрузках:  $0.3q_p$  для цилиндрических оболочек рис. 2 [ 10 ];  $0.4q_p$  для оболочек положительной кривизны;  $0.5q_p$  для оболочек отрицательной кривизны ( $q_p$  – нагрузка разрушения).

В работе [11] выполнен числовой эксперимент на моделях оболочек положительной кривизны шарнирно опертых по контуру. Определены нагрузки начала пластических деформаций и трещинообразования в геометрически линейной и нелинейной постановках. Результаты расчетов показали, что в геометрически линейной постановке нагрузки начала пластических деформаций и трещинообразования больше на 60%, чем в геометрически нелинейной постановке при малых кривизнах. С увеличением параметра кривизны это отношение увеличивается.

В строительстве значительно вырос объем монолитных железобетонных конструкций. Возведение тонкостенных большепролетных железобетонных покрытий на строительной

площадке требует высокого качества производства работ, а также соблюдение всех технологических требований по уходу за бетоном. Практика возведения оболочек имеет свою положительную историю [12], хотя встречаются и недостатки (дефекты изготовления конструкций; низкое качество бетона; ползучесть бетона; коррозия бетона и арматуры), которые ведут к разрушению конструкций.

Характерным примером возникновения аварийной ситуации в результате проектных ошибок - разрушение оболочки покрытия аквапарка в Ясенево [13]. Расчеты, выполненные экспертной комиссией, показали, что принятая форма поверхности (малая кривизна на половине оболочки у внешнего контура) и конструктивное решение оболочки не обеспечили ее жесткости. Устойчивость оболочки не была соблюдена, так как оболочка теряет устойчивость с дальнейшим разрушением при действии критической нагрузки, которая составила 60% от расчетной, определенной по [4].

Полученные результаты [14-17 и др.] о деформировании, трещинообразовании и поведении оболочек под действием различных нагрузок и окружающей среды - хороший исходный материал для создания новых более надежных подходов в проектировании и технической оценке существующих большепролетных железобетонных оболочек покрытий.

Расчет оболочек необходимо вести по деформированной схеме в геометрически нелинейной постановке с реализацией современных физических моделей поведения железобетона с трещинами в конструкции, а именно: модели, в которой рассматривается напряженно-деформированное состояние двухкомпонентного композиционного материала в точке (отдельно для бетона и отдельно для арматуры) на основе использования действительных диаграмм состояния [18]; макроструктурной модели деформирования характерного анизотропного элемента конечных размеров с трещинами [19]; пространственной блочно-контактной модели деформирования железобетонных оболочек с трещинами [20].

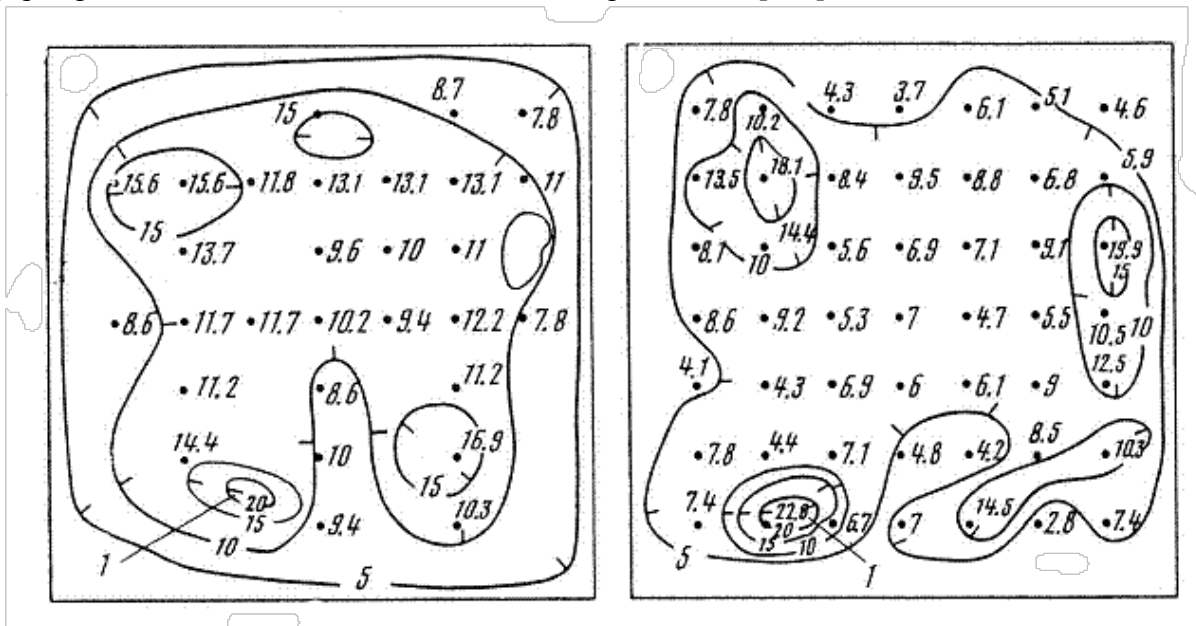


Рис.1. Влияние начальных несовершенств формы на рост локальных прогибов в железобетонной квадратной модели положительной гауссовой кривизны, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой

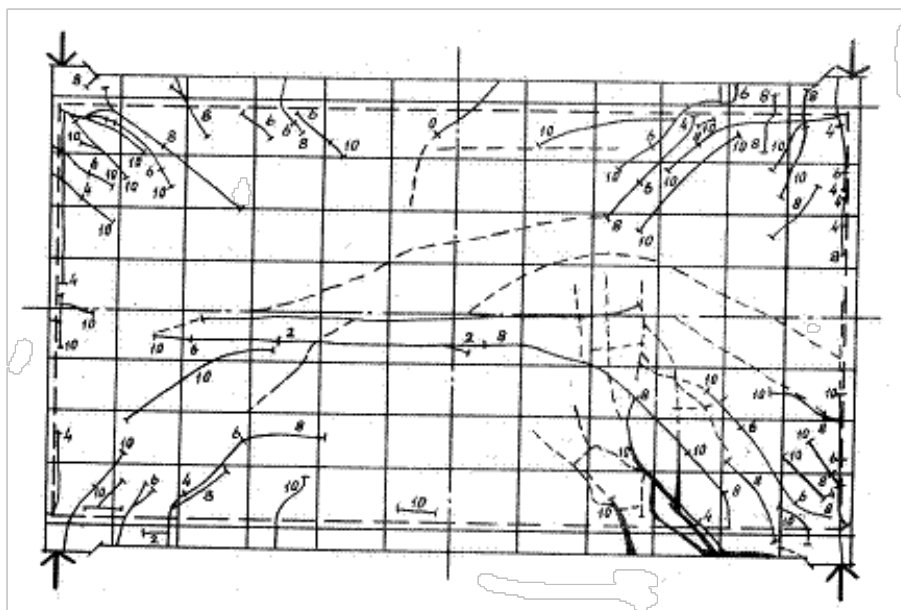


Рис.2. Характер образования трещин в модели цилиндрической оболочки средней длины под действием равномерно распределенной нагрузки по плите оболочки ( $q_2, \text{Н/м}^2$ ) и по продольным бортовым элементам ( $q_0, \text{Н/м}$ ), а именно по ступеням загрузки : №1 (500; 62), № 2 (1000; 123), №3 (1500; 185), №4 (2000; 247), №5 (2500; 308), №6 (3000; 369), №7 (3500; 431), №8 (4000; 492), №9 (4500; 554), №10 (5000; 615), где первая цифра в скобках  $q_2$ , вторая –  $q_0$

В математических моделях поведения железобетонных оболочек под действием нагрузок и агрессивной среды необходимо использовать расчетные модели, которые наиболее четко описывают поведение реальной натурной конструкции от начала изготовления и на весь период ее эксплуатации [ 21 ]. Для выполнения требований безопасного поведения оболочки в аварийных ситуациях расчетами следует предусмотреть выход из строя наиболее "слабой" части оболочки, которая не приведет к полному разрушению всей конструкции.

Срок службы железобетонных тонкостенных оболочек покрытий большой, поэтому необходимо наработать для каждого типа оболочек рекомендации поведения конструкции под действием реальных воздействий, а также определить на плане оболочки самые опасные места, которые помогут в эксплуатационный период вести наблюдения, ремонты и усиления. Самым информативным индикатором в железобетонных оболочках есть трещины в бетоне. В работе [ 15 ], используя большое количество экспериментальных исследований на моделях оболочек, выполнен анализ, в котором приведены обобщенные схемы образования трещин в железобетонных оболочках под действием разного уровня нагружений. Наблюдение за конструкцией оболочки при эксплуатации дает возможность оценить ее состояние, определить остаточный ресурс [ 22, 23 ], чтобы в дальнейшем принять решение о целесообразности ее использования.

### **Выводы**

1. Проектирование, возведение и эксплуатация большепролетных тонкостенных железобетонных оболочек покрытия нуждается в современных научно обоснованных подходах наиболее полно описывающих весь период "жизнедеятельности" этих конструкций.

2. Техническая оценка тонкостенных оболочечных конструкций должна выполняться на протяжении всего срока службы с разработкой паспорта состояния на момент ее выполнения. При выполнении расчетов напряженно – деформированного состояния железобетонных оболочек необходимо учитывать все возникшие повреждения с

использованием деформационных моделей наиболее полно описывающих поведение конструкции.

### *Литература*

1. Никонов Н.Н. Большепролетные покрытия. Анализ и оценка. – М.: Изд. АСВ, 2000. – 400 с.
2. Гениев Г.А., Колчунов В.И., Клюева Н.В., Никулин А.И., Пятикрестовский К.П. Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях. – М.: Изд. АСВ, 2004. – 216 с.
3. Бондаренко В.М., Боровских А.В. Износ, повреждения и безопасность железобетонных сооружений. – М.: ИД Русанова, 2000. – 144 с.
4. Руководство по проектированию железобетонных пространственных конструкций покрытий и перекрытий. – М.: Стройиздат, 1979. – 421 с.
5. ENV 1991 – 2 – 7. EUROCODE 1: Basis of design and actions on structures. Accidental actions due to impact and explosions. – Brussels: CEN.
6. Рекомендации по расчету и конструированию сборных составных железобетонных оболочек общественных и производственных зданий для строительства в Москве. – М.: Стройиздат, 1986. – 59 с.
7. Борзых Е.П., Хайдуков Г.К., Шугаев В.В. Исследование влияния начальных несовершенств срединной поверхности на напряженно деформированное состояние пологих ортотропных оболочек и пластин. – М.: Наука, 1973. – С.619-621.
8. Зильбер Я.М. Фактические геометрические несовершенства железобетонных оболочек покрытий положительной кривизны // Проблемы надежности в строительном проектировании. – Свердловск: Уралпромстройиниипроект, 1972. – С.65-70.
9. Людковский А.М., Пигин А.П. Оценка точности монтажа оболочки покрытия рынка размером 103×103 м в Минске // Пространственные конструкции зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1985. – Вып.4. – С.82-94.
10. Тярно Ю.А. Исследование цилиндрических железобетонных оболочек в стадии с трещинами // Труды ТПИ, 1978. – №443. – С.21 – 35.
11. Дорофеев В.С., Коломійчук Г.П. Вплив геометричного параметру кривизни на поведінку пологих залізобетонних оболонок при навантаженні // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій. – Львів: Каменяр. – Вип.7. – С.437-446.
12. Isler Heinz. The stability of thin concrete Shells // Buckling Shells. Proc. State of the Art Collog., Univ. Stuttgart, May 6-7, 1982. – Berlin, 1982. – p.645-672.
13. Шугаев В.В., Соколов Б.С. Аварии железобетонных конструкций и их предупреждение / Бетон и железобетон – пути развития. Научные труды 2 Всероссийской (международной) конференции по бетону и железобетону. Том 1. Пленарные доклады. – М.: Дипак, 2005. – С.371 – 380.
14. Шугаев В.В. Инженерные методы в нелинейной теории предельного равновесия оболочек. – М.: Готика, 2001. – 368 с.
15. Тярно Ю.А. Обобщенные схемы образования трещин в железобетонных оболочках средней длины // Труды ТПИ, 1979. – Вып.467. – С.25-35.
16. Колчунов В.И., Панченко Л.А. Расчет составных тонкостенных конструкций. – М.: Изд-во АСВ, 1999. – 281 с.
17. Dulaska E. The safety factor to be applied in Shells buckling analysis // Acta Technica Acad. Shi Hung., 1986. – Vol.99 (1-2). – p.9-30.
18. Гениев Г.А., Киссюк В.Н., Тюпин Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона. – М.: Стройиздат, 1974. – 316 с.
19. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. – М.: Стройиздат, 1976. – 208 с.

20. Белов В.В., Васильев П.И. Пространственная блочно-контактная модель деформирования железобетонных оболочек и плит с трещинами// Пространственные конструкции зданий и сооружений. -М.: Стройиздат, 1991. -Вып.7. -С.12-15.
21. Подольский Д.М. Выбор расчетных моделей по экспериментальным данным// Строительная механика и расчет сооружений, 1973. - №5. – С.71 – 75.
22. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций. – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с.
23. Дорофеев В.С., Коломийчук Г.П. Оценка ресурса эксплуатируемых железобетонных несущих конструкций больших объектов// Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. - Рівне: НУВГП, 2005. – Вип. 13. – С. 352 – 355.