

# КОНСТРУКЦІЇ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

УДК 691.328.1

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ БИ-БЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

**В. В. Душин**  
**Н. В. Нагорный**  
**О. И. Сёма**

*В статье проведен анализ применения железобетонных балок, изготовленных из нескольких слоев бетона различных классов. Проведен анализ применения различных методов и методик расчета многослойных конструкций. Проанализированы методы расчетов трещинообразования, анализ напряженно-деформированного состояния конструкций опираясь на теорию разрушения твердых тел.*

**Ключевые слова:** би-бетон, железобетон, многослойные конструкции, теория разрушения, трещиностойкость, напряженно-деформированное состояние

**Постановка проблемы в общем виде.** Бетонные и железобетонные конструкции получили все большее распространение в практике современного строительства. Расширение областей их применения предъявляет к конструкциям многочисленные требования, определяемые условиями их эксплуатации. В настоящее время с ростом темпов строительства более сложных зданий и сооружений в данной отрасли ведутся разработки, направленные на снижение: удельного веса несущих конструкций, материалоемкости, стоимости и трудоемкости строительства, повышение несущей способности, трещиностойкости, долговечности конструкций, улучшение архитектурных и эксплуатационных качеств зданий и сооружений.

**Цель статьи.** Одной из задач современной строительной науки является разработка прогрессивных несущих конструкций. Выполнение этой задачи может быть достигнуто за счет повышения прочностных характеристик применяемых материалов, улучшения технологии изготовления конструкций, применения эффективных материалов и конструкций, и создание более совершенных и точных методов их расчета. Разработка прогрессивных, экономичных конструкций из более эффективных материалов требует дальнейших исследований

Широкие возможности для создания таких конструкций открываются в связи с использованием наряду с обыкновенными тяжелыми бетонами высокопрочных бетонов, которые могут нести в железобетонных элементах различную функциональную нагрузку.

Слойные конструкции по характеру расположения слоев и виду воспринимаемых воздействий различаются на:

- конструкции с вертикальным расположением слоев;
- конструкции с горизонтальными расположением слоев;
- конструкции коробчатого сечения с пластиковой армосистемой из полимербетона, рабо-

тающие в условиях действия агрессивных сред.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В [1] предложена и проверена технология формирования двухслойных элементов методом расслоения специально подобранной легкогобетонной смеси. В процессе вибрирования растворная составляющая оседает в нижнюю часть формы и, заполняя межзерновые пустоты крупного заполнителя, образует плотный слой легкого бетона. В верхней части железобетонного элемента образуется крупнопористый бетон. При изготовлении таких элементов в заводских условиях получена серия двухслойных плит с несущей частью из легкого бетона класса В12,5 и слоем крупнопористого бетона класса В2,5 плотностью 700 кг/м<sup>3</sup>.

В [2], описана усовершенствованная технология изготовления комплексных плит покрытий производственных зданий из керамзитобетона. Плиты размеров 6х3ми12х3м изготавливаются в едином технологическом цикле: бетонирование несущей части, установка съемной рамки для формирования слоя из легкого бетона теплоизолирующего назначения (1,5 МПа, плотность 400 кг/м<sup>3</sup>), а затем устройство стяжки.

В жилищном строительстве разработка новых индустриальных двух- и трехслойных панелей перекрытия и покрытия с утеплителем из легкого бетона обусловлена совершенствованием конструктивных решений с целью повышения теплозащиты зданий.

Для бесчердачных крыш исследованы и внедрены двухслойные панели перекрытий и совмещенных покрытий.

В ряде работ обосновано применение трехслойных панелей перекрытий с точки зрения рационального использования в монолитном сечении бетонов различных плотностей и прочностей в соответствии с характером напряженно-деформированного состояния элемента. Применение двух- и трехслойных панелей заводского изготовления с теплоизоляционным слоем, из легких бетонов взамен распространенных одно-

слоистых, утепленных засыпкой на пористых заполнителях, позволило значительно сократить трудозатраты на строительной площадке и материалоёмкость конструкций.

Для крупнопанельных зданий разработаны типовые конструкции безрулонных двухслойных панелей покрытия с нижним слоем из керамзитобетона класса В3,5 плотностью от 1000 до 1400 кг/м<sup>3</sup>, и верхним - из тяжелого бетона класса В22,5. Толщина нижнего слоя составила 0,2 м; верхнего - 0,04 м, при этом керамзитобетон выполняет как несущие, так и теплоизоляционные функции.

Многослойные конструкции широко используются в практике строительства и за рубежом. Швейцарская фирма "Durisol" выпускает двухслойные плиты покрытий - стандартные (4 x 0,5 x 0,2 м) и крупноразмерные (6 x 1,5 x 0,2 м), толщина верхнего слоя из тяжелого бетона - 0,02 м - 0,03 м [14]. Конструкции того же класса выпускаются в Голландии фирмой "Velox" и в Бельгии фирмой "ZHT".

Опыт эксплуатации строительных конструкций показывает, что функциональная нагрузка на различные части, слои сечения конструктивных элементов неодинакова. Так, в изгибаемых элементах внешние слои растянутой зоны наиболее напряжены и подвергнуты действию агрессивных сред, температур. В то же время в традиционных конструкциях слои в области нейтральной оси и внешние выполняются из одного материала, свойства которого постоянны по сечению. Современный уровень развития материаловедения позволяет создавать слоистые конструкции, свойства которых будут меняться по сечению и соответствовать условиям эксплуатации одним из видов таких конструкций можно считать би-бетонные изгибаемые элементы. Эффективность таких конструкций зависит от выбора материалов и взаимного размещения их в соответствии с функциональным назначением и технологией формования.

Рекомендации по расчету и конструированию слоистых элементов отсутствуют в действующих нормах проектирования. Исследования совместной работы двух слоев бетонов в монолитном сечении при различном расположении (вверху и внизу) малопрочного бетона проводились в [4, 14, 15]. Среди исследователей нет единого мнения о полноте совместной работы двух слоев бетонов, хотя, когда граница между двумя слоями находилась в сжатой части сечения [4, 15] в экспериментах наблюдалось нарушение совместности работы.

Расчет по несущей способности (прочности) нормальных сечений и изгибаемых слоистых железобетонных элементов производят в зависимости от положения границы сжатой зоны. В случае, когда сжатая зона находится в пределах одного слоя, расчет выполняется в соответствии с действующими нормами как для прямоугольных

сечений [6, 7, 8, 14]. Этот случай наиболее характерен для плитных конструкций. Когда же в сжатую зону попадают бетоны различных слоев, используют специальные подходы при расчете прочности.

В [6] предлагается слоистое сечение приводить к однородному из более прочного бетона исходя из отношения модулей упругости бетонов слоев, а для определения усилий в бетоне сжатой зоны использовать расчетное сопротивление сжатию бетона приведенного сечения. Такой подход не достаточно последователен с точки зрения физики процесса работы слоистого элемента под нагрузкой. Ведь по существу он сводится к тому, что при разрушении слоистых элементов по нормальных сечениям сжимающие напряжения в верхнем слое достигают предельных значений, а в нижнем их величина зависит от соотношения модулей упругости слоев. Очевидно, что такой подход является достаточно условным, поскольку отношение начальных модулей упругости слоев не может служить для оценки уровня напряжений в сжатом бетоне верхнего слоя. В случае же, когда это отношение оказывается близким соотношению прочности бетонов, хорошее соответствие опытных и расчетных значений можно объяснить тем, что при разрушении в нижнем слое напряжения близки к призменной прочности.

В [3, 7] предлагается слоистые сечения приводить к однородным, исходя из отношения расчетных сопротивлений сжатию бетонов слоев. При этом одни исследователи [3, 7] считают целесообразным вести расчет как для однородного сечения из наиболее прочного бетона, другие - из бетона наименьшей прочности, отметим, что представляется необоснованным предложение [3] приведении двухслойного сечения с расположением малопрочного слоя бетона как в растянутой, так и в сжатой зоне к однородному из тяжелого бетона. При расположении малопрочного бетона в сжатой части сечения целесообразно учитывать в расчете его прочность, так как более прочный бетон не оказывает сколько-нибудь существенного влияния на несущую способность двухслойного элемента.

В [12] предлагается расчет по прочности нормальных сечений в случае, если сжатая зона расположена в пределах одного слоя бетона, производить как для прямоугольного сечения, а если в сжатую зону попадают два слоя - как для приведенного, исходя из соотношения расчетных сопротивлений осевому сжатию бетонов слоев таврового сечения.

В [13] предложен метод расчета слоистых элементов, учитывающий соотношение прочностей бетонов слоев на растяжение при этом опытные величины превысили на 14-26% теоретические значения, полученные по разработанной [13] методике.

Принято при наличии в сечении элемента бетонов разных марок бетон наиболее низкой марки вводить в расчет по прочности со своим расчетным сопротивлением, а бетоны более высоких марок - с расчетными сопротивлениями соответствующими этим марками но не более, чем на одну ступень выше наиболее низкой марки [14] и не превышающими утроенного расчетного сопротивления бетона наиболее низкой марки.

Таким образом, нет единого мнения в части расчета несущей способности слойных элементов для случая, когда сжатая зона располагается не в одном слое. Большинство подходов являются приближенными, кроме того во всех рассмотренных методиках считается, что поверхность сопряжения между слоями бетонов не инициирует разрушения и трещины на ней не образуются. Между тем микро- и мезодефекты на поверхности контакта служат концентраторами сдвигающих напряжений, что приводит к формированию зон предразрушения и старту трещин поперечного сдвига по поверхности контакта, которые вкупе с трещинами нормального отрыва влияют на несущую способность слойных элементов.

При расчете слойных элементов по образованию трещин, нормальных к продольной оси элемента, в растянутой части сечение в зависимости от количества слоев некоторые исследователи предлагают приводить к тавровому (для двухслойных) и двутавровому (для трехслойных), исходя из отношения модулей упругости бетонов слоев, а далее расчет выполняется по формулам действующих норм. В [22] расчет по образованию нормальных трещин производится с учетом различных сопротивлений осевому растяжению бетонов растянутой зоны как для двутаврового сечения со ступенчатой на уровне нейтральной оси стенкой, уменьшенной в сжатой и растянутой зонах пропорционально соответственно отношению начальных модулей упругости и сопротивлению осевому растяжению бетонов слоев. Ширина раскрытия нормальных трещин в действующих нормах [17] определяется по не имеющей ясного физического смысла формуле, полученной по результатам многочисленных экспериментальных данных различных исследователей. Исследования, выполненные для конструкций из тяжелого, легкого и ячеистого бетонов, позволили установить, что для всех элементов методика определения ширины раскрытия трещин одинакова. Однако в формуле [17] не учтены особенности слойных сечений. Такие сечения при расчете по второй группе предельных состояний заменяются приведенными тавровыми или двутавровыми, толщина стенки которых тем тоньше, чем больше разница в прочностных и деформативных свойствах бетонов слоев. Как правило, для таких сечений толщина стенки оказывается значительно меньше по сравнению с исследованными двутавровыми элементами. Следует отметить, что

ширина раскрытия трещин в слойных элементах превышает теоретическую, определенную по формуле действующих норм как для приведенного сечения, вследствие уменьшения теоретических значений ширины раскрытия трещин за счет резкого возрастания процента армирования приведенного сечения из-за уменьшения толщины стенки, обусловленного соотношением начальных модулей упругости бетонов слоев. В связи с чем при определении коэффициента армирования приведенного двутаврового сечения целесообразно учитывать полностью площадь бетона растянутых свесов и ограничивать значения коэффициента армирования 0,015.

В этих расчетах также не учитывались трещины, образующиеся в сжатой части сечения в верхнем слое, либо на зоне контакта двух слоев и интенсивно развивающиеся при высоких, близких к предельным, значениях внешней нагрузки. Эти трещины оказывают большое влияние на прогиб слойных конструкций, а так же и на напряженно-деформированное состояние всего элемента на всех стадиях его работы и разрушения. Вообще работа любого железобетонного элемента, а особенно слойного, где имеются искусственные концентраторы напряжений, - есть процесс возникновения, движения микротрещин. Поэтому использование в расчете слойных элементов методов механики разрушения, - науки, которая связана с изучением прочности материалов и конструкций из них с учетом развивающихся трещин, - оправдан и необходим для более точного описания процесса разрушения слойных элементов, отхода от эмпирических зависимостей и учета реальных физических явлений, происходящих при разрушении слойных конструкций.

Повышение требований к качеству, долговечности бетона при неуклонном расширении областей его применения и условий эксплуатации привлекли большой интерес исследователей к механизму разрушения бетона.

Большое количество естественных дефектов структуры, являющихся концентраторами нормальных и касательных напряжений, существенно влияют на прочность и трещиностойкость бетонов. Внешняя нагрузка вызывает напряжения высокой интенсивности в вершинах микро- и мезодефектов, что приводит к их развитию в длину и ширину, образованию магистральных трещин и фрагментации структуры бетона. Причем этот процесс достаточно продолжителен во времени. Исследование особенностей разрушения бетона с учетом динамики процесса развития трещин необходимо не только для оценки влияния дефектов структуры и силовых трещин на работу бетонных и железобетонных конструкций, но также имеет другое, - не менее важное, - практическое значение: получение бетона с более высоким сопротивлением нагрузке, особенно при растяжении, а в перспективе - проектирова-

ние бетонов наперед заданной долговечностью и конструкций с определенным, теоретически рассчитанным сроком эксплуатации. Возможность заглянуть в существо процессов формирования зоны напряжений, а также активного влияния на них и предопределило интенсивное развитие в 80-е годы механики разрушения бетона.

Современные взгляды на разрушение материалов при наличии трещин оцениваются на работе [18], где показано, что непосредственной причиной развития трещин в материале является различие между энергией, высвобождающейся при продвижении трещин и энергией, необходимой для создания новой поверхности разрушения. Механика разрушения (теория трещин), получившая свое дальнейшее развитие в последующие годы дает возможность анализа процессов образования и развития трещин в зависимости от интенсивности поля напряжений и деформаций устья трещин. Наиболее общим показателем свойств материала с трещиной является вязкость разрушения или трещиностойкость, позволяющая выбрать расчетные напряжения в зависимости от размеров возможных дефектов или наоборот, определить допустимый размер трещин при заданном рабочем напряжении. Применение силовых, энергетических и деформационных критериев механики разрушения дает возможность не только прогнозировать механические свойства материалов, но и определять их долговечность в конструкциях сооружений, эксплуатируемых при различных сочетаниях внешней силовой нагрузки и тепло-влажностных параметров. Впервые процесс разрушения цементного раствора и бетона с позиций механики разрушения был рассмотрен в [19], где автор с некоторыми оговорками делает вывод о возможности использования фундаментальных положений [19] к указанным материалам. В дальнейшем работы по изучению процесса разрушения бетона велись в трех направлениях, технологическом, методологическом, и расчетном. Технологические исследования производились для того, чтобы определить характер и степень влияния некоторых характеристик бетонной смеси и ее компонентов на основные параметры трещиностойкости  $K_c$  и  $G_c$  - соответственно критический коэффициент интенсивности напряжений и энергия разрушения. Дальнейшие многочисленные исследования в этом направлении, результаты которых зачастую носили противоречивый характер, все-таки позволили выявить следующие закономерности: трещиностойкость бетона возрастает с уменьшением водо-цементного отношения  $W/C$ ; с увеличением диаметра крупного заполнителя; с увеличением до определенного предела количества крупного заполнителя; с оптимизацией температурно-влажностных условий испытаний. Комплекс этих исследований также позволил апробировать методику определения основных параметров трещиностойкости, что дало возмож-

ность завершить методологические исследования созданием стандартов по методике определения  $K_c$  и  $G_c$  при развитии трещин нормального отрыва. Появилась возможность повысить точность определения свойств бетона и перейти при расчете конструкции к инвариантным характеристикам его состояния. Для этого важно построить классификацию бетонов по их трещиностойкости.

Расчетное направление включает в себя как разработку моделей развития трещин в структуре при разрушении бетона в зонах концентрации микротрещин и формировании макротрещин, так и собственно расчет бетонных элементов по образованию и раскрытию трещин.

В [20] разработана модель разрушения бетона, в которой учтена его ползучесть и структурная неоднородность. Предполагается, что процесс разрушения на уровне макроструктуры состоит из следующих стадий: образование зоны предразрушения; ее подрастание; образование начальной макротрещины; дальнейший ее устойчивый либо неустойчивый рост.

Вышерассмотренные исследования убедительно демонстрируют прогрессивность методов расчета бетонных и железобетонных конструкций с использованием принципов механики разрушения твердых тел. Все зависимости для определения моментов трещинообразования, параметров трещин нормального отрыва и поперечного сдвига, максимальной несущей способности, деформаций имеют ясный физический смысл и учитывают многообразие реальных физических процессов, происходящих в железобетонных элементах, и позволяют решать следующие задачи и проблемы:

- рассчитывать прочность (несущую способность) железобетонных сечений и прогнозировать их долговечность при статической кратковременной и длительной нагрузках различной интенсивности, вызывающих как образование трещин нормального отрыва и поперечного сдвига, так и их развитие до критических величин;
- в зависимости от назначения железобетонного элемента варьировать свойствами бетона, стали, трещиностойкостью и долговечностью путем регулирования уровня деформируемости и напряжений в зонах их концентрации при нормируемом уровне энергоресурса в сечениях;
- оценивать сопротивляемость конструкций внешним постоянным, кратковременным, и длительным воздействиям на любой стадии ее работы под нагрузкой при помощи величин  $K_t$  и  $K_p$ ;
- определять полный ресурс энергии, затрачиваемой на разрушение в нормальном или наклонном сечении конструкций по полной диаграмме деформирования и нормировать оптимальный уровень использования этого ресурса;
- перейти к единому коэффициенту надежности (вместо дифференцированных коэффици-

ентов запаса по нагрузкам и материалам) но нормируемому уровню энергии разрушения;

- прогнозировать и регулировать длину и ширину раскрытия трещины в конструкциях, где параметры трещин ограничены по технологическим и функциональным соображениям;

- определять фактически действующую нагрузку на конструкцию и остаточный ресурс этой конструкции по фактически замеренным в натуре параметрам трещин нормального отрыва и поперечного сдвига при проведении работ по реконструкции зданий и сооружений;

- рассчитать несущую способность и трещиностойкость нагруженных конструкций, подвергшихся воздействию агрессивных сред;

- отказаться от эмпирических коэффициентов при расчете всех параметров, необходимых для безопасной эксплуатации конструкций, путем введения в расчет инвариантного силового или энергетического состояния материала и наличия трещин в нем;

- пересмотреть понятие предельного состояния конструкций, которое наряду с нагрузкой должно включать критические параметры трещин, развивающихся в железобетонном элементе;

- перейти к нормированию характеристик бетона, арматуры и железобетонного элемента по параметрам трещиностойкости  $K_c$  и  $G_c$ .

**Выводы по статье и задачи исследования.** Предлагается создание двухслойного железобетонного изгибаемого элемента с использованием в сжатой зоне более прочного, нежели в растянутой зоне бетона и обеспечение их совместной работы.

Исходя из возможностей методов механики разрушения, необходимости определения для расчета констант трещиностойкости, основных параметров напряженно-деформированного состояния в сечениях двухслойных элементов, задачи исследования сводятся к следующему:

- исследовать влияние параметров трещиностойкости двух бетонов на величины  $K_j$  и  $K_c$  поверхности контакта;

- экспериментально исследовать работу бибетонных изгибаемых элементов, при этом особое внимание обратить на процессы образования и развития трещин, в том числе контактных (на поверхности контакта двух бетонов); исследовать проводить по полностью равновесной схеме;

- выявить влияние поперечного армирования на процессы развития трещин поперечного сдвига и на общий (полный) энергетический ресурс двухслойных элементов;

- разработать методику расчета трещиностойкости, несущей способности и деформаций двухслойных изгибаемых железобетонных элементов со слоем из легкого бетона с применением параметров и методов механики разрушения;

- разработать методику определения параметров трещин с применением характеристик трещиностойкости, в том числе и трещин, развивающихся по контакту легкого и тяжелого бетонов;

- экспериментально обосновать основные константы и проверить полученные результаты.

- доказать возможность применения бибетонных изгибаемых элементов в качестве альтернативы предварительно-напряженным железобетонным изгибаемым элементам.

#### **Список использованной литературы:**

1. Лопатто А.Э., Лысенко Е.В. Керамзитобетонные комплексные плиты, формируемые расслоением. //Тезисы докладов III Всесоюзной конференции по легким бетонам. - М., Стройиздат, 1985г. С. 60-61
2. Рудько А.С. Комплексные плиты покрытий производственных зданий с утеплителем из керамзитобетона. //Тезисы докладов III Всесоюзной конференции по легким бетонам. - М., Стройиздат, 1985г. -С.64.
3. Жодзишинский И.Л., Золотухин В.Г. Прогнбы армопенбетонных плит и способы их уменьшения. //Исследование сборных и сборномонолитных конструкций из легких и ячеистых бетонов - М., НИИЖБ, 1960 - с. 81-105.
4. Корнев Н.А., Акбаров А.А. Исследование двухслойных легкобетонных панелей для совмещенных чердачных покрытий. //Железобетонные конструкции жилых и гражданских зданий. М., НИИЖБ, 1961 - с. 28-37.
5. Теслер П.А., Милейковская К.М. Вентилируемые совмещенные крыши из ячеистобетонных панелей. //Железобетонные конструкции жилых и гражданских зданий. М., НИИЖБ, 1961 - с. 21-27.
6. Передеряенко И.Д. Экспериментальное исследование трехслойных шлакожелезобетонных изгибаемых элементов с обычным армированием; Автореферат дис.. канд.техн.наук. - Львов. 1959. - С. 30.
7. Майоров В.И. Экспериментальные исследования несущей способности трехслойных железобетонных панелей с легким заполнителем: Автореф. дис.. канд.техн.наук. - Л., 1967г. - с.24.
8. Ступий Н.Г. Результаты испытаний двухслойных предварительно-напряженных двухслойных балок. //Бетон и железобетон. - 1958 №12. с. 461-463.
9. Горенштейн Б.В. К расчету многослойных железобетонных конструкций. //Строительная промышленность. - 1958, №7 - с. 34-37.
10. Окалиндер А.М., Лишак В.И. Расчет прочности трехслойных плит перекрытий, опертых по трем сторонам. //Конструкции жилых полносборных зданий. - М., ЦНИИЭП жилища, 1985 - с. 135-148.

11. Полимерные и полимерцементные бетоны, растворы и мастики/ К.Н.Попов – М.:1987.
12. Король Е.А. Прочность, трещиностойкость и деформации изгибаемых трехслойных железобетонных элементов со средним слоем из теплоизоляционного полистиролбетона: Дисс.. канд. техн. наук. -М., 1989. - с. 237.
13. Криворучко СВ. Прочность, деформативность и трещиностойкость слойных изгибаемых железобетонных элементов из золоперлитового коррозионного бетона. Дисс.. канд. техн. наук. - М., 1993 - С. 180.
14. Многослойные конструкции/К.Штамм, Х.Витте под редакцией С.С.Кармилова – М.:1988.
15. Давыдов С. С. Армопластбетон. - Известия АСИА СССР № 4, 1960.
16. Dall D. Durisol Lightweight Precast Concrete / Paper trade. -1980, Vol.I30-23p.
17. СНиП 2.03.01 - 84. Бетонные и железобетонные конструкции. / Госстрой СССР. - М., ЦИТП Госстроя СССР, 1985 - с. 79.
18. Griffith A.A. The Theory of Rupture - 1 n: Proc. First Int. Congress for Appl. Mechanics Deelft., - 1024. - p. 55-65.
19. Нагорнов А.Г. Трещиностойкость бетонов в связи с их структурой: Автореф. дисс.. канд.техн.наук.-Тбилиси, 1987. - с.22.
20. Крамской В.П. Методы расчета напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов в стадии эксплуатации на основе блочной и упрощенной схем: Дисс.. канд.техн.наук. - Краснодар, 1987.с. 196.
21. ДБН В.2.6-160:2010. Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення: затв. Мінрегіонбудом України від 15.11.2010 № 447 та від 30.12.2010 № 571, чинні з 01.09.2011. – К.: ДП «Укрархбудінформ», 2010. – 81 с.

**Душин В.В., Нагорний М.В., Сьома О.І. ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ БІ-БЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

*В статті приведено аналіз застосування залізобетонних балок, які виготовлені з кількох шарів бетону різних класів. Проведений аналіз застосування різноманітних методів та методик розрахунку багатошарових конструкцій. Проаналізовані методи розрахунків тріщиноутворення, аналізу напружено-деформованого стану конструкцій спираючись на теорію руйнування твердих тіл.*

**Ключові слова:** бі-бетон, залізобетон, багатошарові конструкції, теорія руйнування, тріщиностійкість, напружено-деформований стан

**Dushyn V., Nagorny M., S'oma O. EXPERIENCE OF BI-CONCRETE ELEMENTS**

*Opportunities to create innovative designs will open in connection with the use, along with ordinary heavy concrete high-strength concrete, which can carry a reinforced concrete elements of different functional load.*

*The present level of development of materials allows you to create layered structure, the properties of which will change over the cross section and the working conditions of such a type of construction can be considered bi-concrete bent elements.*

*Recommendations for the calculation and design of layered elements missing in the existing design standards. The calculation for bearing capacity (strength) of the normal sections and bent-walled concrete elements produced according to the position of the boundary of the compressed zone. In the case where the zone is compressed within a single layer, the calculation is performed in accordance with current standards for rectangular cross-sections. This case is most typical for board designs. When a compressed zone of concrete fall into different layers, use a special approach to the calculation of strength.*

*There is no consensus regarding the calculation of the bearing capacity of layered elements for the case where the compressed area is not located in a single layer. Most approaches are approximate.*

*In general, the work of any reinforced concrete element, and especially ply where there are artificial stress concentrators, - is the process of emergence, the movement of microcracks. Therefore, the use of per-layer elements methods of fracture mechanics - science, which is associated with the study of the strength of materials and structures are considering developing cracks - justified and necessary to more accurately describe the process of destruction of layered elements departing from the empirical relationships and account of real physical phenomena occurring in the destruction of layered structures.*

*In other words, convincingly demonstrated progressive method of calculation of concrete and reinforced concrete structures using the principles of fracture mechanics of solids. All dependencies to determine when cracking, crack growth parameters and transverse shear, the maximum load capacity, deformation have a clear physical meaning and take into account the diversity of real physical processes occurring in the concrete elements*

**Keywords:** bi-concrete, reinforced concrete, sandwich structures, theory of failure, treshinostoykost, stress-strain state

*Дата надходження в редакцію: 15.10.14 р.*

*Рецензент: к.т.н., професор Шмуклер В.С.*