

УДК 624.072.238

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БАЛОК С КОМБИНИРОВАННЫМ АРМИРОВАНИЕМ

Рахмонов А.Д.

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола, Россия (424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3), e-mail: ahmadjon2903@mail.ru.

В статье рассматривается работа статически неопределимой двухпролетной балки с комбинированным армированием при действии сосредоточенных сил. На основе компьютерного моделирования исследуется характер напряженно-деформированного состояния балок с комбинированным армированием с применением трехмерной модели. Всего исследовалось три серии образцов. По итогам исследования получены результаты численного исследования неразрезных балок, армированных металлической и композитной арматурой. Установлена зависимость напряженно-деформированного состояния от увеличения процента армирования верхней (композитной) арматуры. Получены опытные зависимости изменения прогиба балки от приложенной нагрузки по этапам загрузки. Приведено напряжение в нижнем (пролетном) сечении растянутой и сжатой стальной арматуры и напряжение в верхнем (опорном) сечении растянутой и сжатой композитной арматуры, напряжения в поверхности бетона при разрушении конструкции.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, комбинированное армирование, моделирование конечных элементов, трехмерное моделирование.

THE STUDY OF STRESS-STRAIN STATE BEAM WITH COMBINATION REINFORCEMENT

Rahmonov A.D.

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia (424000, Yoshkar-Ola, Lenin square, 3), e-mail: ahmadjon2903@mail.ru.

The paper deals with the work of statically indeterminate two-span beam with a combined reinforced by the action of concentrated forces. The nature of the stress-strain state of beams with combined reinforcement based on a three-dimensional model is investigated by the computer modeling. Three series of samples were investigated totally. The study obtained numerical results of continuous beams reinforced with metallic and composite reinforcement. The dependence of the stress – strain state of increasing the percentage of the top reinforcement (composite) fittings. Obtained depending on the changes experienced beam deflection on the applied load on the stage loading. Shown in the lower voltage (decking) section stretched and compressed steel reinforcement and tension in the upper (reference) section stretched and compressed composite reinforcement stresses in the concrete surface with structural failure.

Keywords: the stress-strain state, the combined reinforcement, the finite element modeling, three-dimensional modeling.

Введение

В настоящее время интерес к применению композитной арматуры в качестве рабочего армирования бетонных конструкций заметно возрос, что характеризуется увеличением научных и научно-практических публикаций, посвященных исследованию свойств и использованию композитных материалов в строительстве [1,2,6]. За последние годы эти материалы нашли применение и в России. Существующие нормы и правил проектирования бетонных конструкций с композиционными материалами находятся в стадии формирования, которые являются препятствием широкого внедрения указанной технологии в инженерную практику [4].

Таким образом, исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) бетонных элементов, армированных композитной арматурой, является одним из этапов совершенствования метода расчета вышеуказанных конструктивных элементов. Данная проблема не может быть решена без использования современных вычислительных комплексов. Наиболее зарекомендованными программными комплексами, отображающими НДС близко к фактической работе конструкции, являются ANSYS, Lira, SCADOffice [3]. В настоящей работе предложены результаты численного исследования бетонных балок с комбинированным армированием, выполненных с использованием расчетного комплекса Lira 9.6 R9.

Цель и методика численного исследования

Целью работы является определение НДС неразрезных бетонных балок с комбинированным армированием. Комбинированное армирование – двойное армирование бетонных элементов, у которых нижняя арматура выполнена из мягких арматурных сталей, верхнее армирование – из композитной арматуры. В исследовании рассматривается поведение 3-х серий двухпролетных бетонных балок при действии сосредоточенной нагрузки. Геометрические параметры балки и схема нагружения приведены на рисунке 1.

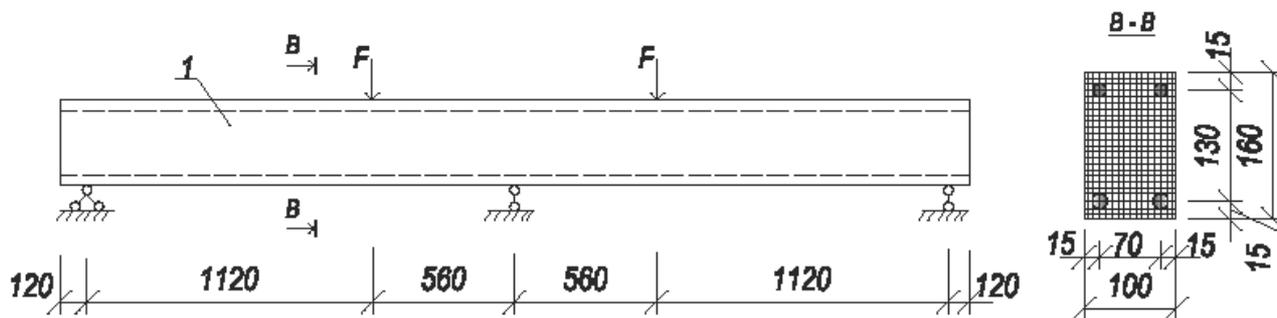


Рисунок 1. Геометрические параметры и схема нагружения исследуемых балок

Геометрические характеристики балок: пролет по 1.67 м; размеры поперечного сечения $100 \times 160(h)$ мм. Для изготовления балок использован бетон класса В25. Нижнее армирование всех серий выполнено из $2\varnothing 10$ мм класса А400. Верхнее армирование выполнено из базальтопластиковой арматуры ($R_s = 1300$ МПа): первая серия $2\varnothing 6$ мм; вторая $2\varnothing 8$ мм и третья $2\varnothing 10$ мм.

Моделирование НДС балок выполнено на основе программы Lira 9.6 с учетом объемного (трехосного) напряженного состояния. Бетон балки представлен объемными конечными элементами типа жесткости 236. Этот конечный элемент предназначен для прочностного расчета континуальных объектов с учетом физической нелинейности материала. При моделировании металлической и базальтопластиковой арматуры был принят

конечный элемент типа жесткости 210. Этот конечный элемент обеспечивает расчет всех видов стержневых систем с учетом физической нелинейности материала и является аналогом универсального линейного стержневого конечного элемента (тип КЭ 10).

Общий вид модели бетонных балок приведен на рисунке 2.

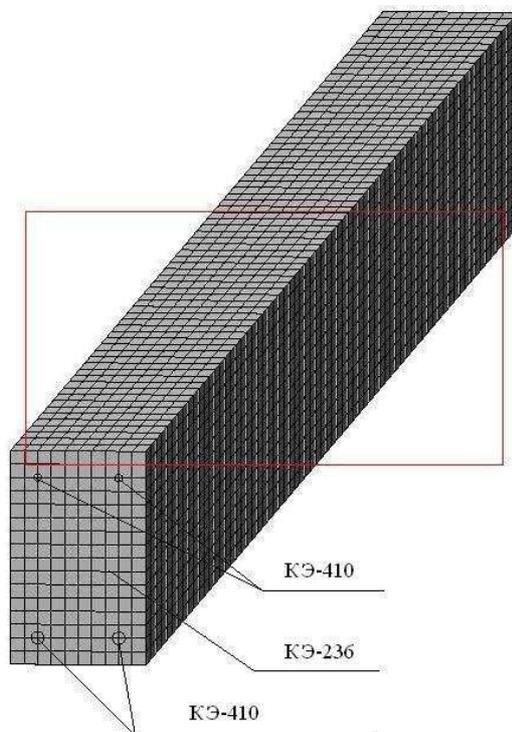


Рисунок 2. Модель исследуемых балок

Предварительные расчеты балок показали, что разрушение элементов произойдет вследствие достижения напряжений в нижней (пролетной) растянутой арматуре предела текучести. На основании этого возможность разрушения балок по бетону сжатой зоны не рассматривалась. Диаграмма « $\sigma_b - \epsilon_b$ » для бетона принята трехлинейной в соответствии с рекомендациями [5].

Обсуждение

По результатам численного моделирования получены деформированные схемы балок и схемы расположения трещин при различных стадиях нагружения. Получены графики зависимости прогиба балок от нагрузки, напряжения в арматурных стрежнях и график распределения напряжений по высоте сечения балок.

Моделированием установлена разрушающая нагрузка, которая составляет для балок первой серии 13.2 тс, для второй 13.6 тс, для третьей серии составляет 14.6 тс, т.е. с увеличением диаметра верхнего армирования прочность балок возрастает.

На рисунке 3 приведен график зависимости прогиба балок от приложенных сосредоточенных сил. Следует отметить, что за прогиб балки принимается перемещение

узла, расположенного в точке приложения сосредоточенных сил. При разрушающей нагрузке, при которой жесткость балок практически равна нулю, установлены значения прогибов, которые вдвое превышают прогибы, полученные расчетом при упругой работе материалов, и соответствуют: для первой серии 11.2 мм; для второй – 8.3 мм и для третьей – 3.86 мм.

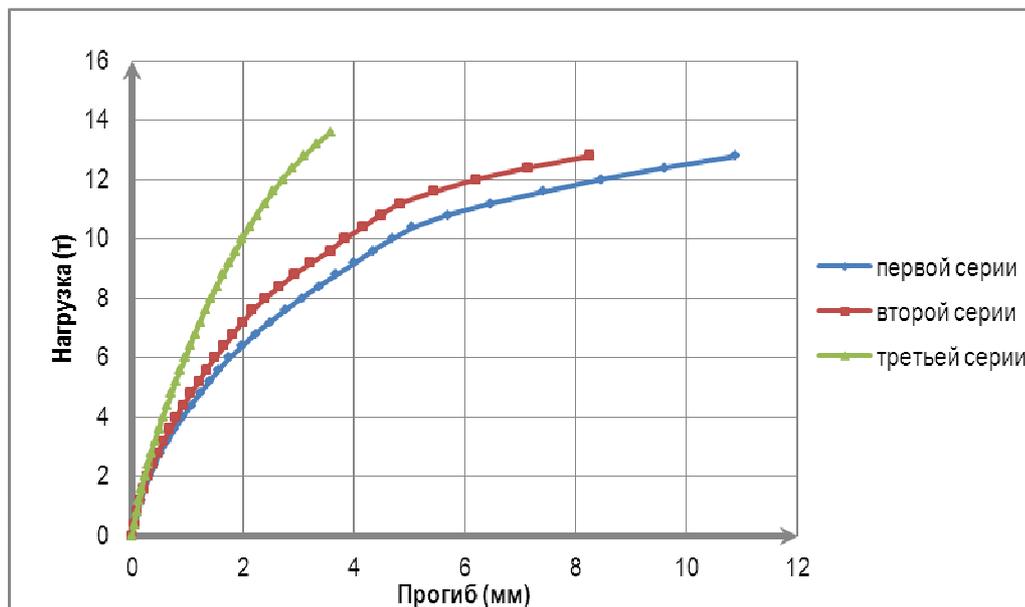


Рисунок 3. Зависимости прогиба балки от приложенной нагрузки

На рисунке 4 и 5 приведены зависимости напряжений в растянутых и сжатых арматурных стержнях от приложенной нагрузки. В соответствии с данным графиком можно выделить три характерных участка для растягивающих арматур:

1-й участок, соответствующий работе элемента без трещин, т.е. с момента загрузки до момента образования трещин в растянутых зонах бетона при нагрузке 0,8 тс;

2-й участок, с момента появления трещин до момента, когда в растянутой арматуре пролетных сечений начинают нарастать неупругие деформации;

3-й участок, соответствующий пластической работе пролетной арматуры.

В соответствии с данным графиком можно определить точку его резкого перегиба с уменьшением жесткости балки практически до нуля. Данная точка соответствует нагрузке на балку в момент образования пластического шарнира в пролетных сечениях. В указанный момент напряжения в мягкой арматурной стали, расположенной в нижней зоне пролетного сечения, достигают 410...430 МПа. При этом напряжения в растянутой базальтопластиковой арматуре (опорное сечение) находятся в пределах 500...750 МПа. Отношение напряжений в базальтопластиковой арматуре в опорном сечении к напряжениям стальной арматуры в пролетах составляет 1,22...1.74. Значения нагрузки, при которой образуется пластический

шарнир в пролетном сечении: для первой серии значение составляет 10.4 тс; для второй – 11.2 тс; для третьей серии разрушение произошло по сжатой зоне бетона.

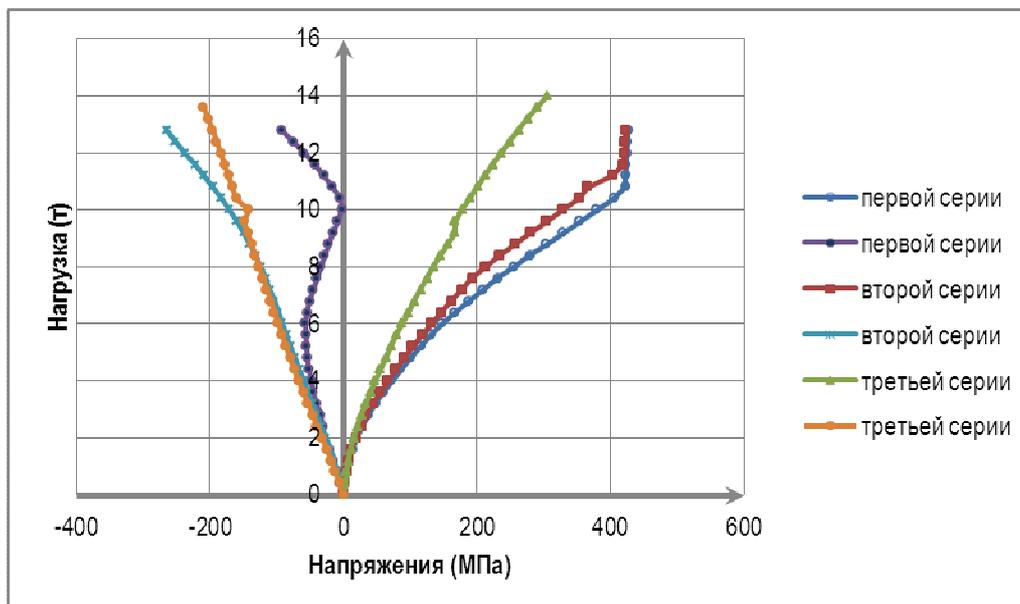


Рисунок 5. Зависимости напряжений в растянутой и сжатой арматуре от нагрузки для пролетного сечения

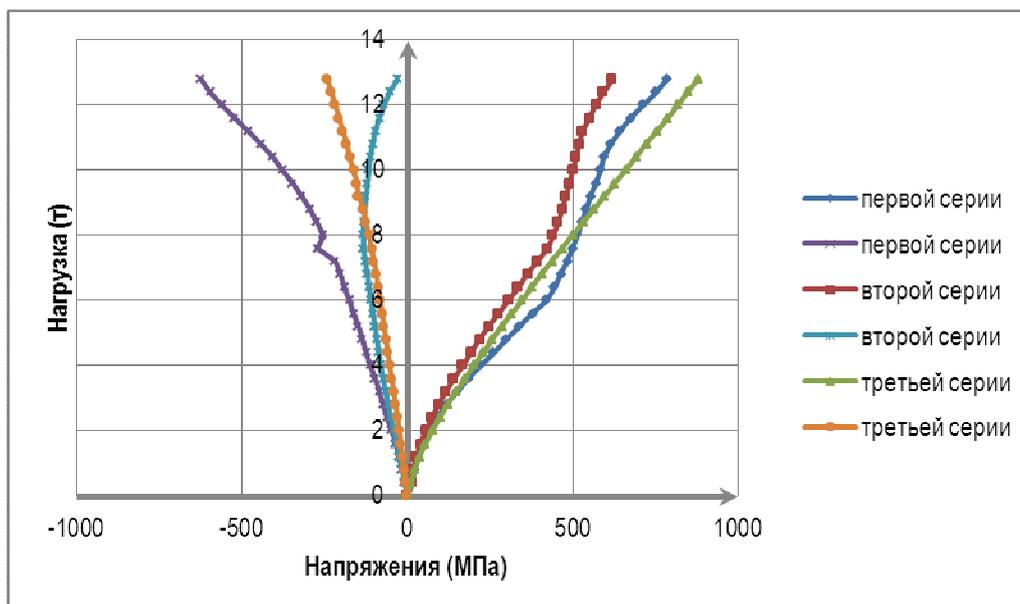


Рисунок 4. Зависимости напряжений в растянутой и сжатой арматуре от нагрузки для опорного сечения

На рисунке 5 и 6 приведена диаграмма распределения напряжений в бетоне по высоте сечения балок при разрушающей нагрузке. Напряжения в наиболее сжатых волокнах бетона при разрушении достигают: в пролетных сечениях в бетоне 20...28 МПа; в опорном сечении 23...32 МПа. Бетон растянутой зоны не работает, т.е. напряжения в бетоне соответствуют его прочности на растяжение (погрешность моделирования).

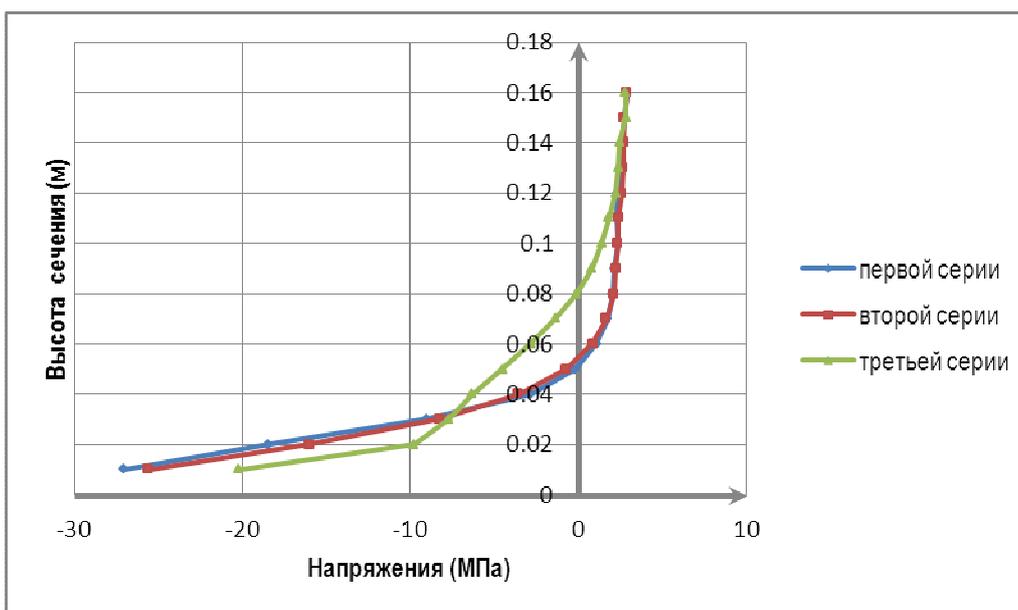


Рисунок 5. Распределения напряжений по высоте сечения балки при разрушающей нагрузке в пролетном сечении

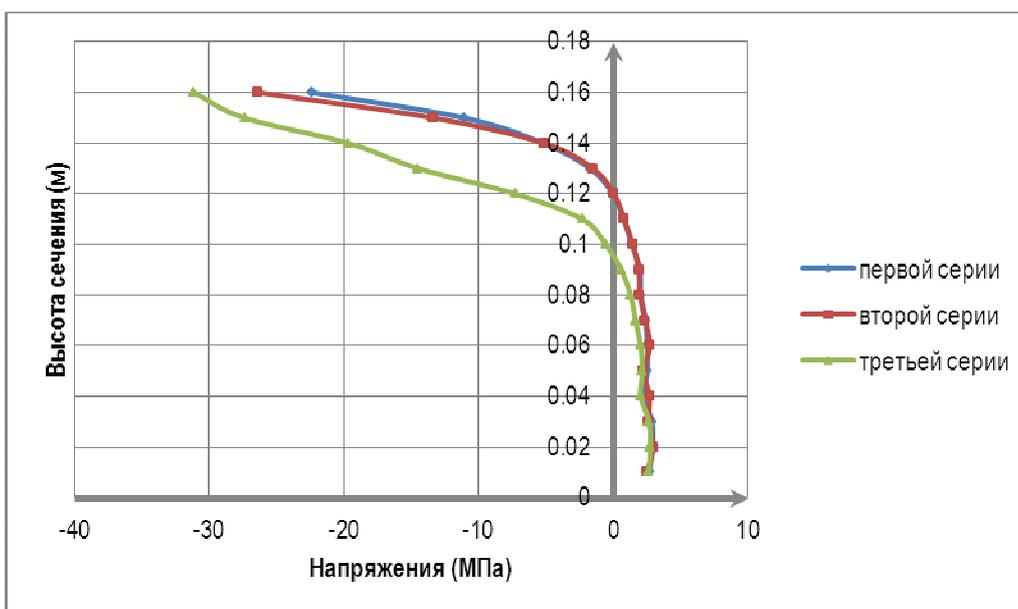


Рисунок 6. Распределения напряжений по высоте сечения балки при разрушающей нагрузке в опорном сечении

Высота сжатой зоны: в пролетных сечениях составляет для первой серии 8 см, для второй и третьей серии 5 см; в опорном сечении для первой и второй серии 6 см, для третьей – 8 см. Причем, указанные графики указывают нелинейную работу бетона, что соответствует реальной работе бетона сжатых зон изгибаемых элементов.

На рисунке 7 показан момент образования трещин в пролетных и опорном сечениях балки. Первые трещины в конечных элементах появились в опорном сечении при нагрузке 0,8–1,2 тс, при нагрузке 1,2 – 1,6 тс появились трещины в пролетных сечениях.

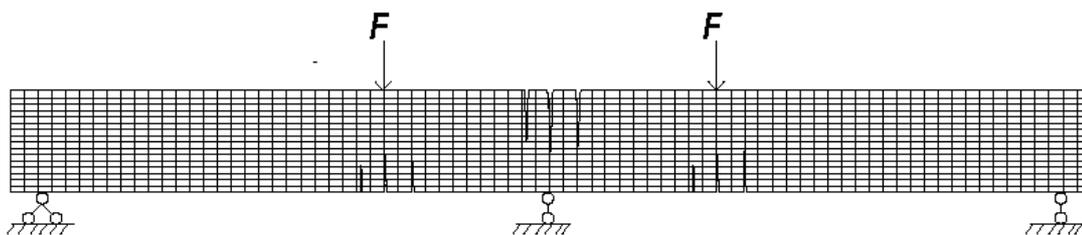


Рисунок 7. Схема расположения первых трещин при нагрузке

Выводы

1. Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния двухпролетных неразрезных бетонных балок с комбинированным армированием с учетом нелинейных диаграмм деформирования материалов (бетона, композитной и стальной арматуры) сопоставимы с теоретическими данными, определенными по действующим нормам проектирования [2], отклонения по всем качественным показателям не превышают 12.5 %.
2. Схема расположения трещин, полученная по результатам моделирования балок по программе Lira 9.6, соответствует реальной геометрической схеме расположения трещин.
3. Моделирование балок показало возможность перераспределения усилий между опорным и пролетными сечениями, т.е. использование композитной арматуры в качестве верхнего рабочего армирования в неразрезных бетонных балках является перспективным и экономичным вариантом армирования балочных междуэтажных перекрытий зданий и сооружений.

Список литературы

1. Волчок Д. Что такое композитное армирование? // Кирпич: журнал для строителей по призванию. СПб., 2012. № 5. С. 6-11.
2. ГОСТ 31938 – 2012. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия. М., 2013. С. 42.
3. Заикин В.Г., Валуйских В.П. Регулирование усилий в неразрезных конструкциях в составе комплексного расчета ПК ЛИРА // Бетон и железобетон. 2011. № 6. С.13-15.
4. Рахмонов А.Д., Соловьев Н.П. Предложения по применению композитной арматуры в каркасах зданий // Вестник СиБАДИ. 2013. № 5. С. 98-104.
5. Свод правил СП 63.13330-2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. М.: НИИЖБ, 2012. 153 с.
6. Турчанинов В.И., Салихов В.М., Анохин А.В. Использование композитной арматуры в бетонных конструкциях // Международная научно-техническая конференция

«Инновационные строительные технологии, теория и практика», посвященная 30-летнему юбилею кафедры строительных конструкций. Оренбург, 2013. С. 193-198.

Рецензенты:

Салихов М.Г., д.т.н., профессор, зав. кафедрой АД, Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола.

Низомов Д., д.т.н., профессор, заведующий лабораторией «Теория сейсмостойкости и моделирования» Института геологии, сейсмологии и сейсмостойкого строительства при академии наук Республики Таджикистан, г. Душанбе.