

А.А. ГВОЗДЕВ – ВЫДАЮЩИЙСЯ УЧЕНЫЙ XX ВЕКА, ОСНОВОПОЛОЖНИК ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ШКОЛЫ ТЕОРИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

A.A. GVOZDEV – THE OUTSTANDING SCI- ENTIST OF THE XX CENTURY, THE FOUND- ER OF THE RUSSIAN SCHOOL OF THE THE- ORY OF REINFORCED CONCRETE

Н. И. КАРПЕНКО, д-р техн. наук, проф.

В 2017 г. исполнилось 120 лет со дня рождения А.А. Гвоздева (1897 г.) — выдающегося ученого XX века в области строительной механики, теории пластин и оболочек, создания современной теории железобетона и методов расчета строительных конструкций по предельным состояниям. С именем А.А. Гвоздева неразрывно связаны развитие железобетона в нашей стране, создание норм проектирования, разработка и исследование основных направлений развития сборного и монолитного железобетона и их сочетаний.

А.А. Гвоздев – создатель российской школы по нелинейной механике железобетона, им подготовлено более 100 кандидатов и 10 докторов технических наук, работы А.А. Гвоздева получили широкую известность в СССР и за рубежом, высоко отмечены научным признанием и наградами.

Доктор технических наук, профессор А.А. Гвоздев был действительным членом Академии строительства и архитектуры – предшественницы современной Академии архитектуры и строительных наук (РААСН), членом ведущих научных советов, постоянным членом Европейского комитета по бетону (ЕКБ) и других научных отечественных и зарубежных организаций.

А.А. Гвоздев был организатором первой в СССР лаборатории железобетонных конструкций, затем

In 2017 we have been marked 120 years since the birth of A.A. Gvozdev (1897), the outstanding scientist of the XX century in the field of structural mechanics, theory of plates and shells, creating the modern theory of reinforced concrete and calculation methods of building structures to limit states. With the name of A.A. Gvozdev inextricably linked the development of reinforced concrete in our country, the establishment of design standards, development and research of basic directions of development of prefabricated and monolithic reinforced concrete, and their combinations.

A.A. Gvozdev – the Creator of Russian school on non-linear mechanics of reinforced concrete; he has trained more than 100 Ph.D and 10 doctors in engineering. A.A. Gvozdev became widely known in the USSR and abroad, a highly distinguished academic recognition and awards.

Doctor of engineering, full professor A.A. Gvozdev was a member of the Academy of Construction and Architecture, predecessor of the modern Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS), a member of the leading scientific councils, permanent member of Committee European du Beton (CEB) and other domestic and foreign scientific organizations.

A.A. Gvozdev was the organizer of the first in the USSR laboratory of reinforced concrete structures, then the Central laboratory of the theory of reinforced

Центральной лаборатории теории железобетона, и бессменным ее руководителем в течение почти 60 лет. Лаборатория сыграла важнейшую роль в развитии теории железобетона, методов расчета и проектирования железобетонных конструкций в нашей стране.

Ключевые слова:

статически неопределимые системы, теория железобетона, расчет по предельным состояниям, нормы проектирования, плиты и оболочки, теория ползучести бетона, расчет железобетонных конструкций

concrete, and he was its permanent head for almost 60 years. The laboratory has played the most important role in the development of the theory of reinforced concrete, methods of calculation and design of reinforced concrete structures in our country.

Key words:

theory of reinforced concrete, ultimate limit states, creep, design codes, theory of deformation of reinforced concrete with cracks, concrete creep, criteria of strength of concrete, calculation of prestressed structures, diagram method, structural model of concrete

Подробно жизненный и творческий путь А.А. Гвоздева изложен в обстоятельной монографии К.В. Михайлова и Г.К. Хайдукова [1], посвященной 100-летию со дня рождения Алексея Алексеевича Гвоздева, где также дан полный перечень его трудов. Здесь остановимся в основном на некоторых моментах творчества этого выдающегося ученого.

Краткая биографическая справка.

Алексей Алексеевич Гвоздев родился 9 мая 1897 г. в селе Богучарово бывшей Тульской губернии в семье потомственного дворянина. В 1915 г. А.А. Гвоздев окончил гимназию в г. Туле и поступил в Московский институт инженеров путей сообщения (МИИТ), который окончил в 1922 г.

Начало трудовой и научной деятельности. Трудовую деятельность А.А. Гвоздев начал еще во время учебы в институте строительным техником на Северной железной дороге, после окончания института, с 1922 г. по 1923 г. работал на восстановлении мостов в Николаеве и Киеве, разрушенных в годы первой мировой и гражданской войн, затем возвратился в Москву, где занимался проектированием ряда мостов через Москву-реку и преподаванием строительной механики в МИИТе (с 1923 по 1925 гг.).

Преподавательская деятельность. Преподавательская деятельность А.А. Гвоздева по строительной механике и конструкциям продолжалась более 50 лет (сначала в МИИТе, в Военно-инженерной академии (ВИА), затем в МВТУ в качестве профессора кафедры строительной механики, а с 1942 по 1962 г. — профессором кафедры железобетонных конструкций МИСИ). За многостороннюю научно-педагогическую деятельность А.А. Гвоздеву в 1933 г. было присвоено звание профессора по специальности «Строительная механика», а в 1936 г. по совокупности научных разработок присуждена ученая степень доктора технических наук.

Знаковый поворот в научной деятельности. А.А. Гвоздев — начало пожизненной научной деятельности в качестве руководителя лаборатории. Поворотным событием в жизни А.А. Гвоздева явилась организация в 1927 г. Государственного научно-исследовательского института (ГИС), где он по приглашению возглавил отдел расчета конструкций. В 1932 г. ГИС был переименован в Центральный научно-исследовательский институт промышленных сооружений (ЦНИПС), из которого позже (в 1956 г.) выделился Научно-исследовательский институт бетона и железобетона (НИИЖБ). В этих институтах А.А. Гвоздев возглавлял лабораторию железобетонных конструкций, а с 1956 г. и до конца жизни в НИИЖБе — Центральную лабораторию теории железобетона. Рассматривая твор-

ческую и научную деятельность А.А. Гвоздева, можно с некоторой условностью выделить несколько периодов.

Начальный период научной деятельности. Этот период был тесно связан с развитием строительной механики, интерес к которой проявился у Алексея Алексеевича еще в студенческие годы. В 1927 г. А.А. Гвоздев опубликовал книгу «Общий метод расчета статически неопределимых конструкций», в которой изложил предложенный им смешанный метод расчета статически неопределимых конструкций [2]. Метод был важен в то время для упрощения ручного счета неразрезных балок, рам и оболочек [3, 4]. Книга стала практическим руководством по проектированию. В том же году молодой инженер А.А. Гвоздев был привлечен к разработке проекта железобетонного конического купола диаметром около 30 м для перекрытия лаборатории Всесоюзного электротехнического института (ВЭИ) в Москве. Коническая форма представлялась оптимальной для передачи на основание купола сосредоточенной нагрузки, приложенной к центру купола от подвесного карусельного крана. Эта разработка стала началом научных исследований А.А. Гвоздева в области оболочек, которые нашли обобщение в Инструкции [5], составленной совместно с В.И. Мурашевым, В.Н. Горновым и В.З. Власовым. Из дальнейших работ следует отметить разработку совместно с А.А. Гольденвейзером метода расчета цилиндрических сводов-оболочек с учетом краевого эффекта, рассмотрение вопросов длительной устойчивости, подходов к расчету железобетонных оболочек как своеобразно анизотропных, анизотропия которых вызывалась не только армированием, но и ориентацией трещин. Это направление в расчетах железобетонных оболочек в настоящее время становится основным.

Проверка и развитие метода по разрушающим усилиям. К началу 30-х годов XX столетия стало очевидным, что расчеты железобетонных конструкций по допускаемым напряжениям как линейно упругого тела не соответствуют результатам экспериментальных исследований. Становился все более очевидным вопрос о необходимости учета пластических свойств бетона.

Прорывным в этом плане оказалось предложение А.Ф. Лолейта (в конце 1931 г.) по построению новой теории расчета железобетонных конструкций по разрушающим усилиям на примере железобетонной балки при изгибе [6]. Согласно этому предложению, в изгибаемой железобетонной балке в стадии разрушения в растянутой арматуре и сжатом бетоне вследствие развития пластических деформаций напряжения достигают предельных значений. Сейчас трудно представить, что до этого простого решения исследователи шли более 70 лет.

Экспериментальная проверка предложения А.Ф. Лолейта и распространение методики расчета по разрушающим усилиям на большой класс внецентренно сжатых элементов и балок с жесткой арматурой была выполнена в лаборатории железобетонных конструкций б. ЦНИПС М.С. Боришанским и А.П. Васильевым под руководством А.А. Гвоздева [6]. Лаборатория занималась также вопросами трещиностойкости, предварительным напряжением, новыми видами бетонов и арматуры.

Исследования лаборатории позволили в 1938 г. ввести методику расчета по стадии разрушения в нормы проектирования [7], что привело к более экономичному проектированию. А.А. Гвоздев не только доказал на основании экспериментальных исследований перспективность предложенного А.Ф. Лолейтом способа расчета по стадии разрушения (стадии исчерпания прочности), но и предложил ввести проверку по двум новым предельным состояниям – по трещиностойкости и по деформативности [8]. Это дало толчок проведению систематических исследований по разработке теории расчета железобетонных конструкций по трем предельным состояниям. В дальнейшем расчет по трещиностойкости и по деформативности вошел в общую вторую группу.

Лаборатория А.А. Гвоздева – «кузница» ведущих ученых в области теории и практики бетона

и железобетона. Ведущими научными сотрудниками лаборатории в те годы были В.М. Мурашев, А.П. Васильев, С.А. Дмитриев, М.С. Боришанский, Н.А. Коренев, В.С. Булгаков. В начале 50-х годов к ним прибавились В.В. Макаричев, К.Э. Таль, Н.Н. Лессиг, С.М. Крылов, А.В. Александровский, К.В. Михайлов, Н.М. Мулин, Е.А. Чистяков, Н.К. Белобров. В дальнейшем этот список значительно расширился. В.В. Макаричев и К.В. Михайлов в дальнейшем стали директорами нового института НИИЖБ.

Военное время. Исследования лаборатории по проблемам железобетона были прерваны началом Великой Отечественной войны. А.А. Гвоздев был призван в Красную Армию, где прошел путь от инженера 1го ранга до полковника. Под его руководством были разработаны Нормы проектирования и строительства железобетонных оборонительных сооружений и Нормы проектирования железобетонных конструкций для военного времени, им решались вопросы восстановления поврежденных сооружений в послевоенное время [9, 10].

Метод предельного равновесия и его фундаментальные теоремы. Послевоенный период характеризуется бурным развитием как самих железобетонных конструкций, особенно сборных, так и новых методов их расчета с учетом пластических свойств железобетона. На эту проблему А.А. Гвоздев обратил внимание еще в 1936 г., выступив на конференции в АН СССР с докладом «Определение величины разрушающей нагрузки статически неопределимых систем, подверженных пластические деформации» [11].

Новым этапом разработок по учету пластической деформации стал капитальный труд А.А. Гвоздева «Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия», который вышел в 1949 г. [12, 13]. В этом труде центральное место занимает доказательство двух фундаментальных теорем о нижней и верхней границах несущей способности метода предельного равновесия. К верхней границе несущей способности приводит кинематический способ метода предельного равновесия, а к нижней – статический способ этого метода.

За разработку основных положений и доказательство двух фундаментальных теорем метода предельного равновесия А.А. Гвоздеву в 1967 г. была присуждена Бельгийским инженерным обществом медаль Густава Тразенстора, которой награждаются выдающиеся ученые мира.

Метод предельного равновесия применим к расчету конструкций, претерпевающих значительные пластические деформации, и неприменим к случаям хрупкого разрушения [13, 14, 15]. Наибольшее развитие и распространение получил кинематический метод предельного равновесия применительно к расчету плит, работающих в двух направлениях, в трудах С.М. Крылова [16], а также в работах, выполненных под его руководством по расчету плит, неразрезных балок, рам ([17], разработки А.М. Проценко, Л.И. Ярина, Л.Н. Зайцева, Ю.В. Зайцева и др.). Расчет оболочек методом предельного равновесия развивали Н.В. Ахвледиани, А.Р. Ржаницин, Г.К. Хайдуков, В.В. Шугаев и др. [1].

Важную часть расчетного аппарата метода предельного равновесия составляют условия пластичности железобетона. Применительно к расчету плит кинематическим способом предельного равновесия может использоваться условие пластичности К. Йогансена по линиям пластических шарниров (линиям излома), в виде

$$M_n = M_{Tx} \sin^2 \alpha_T + M_{Ty} \cos^2 \alpha_T \quad (1)$$

где M_n – нормальный момент по линиям излома; M_{Tx} и M_{Ty} – предельные моменты усилий текучести в арматуре направлений x и y ($M_{Tx} = \sigma_{Tx} f_{sx} z$, $M_{Ty} = \sigma_{Ty} f_{sy} z$, где z – плечо внутренней пары уси-

лий; – угол между арматурой направления x и площадкой текучести, проходящей по линии излома). Угол α_T К. Йогансен предлагал определять экспериментальным путем. Применительно к расчету конструкций статическим методом предельного равновесия условие (1) становится непригодным, поскольку включает неизвестный угол α_T , кроме этого оно не дает возможности теоретически варьировать α_T при расчете кинематическим способом. Более общим является условие А.А. Гвоздева [12], предложенное в 1949 г. применительно к сложному косоугольному армированию. Здесь для сопоставления с (1) рассмотрим частный случай этого условия применительно к армированию плит нижней прямоугольной сеткой. А.А. Гвоздевым было установлено, что предельные моменты усилий текучести M_{Tx} и M_{Ty} в арматуре образуют плоский симметричный тензор, который был назван тензором сопротивления. Разность тензора сопротивления и тензора действующих усилий образует тензор запаса прочности с $A_x = (M_{Tx} - M_x)$; $A_{xy} = (M_{Txy} - M_{xy})$. Для армирования в виде прямоугольной сетки $A_{xy} = M_{xy}$, $M_{Txy} = 0$.

Зная величины A_x , A_y , A_{xy} , легко определить главные компоненты тензора запаса: A_{min} , A_{max} . Площадка, на которой компоненты тензора запаса обращаются в нуль,

$$A_{min} = 0 \quad (2)$$

и является площадкой текучести. Используя известные выражения для главных компонентов плоского тензора, условие (2) легко преобразовывается к виду

$$(M_{Tx} - M_x)(M_{Ty} - M_y) - M_{xy}^2 = 0.$$

При этом формула для определения угла наклона α_T площадок текучести, установленная А.А. Гвоздевым, имеет вид

$$\operatorname{tg} \alpha_T = \pm \sqrt{(M_{Tx} - M_x) / (M_{Ty} - M_y)} \quad (4)$$

В 1966 г. в докладе на VI Всесоюзной конференции по бетону и железобетону [18] Н.И. Карпенко предложил более общее условие для расчета плит и пологих оболочек с учетом совместного действия моментов и нормальных сил в виде

$$(M_{Tx} - M_x - N_x z_b)(M_{Ty} - M_y - N_y z_b) - (M_{xy} + N_{xy} z_b)^2 = 0 \quad (5)$$

где z_b – расстояние от срединной поверхности приложения сил N_x , N_y , N_{xy} до центра тяжести бетона сжатой зоны.

Толчок к развитию статического метода предельного равновесия на основе условий (3, 5) дало применение линейного и нелинейного программирования (в работах М.И. Рейтмана, Н.И. Карпенко, Л.И. Ярина, Б.Ю. Мирзабекяна [19, 20, 21] и др.).

А.А. Гвоздев – руководитель Центральной лаборатории теории железобетона НИИЖБа. В 1956 г. при создании Академии строительства и архитектуры было принято решение организовать на базе ЦНИПСа два самостоятельных института: НИИЖБ и ЦНИИСК. В состав новой Академии были избраны А.А. Гвоздев, Л.И. Онищик, В.В. Михайлов и В.И. Мурашев, а членами-корреспондентами стали В.И. Москвин, С.А. Миронов и В.С. Туркин, которые возглавили лаборатории НИИЖБа по разным направлениям. Ведущей лабораторией НИИЖБа в области теории и методов расчета железобетонных конструкций стала Центральная лаборатория теории железобетона и новых видов арматуры, которую возглавил А.А. Гвоздев. Начало организации НИИЖБа и последующие два с половиной десятилетия характеризовались значительными экспериментальными и теоретическими исследованиями в различных областях бетона и железобетона. В кабинете А.А. Гвоздева непрерывно

шло обсуждение результатов новых экспериментальных исследований, предложений по построению методов расчета и рекомендаций для норм проектирования. Главным требованием А.А. Гвоздева в этих обсуждениях было обеспечение достоверности результатов исследований без всяких подгонок. Известен случай, когда уличенный в попытке подтасовки экспериментальных исследований аспирант был немедленно исключен из аспирантуры. Этот случай имел большой резонанс среди молодых ученых.

Исследования лаборатории под руководством А.А. Гвоздева проходили по многим направлениям. В их числе:

- развитие методов расчета изгибаемых и внецентренно сжатых элементов, моментов трещинообразования, границ их переармирования, определения ширины раскрытия трещин, длительной прочности, надежности разработанных расчетов по предельным состояниям (исследования К.Э. Таля, Я.М. Немировского, Е.А. Чистякова, Н.К. Белоброва, Н.М. Мулина, Ю.П. Гущи, К.В. Петровой, Н.Г. Маткова и др.);

- определение несущей способности стержневых железобетонных конструкций при кручении и действии поперечных сил (исследования Н.Н. Лессиг, Л.К. Руллэ, Ю.В. Чиненкова, Т.П. Чистовой по определению прочности стержневых элементов при изгибе с кручением, М.С. Боришанского, затем — А.С. Залесова, В.Ф. Ильина, Л.Н. Зайцева и др. по определению прочности и деформативности балок на действие поперечных сил, Н.И. Карпенко, Э.Г. Елагина, Т.П. Чистовой — по определению деформаций прямоугольных и кольцевых элементов при изгибе с кручением);

- развитие методов расчета предварительно напряженных конструкций (исследования С.А. Дмитриева, Б.А. Калатунова, Е.А. Чистякова, А.А. Светова, Л.Н. Зикеева, И.В. Волкова и др. по определению деформативности и прочности преднапряженных конструкций по нормальным и наклонным сечениям);

- развитие методов расчета статически неопределимых железобетонных конструкций (исследования С.М. Крылова, Л.Н. Зайцева, А.М. Проценко, А.М. Овечкина, М.И. Рейтмана, В.В. Власова, А.И. Козачевского, В.Г. Назаренко, Л.И. Ярина и др. по расчету несущей способности и оптимальному проектированию статически неопределимых плоских и стержневых железобетонных конструкций; Н.И. Карпенко, С.М. Крылова и др. — по расчету деформаций и трещиностойкости плит, работающих в двух направлениях);

- разработка и внедрение новых видов арматуры, определение сцепления арматуры с бетоном (исследования Н.М. Мулина, К.В. Михайлова, С.А. Мадатьяна; Е.А. Гузеева, Б.П. Горячева, Г.Н. Судакова, И.Н. Тихонова и др.);

- развитие моделей деформирования и разрушения бетонных и железобетонных элементов при неоднородных — плоских и объемных напряженных состояниях, развитие теории ползучести (исследования Н.И. Карпенко, А.В. Яшина, Е.С. Лейтеса по разработке критериев прочности бетона при объемном напряженном состоянии, Н.И. Карпенко — по разработке теории деформирования и прочности железобетонных элементов с трещинами при плоском и объемном напряженных состояниях); по способам учета нелинейных деформаций ползучести (исследования С.В. Александровского, А.В. Яшина, Э.А. Багрия, К.З. Галустова и др.), по оценке виброползучести и влияния переменных режимов нагружения (исследования Ю.Н. Кардовского, И.К. Белоброва, Т.С. Каранфилова, Ю.С. Кулыгина, Ю.С. Волкова, В.А. Рахманова и др.).

Результаты многолетних исследований Центральной лаборатории теории железобетона и новых видов арматуры нашли отражение в докладах А.А. Гвоздева на многих конференциях, в его личных

публикациях, а также в публикациях, подготовленных совместно со многими исследователями его школы, а также почитателями достижений школы. В качестве соавторов публикаций А.А. Гвоздева выступали С.А. Дмитриев, С.М. Крылов, Я.М. Немировский, Л.И. Макаренко, И.К. Белобров, Н.Н. Лессиг, К.Э. Таль, С.В. Александровский, Э.Я. Багрий, Б.А. Калатуров, Н.И. Карпенко, Л.Н. Зайцев, К.З. Галустов, А.В. Яшин, О.Я. Берг, Н.М. Мулин, Ю.П. Гуца, Ю.Н. Кардовский, Е.А. Чистяков, А.В. Шубик, В.Н. Байков, А.С. Залесов, И.Т. Титов, К.Г. Ермуханов, Е.Ж. Жимагулов, О.Ф. Ильин, П.П. Семенов, Р.Л. Серых и др.

Все указанные исследования обобщены в сборниках НИИЖБ [22], а также в обобщающих трудах А.А. Гвоздева [23 – 32].

В принципе указанные результаты являются известными, остановимся лишь на некоторых из них.

Развитие теории ползучести. Одним из важных разделов современной теории бетона является теория ползучести. Основы современной теории, наиболее полно учитывающие старение и наследственность бетона, были заложены Г.Н. Масловым [33] в 1941 г. Эта теория получила название теории упруго-ползучего тела, которую также называют наследственной теорией старения бетона. Построение математической модели такой теории с записью основных интегральных уравнений было выполнено Н.Х. Арутюняном в 1949 – 1952 гг. [34, 35]. Построения относились к учету линейной ползучести и основывались на мерах ползучести, зависящих от времени нагружения образца и длительности действия напряжений, а также на принципе наложения воздействий. Меры устанавливались экспериментальным путем и требовали проведения многочисленных экспериментов, на основании которых совершенствовались меры ползучести. Выяснилось значительное влияние нелинейной ползучести, необходимыми стали нелинейные меры ползучести. Нелинейные деформации, а также отдельные линейные деформации ползучести не в полной мере подчинялись принципу наложения воздействий. Меры устанавливались экспериментальным путем и требовали проведения многочисленных экспериментов, на основании которых совершенствовались меры ползучести. Выяснилось значительное влияние нелинейной ползучести, необходимыми стали нелинейные меры ползучести. Нелинейные деформации, а также отдельные линейные деформации ползучести не в полной мере подчинялись принципу наложения воздействий. Эти факторы изучались в работах многих исследователей. Развитие более общих моделей ползучести в НИИЖБ проходило под руководством А.А. Гвоздева, затем отделилась группа, которой руководил С.В. Александровский.

В работах А.А. Гвоздева, К.З. Галустова, А.В. Яшина [36, 37] введена классификация необратимых деформаций ползучести на деформации первого рода, не связанные со старением, и деформации второго рода, вызванные старением бетона, а также большое внимание уделялось деформациям ползучести, учет которых отклоняется от принципа наложения воздействия.

Наиболее общий вариант нелинейной теории ползучести был предложен А.А. Гвоздевым в работе [38]. Предложена новая запись интегрального уравнения ползучести в виде

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E(t)} + \int_{\tau_1}^t \frac{\sigma(\tau)}{E(\tau)} K(t, \tau) + \int_0^{\sigma_{\max}} F'[\sigma(\tau)] \Phi(\tau_2, \tau_1) d\sigma \quad (6)$$

где $K(t, \tau)$ – линейное ядро, принимаемое по формуле упруго-ползучего тела в виде

$$K(t, \tau) = -E(\tau) \frac{\partial}{\partial \tau} \left[\frac{1}{E(\tau)} + C(t, \tau) \right] \quad (7)$$

другие составляющие:

$$F'[\sigma(\tau)] = \sigma(t)f[\bar{\sigma}(t)], \quad f[\bar{\sigma}(t)] = \left[\frac{\sigma(t)}{\sigma_0} \right]^m,$$

где σ_0 – некоторое постоянное напряжение (для удобства принимается $\sigma_0=1$);

$\Phi(\tau_2, \tau_1)$ – функция, определяющая необратимую составляющую деформацией ползучести первого рода, которая выражалась через нелинейную составляющую деформацией ползучести $C_n(\tau_2, \tau_1)$:

$$\Phi(\tau_2, \tau_1) = C_n(\tau_2, \tau_1), \quad (8)$$

здесь $\tau_1(\sigma)$, $\tau_2(\sigma)$ – время начала и конца роста напряжений, причем $\tau_2(\sigma) \leq t$,

$\sigma_{\max}$ – наибольшее к моменту t напряжение в рассматриваемом процессе.

Представленный вариант учитывает нестрогость принципа наложения воздействий.

Уравнение (6) нашло развитие в работе К.З. Галустова и А.А. Гвоздева [39]. Здесь предложен более точный учет нелинейных деформаций ползучести в виде

$$\varepsilon_n(t) = \frac{\sigma(t)}{\Phi(t)} + \frac{R(t)}{E(t)} \int_{\tau_1}^t \eta(\tau) \cdot K(t-\tau) d\tau + \int_0^{\eta_{\max}} f(\eta) \cdot F[T(\eta, t)] d\eta \quad (9)$$

где $\eta_{\max}$ – максимальное значение уровня напряжений $\eta = \frac{\sigma}{R}$, достигнутое к моменту t ; R – прочность стандартных призм; T – суммарная длительность действия уровня напряжений к моменту времени t , причем функции $K(t-T)$ и $F(t)$ считаются инвариантными – не зависящими от возраста бетона.

В дальнейшем А.А. Гвоздев предложил инвариантное ядро $K(t-\tau)$ заменить на неинвариантное [40]:

$$K(t, \tau) = f(\tau) + \varphi(\tau)K(t-\tau) \quad (10)$$

что придало уравнению (9) более общий характер.

Разработка модели железобетона с трещинами при плоском напряженном состоянии. В 1965 г. в журнале «Строительная механика и расчет сооружений», №2, была опубликована статья А.А. Гвоздева и Н.И. Карпенко [41], которая послужила началом развития теории деформирования железобетона с трещинами при плоском, напряженном состоянии [41].

Рассмотрено армирование в виде прямоугольной сетки. Определены напряжения в арматуре в трещинах

$$\sigma_{sx} = \frac{\sigma_x + \tau_{xy} \operatorname{tg} \alpha}{\mu_x} \lambda_x; \quad \sigma_{sy} = \frac{\sigma_y + \tau_{xy} \operatorname{tg} \alpha}{\mu_y} \lambda_y, \quad (11)$$

где α – угол наклона трещин к оси x ; μ_x, μ_y – коэффициенты армирования; λ_x, λ_y – коэффициенты, учитывающие влияние касательных напряжений в арматуре в трещинах и сил зацепления берегов трещин. Кроме деформаций арматуры, вызванных напряжениями (11), учитывается еще дополнительное влияние напряжений и деформаций полос бетона между трещинами, в результате физические соотношения, связывающие напряжения с деформациями, принимают вид

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & 0 & C_{13} \\ 0 & C_{22} & C_{23} \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} \quad (12)$$

где C_{ij} – нелинейные коэффициенты матрицы податливости.

Зависимости (12) подобны зависимостям нелинейного анизотропного тела, отсюда название анизотропная модель железобетона.

В развитие плоской модели в 1965 – 1966 гг. Н.И. Карпенко опубликовал статьи по расчету прогибов железобетонных плит с трещинами, работающих в двух направлениях [42, 43]. В изгибаемых плитах напряжения в арматуре в трещинах σ_{sx} , σ_{sy} , определились по зависимостям:

$$\sigma_{sx} = \frac{M_x + M_{xy} \operatorname{ctg} \alpha}{(h_0 - 0,5x_T)f_{ax}} \chi_x ; \quad \sigma_{sy} = \frac{M_y + M_{xy} \operatorname{tg} \alpha}{(h_0 - 0,5x_T)f_{xy}} \lambda_y , \quad (14)$$

где x_T – высота сжатой зоны над трещинами; M_x , M_y , M_{xy} – изгибающие и крутящие моменты.

Также найден способ учета деформаций бетона над трещинами и деформаций полос бетона между трещинами, в результате физические соотношения для плит приняли вид

$$\left\{ \begin{array}{l} -\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \\ -\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \\ -2\frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y} \end{array} \right\} = \begin{bmatrix} B_{11} & 0 & B_{13} \\ 0 & B_{22} & B_{23} \\ B_{13} & B_{23} & B_{33} \end{bmatrix} \left\{ \begin{array}{l} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{array} \right\} \quad (15)$$

где W – функция прогибов.

Зависимости (15) приводили к анизотропной модели деформирования плит, что противоречило тогдашнему мнению об изотропной модели деформирования плит.

Результаты экспериментальной проверки начальной теории расчета конструкций при плоском напряженном состоянии с учетом трещин и ее обобщение приведено в работе А.А. Гвоздева, Н.И. Карпенко, С.М. Крылова [44].

В дальнейшем в работах Н.И. Карпенко получили развитие более общие модели деформирования железобетонных плоских и оболочечных элементов с трещинами и без трещин при совместном действии моментов и нормальных сил (M_x , M_y , M_{xy} , N_x , N_y , N_{xy}), а также железобетонных элементов с трещинами и без трещин при объемном напряженном состоянии (при действии напряжений σ_x , σ_y , σ_z , τ_{xy} , τ_{xz} , τ_{yz}). Эти работы обобщены в монографиях Н.И. Карпенко [45, 46]. Монография [45] вышла с предисловием А.А. Гвоздева, который оказал большую поддержку развитию этого направления.

К развитию критериев прочности бетона. В своей монографии [12] А.А. Гвоздев также предложил запись формы предельной поверхности бетона при трехосном напряженном состоянии. Представленная в этой работе рациональная форма предельной поверхности стала началом развития критериев прочности в виде функциональных связей между инвариантными величинами: октаэдрическим нормальным (σ_0) и касательным (τ_0) напряжениями и параметром Лодье – Надаи (μ_0)

$$F(\tau_0, \sigma_0, \mu_0, R_b, R_{bt}) = 0 \quad (16)$$

Инвариантный способ построения использовался в НИИЖБе Е.С. Лейтесом, А.В. Яшиным и Н.И. Карпенко. Обзор этих исследований приведен в [46].

Для практических расчетов в случае сжатия элемента напряжениями $\sigma_1 = \sigma_2 \succ \sigma_3$ А.А. Гвоздев рекомендовал для использования более простое условие вида

$$\sigma_3 = -R_{bc} + \beta_{II} \sigma_I \quad (17)$$

при коэффициенте $\beta_{II} = 5$ (здесь напряжения сжатия приняты отрицательными), Условие прочности (17) в настоящее время также вошло в Еврокод.

Исследования Н.И. Карпенко показали, что параметр β_{Π} в условии (17) не является постоянной величиной, а описывается некоторой дробной функцией [46]

$$\beta_{\Pi} = \frac{1 + a - a \frac{\sigma_1}{\sigma_3}}{b + (1 - b) \frac{\sigma_1}{\sigma_3}} \quad (18)$$

где a, b – константы материала (для тяжелых бетонов $b \approx 0,118, a \approx 0,56$); также показано, что условие (17) можно распространить на все случаи трехосного сжатия, записав его в виде

$$\sigma_3 = -k_c (-R_{bc} + \beta_{\Pi} \sigma_1), \quad (19)$$

где k_c – функция влияния среднего напряжения σ_2 на прочность,

$$k_c = 1 + \frac{c R_{bt}}{R_{bc}} \left[1 - d \mu_{\sigma} - (1 - d) \mu_{\sigma}^3 - e (1 - \mu_{\sigma})^2 \right] \quad (20)$$

R_{bt}, R_{bc} – прочность бетона при одноосном сжатии и растяжении; для тяжелых бетонов $c=5, e=0,44, d=0,8$.

О задачах развития теории деформирования и прочности бетона и железобетона. Этой проблеме А.А. Гвоздев уделял большое внимание. Его взгляды на ее развитие отражены в докладах [49, 50, 51, 52], в том числе составленных совместно с В.Н. Байковым и О.Я. Бергом [47, 52]. А.А. Гвоздев также уделял большое внимание построению структурных моделей бетона [49]. Известно его мнение, что «неоднородность бетона, порождая возникновение микротрещин, задерживает их перерастание в опасные микротрещины». В силу этого более неоднородные бетоны менее чувствительны к концентрациям напряжений. Эта гипотеза А.А. Гвоздева подтверждается в настоящее время при создании высокопрочных бетонов.

Тезис А.А. Гвоздева [29], что методы расчета конструкций предварительного напряженных и обычных должны основываться на общих принципах, подтверждается в диаграммной модели. Если при расчете обычных конструкций диаграмма деформирования арматуры начинает включаться в расчет с нулевых напряжений и деформаций, то при расчете предварительного напряженных конструкций диаграмма арматуры включается с напряжений и деформаций, соответствующих началу совместной работы бетона и предварительно напряженной арматуры. Фактически расчет железобетонных конструкций при этом сводится к расчету конструкций с начальными напряжениями и деформациями его компонент.

Развитие нормативной базы. Неожиданный поворот и необходимый разворот. Неоценим вклад А.А. Гвоздева в развитие отечественной нормативной базы по расчету и проектированию железобетонных конструкций. Эта работа велась под руководством А.А. Гвоздева более 50 лет. Остановимся лишь на последней серии нормативных документов, которые стали основой проектирования конструкций на протяжении последних 40 лет. В их числе:

- СНиП II-B.1-62 Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования, 1963 г;
- СНиП II-B.1-62* Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования, 1970 г;
- СНиП II-21-75 Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования, 1976 г;
- СНиП 2.03.01-84 Бетонные и железобетонные конструкции. 1984 г;

• СНиП 2.03.01-84* Бетонные и железобетонные конструкции. 2002 г

Над созданием этой серии нормативных документов и над разработкой Пособий к ним в разное время работало большое число исследователей; от НИИЖБ — А.А. Гвоздев, С.А. Дмитриев, Б.А. Калатуров, К.В. Михайлов, К.Э. Таль, Н.М. Мулин, М.С. Боришанский, Н.Н. Лессиг, Л.К. Рулле, Е.А. Чистяков, И.К. Белобров, Я.М. Немировский, С.М. Крылов, Ф.И. Городницкий, Н.А. Коренев, Г.И. Бердичевский, Н.И. Катин, А.Е.

Кузьмичев, Р.Л. Серых, И.Е. Евгеньев, А.П. Васильев, Н.Г. Матков, А.С. Залесов, Н.И. Карпенко, Ю.П. Гуша, В.А. Клевцов, С.А. Мадатян, И.Н. Тихонов, Л.Н. Зикеев, К.В. Петрова, И.В. Волков, В.М. Баташев и др.; от ЦНИИПромзданий — Б.Ф. Васильев, Н.Л. Богаткин, Н.К. Никитин, А.С. Залесов (вначале), В.Н. Федоров, Э.Н. Кодыш и др.

Обоснованию положений СНиП и их экспериментальной проверке посвящены отдельные научные сборники НИИЖБа, среди них можно выделить сборник 1978 г. [53].

В связи с этим неожиданностью стал выпуск в 2012 г. нового свода правил СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения». В этом нормативном документе несколько изменен расчет железобетонных конструкций по первой группе предельных состояний с исключением общего случая расчета, и полностью изменен расчет по второй группе предельных состояний (по трещинообразованию и определению деформаций). Фактически для расчетов по второй группе введены некоторые варианты упругого расчета, от которых исследователи отошли около 50 лет назад. Это также касается введенной зависимости для граничной высоты сжатой зоны.

Раньше было принято выпускать специальный сборник трудов НИИЖБа с детальным обоснованием зависимостей новых норм, как это сделано в сборнике [53]. Таких публикаций с обоснованием нововведений нет, за исключением публикаций с рекламой новой нелинейной деформационной модели расчета, о которой пойдет речь далее.

Если СНиП 2.03.01-84* касался расчета железобетонных конструкций из всех видов бетонов (тяжелых, различных легких, ячеистых), то СП 63.13330.2012, разработанный под руководством А.С. Залесова, касается только расчета конструкций из тяжелых бетонов. Распространение его на расчет конструкций из других бетонов стало практически невыполнимой задачей. В связи с этим полагаем, что необходимо вернуться к обоснованному СНиП 2.03.01-84, учтя в нем некоторые положительные элементы СП 63.13330.2012. К ним относится введенный расчет по нелинейной деформационной модели (к диаграммному методу расчета), который позволяет вести расчет различных стержневых конструкций современными вычислительными методами.

Хотя руководители разработки нового СП позиционировали себя в виде авторов деформационной модели, в действительности она была разработана в лаборатории Механики железобетона НИИЖБа и на кафедре железобетонных конструкций МИСИ еще в 1987 г. и опубликована в работах [54, 55]. Пути развития диаграммной методики представлены в статье [56].

В настоящее время диаграммный метод развит применительно в высокопрочным тяжелым и легким бетонам, и его введение в нормативный документ заслуживает особого внимания. Кроме этого, разработан более общий диаграммный метод [57] применительно к различным конструкциям, работающим при плоских и объемных напряженных состояниях на основе построений [45, 46]. Это новое направление всячески поддерживалось А.А. Гвоздевым еще в начале своего развития. Так, в СНиП 2.03.01-84* была введена упрощенная двухслойная диаграммная модель расчета изгибаемых и внецентренно сжатых стержневых элементов, которая по точности не уступает более общей модели. Линейная методика СП 63.13330 не связана с нелинейной диаграммной моделью.

В Методическом пособии [57] также восстановлен метод предельного равновесия А.А. Гвоздева по расчету статически неопределимых железобетонных конструкций.

Что касается инженерных методов расчета в СНиП 2.03.01-84*, то они должны быть сохранены как высшее достижение в области простых, условно ручных методов расчета, имеющих большое физическое обоснование на основе огромного количества экспериментов. Такие обширные комплексные исследования, видимо, в дальнейшем будут невозможны.

Исследователям НИИЖБ им. А.А. Гвоздева необходимо не только говорить, но и тщательно беречь большое наследие А.А. Гвоздева и прилагать усилия для его развития.

Библиографический список

1. Михайлов К.В., Хайдуков Г.К. Алексей Алексеевич Гвоздев. М.: ГНЦ «Строительство», НИИЖБ. — М., 1997.
2. Гвоздев А.А. Общий метод расчета статически неопределимых систем. — М.: Издательство МИИТ, 1927.
3. Инструкция по расчету железобетонных рам и каркасов. — М.: Госстройиздат, 1933 (Гвоздев А.А. совм. с В.И.Мурашевым).
4. Инструкция по расчету безбалочных перекрытий. — М.: Госстройиздат, 1933 (Гвоздев А.А. совм. с колл. авторов).
5. Инструкция по проектированию и расчету железобетонных конструкций тонкостенных пространственных покрытий и перекрытий. — М.: ОНТИ, 1937 (Гвоздев А.А. совм. с колл. авторов).
6. Артур Фердинандович Лолейт (1868-1933). // Строитель. — 1933. — №2.
6. О пересмотре способов расчета железобетонных конструкций и первых его результатах. — М., Л.: ОНТИ, Госстройиздат, 1934.
7. Технические условия и нормы проектирования железобетонных конструкций (ОСТ 900003-38). М.: Стройиздат Наркомстроя, 1938 (Гвоздев А.А. совм. с колл. авторов).
8. Гвоздев А.А. Обоснование §33 Норм и Технических условий проектирования железобетонных конструкций. // Строительная промышленность. — 1939. — №3. С 23-35.
9. Указания по проектированию и применению бетонных и железобетонных конструкций в условиях военного времени (У-37-42). — М.: Стройиздат Наркомстроя, 1943, (Гвоздев А.А. совм. с колл. авторов).
10. Гвоздев А.А. Восстановление железобетонных сооружений и конструкций. Материалы техн. конф. по восстановленному строительству. — М.: Стройиздат, 1944.
11. Определение величины разрушающих нагрузок для статически неопределимых систем, терпевающих пластические деформации. / Труды конф. по пластическим деформациям. 1936 г. — М.: Из-во АН СССР. (Гвоздев А.А. совм. с колл. авторов).
12. Гвоздев А.А. Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия. — М.: Госстройиздат, 1949 (пер. на кит. яз., издана в 1958 г.).
13. Гвоздев А.А. Метод предельного равновесия в применении к расчету железобетонных конструкций. // Инж. сб.—. 1949. — Вып. 2. С 16-21.
14. Гвоздев А.А. Расчет железобетонных обычных и предварительно напряженных конструкций

по предельным состояниям. Доклад на совещании комиссии по расчету конструкций Международного Совета по строительству и АС и А СССР. // Бюлл. ЕКБ. — 1959. — № 10 (доклад переведен на англ. яз. и распространен в США).

15. Инструкция по расчету статически неопределимых железобетонных конструкции с учетом перераспределения усилий. — М.: Госстройиздат, 1960 (А.А. Гвоздев и С.М. Крылов, переведена на франц. и англ. языки).

16. Крылов С.М. Перераспределение усилий в статически неопределимых железобетонных конструкциях. — М.: Стройиздат, 1964.

17. Руководство по расчету статически неопределимых железобетонных конструкций. — М.: Стройиздат, 1975 (Гвоздев А.А., Крылов С.М. совм. с колл. авторов).

18. Карпенко Н.И. О работе железобетонных плит с трещинами. / Тр. VI Всес. конф. по бетону и железобетону, I секция НТО Стройиндустрии. — М.: Стройиздат, 1966.

19. Карпенко Н.И., Рейтман М.И. Нижняя граница несущей способности и оптимальное проектирование железобетонных плит. / В сб.: Труды VI Всесоюзной конференции по теории оболочек и пластинок. — М.: Мир, 1967. С 67-78.

20. Рейтман Н.И., Ярин Л.И. Оптимизация параметров железобетонных конструкций на ЭВМ. — М.: Стройиздат, 1974.

21. Мирзабекян Б.Ю., Рейтман М.К. Определение несущей способности и минимального армирования железобетонных оболочек методами линейного программирования. / Сб. «ЦНИИЭПсельстрой». Исследования конструкций зданий и сооружений для сельского строительства. Вып. 2-1. — М.: Стройиздат, 1968 г.

22. Сборники трудов НИИЖБ под редакцией А.А. Гвоздева за 1959, 1960, 1962, 1963 и 1965 гг.

23. Гвоздев А.А. Некоторые механические свойства бетона, существенно важные для строительной механики железобетонных конструкций. / Сб. тр. НИИЖБ. 24. Гвоздев А.А. Расчет железобетонных обычных и предварительно напряженных конструкций по предельным состояниям. / Доклад на совещании комиссии по расчету конструкций Международного Совета по строительству и АС и А СССР. // Бюлл. ЕКБ. 1959.. — № 10. С 14-66 (доклад переведен на англ. язык и распространен в США).

25. Гвоздев А.А. Актуальные вопросы развития сборных предварительно напряженных железобетонных конструкций. // Бетон и железобетон.— 1960.— №7. — С. 31-36.

26. Гвоздев А.А. Устойчивость железобетонных оболочек. // Бетон и железобетон. — 1961. — №10. — С. 11-17.

27. Гвоздев А.А. Исследования по теории железобетона. / Сб. научн. тр. Под ред. А.А. Гвоздева. 1960.

28. Гвоздев А.А. Некоторые вопросы методики исследований прочности и деформаций бетона и железобетонных конструкций. // Сб. «Методика лабораторных исследований деформаций и прочности бетона, арматуры и железобетонных конструкций». — М.: Госстройиздат, 1962.

29. Гвоздев А.А. Обзор результатов научных исследований в СССР по предварительно-напряженному железобетону. Доклад на IV Конгрессе ФИП, 1962.

30. Гвоздев А.А., Лессиг Н.Н., Таль К.Э. Некоторые новые положения расчета и конструирования железобетонных конструкций.// Сб. тр. НИИЖБ «Расчет и конструирование элементов железобетонных конструкций». — М.: Стройиздат, 1964.

31. Гвоздев А.А. К вопросу о статическом методе расчета элементов конструкций. // Строитель-

ная механика и расчет сооружений. — 1964. — №6. — С. 26-32.

32. *Гвоздев А.А.* Тенденции в развитии теории расчета предварительно напряженных бетонных конструкций. / Совещ. по предварительно напряженным железобетонным конструкциям производственных зданий. — М.: Стройиздат, 1965.

33. *Маслов Г.В.* Термическое напряженное состояние бетонных массивов при учете ползучести бетона. — М.: Известия НИИГ, т. 28, 1941. — С. 44-56.

34. *Арутюнян Н.Х.* Теория упруго-напряженного состояния бетона с учетом ползучести. // Прикладная математика и механика. — Т. XIII. — Вып. 6. — 1949.

35. *Арутюнян Н.Х.* Некоторые вопросы теории ползучести бетона. — М.: Гостехиздат, 1952.

36. *Гвоздев А.А., Галустов К.З., Яшин А.В.* Об уточнении теории линейной ползучести бетона. // Механика твердого тела. — 1967. — №6. — С. 34-41

37. *Гвоздев А.А., Галустов К.З., Яшин А.В.* О некоторых отступлениях от принципа наложения в теории ползучести. // Бетон и железобетон. — 1967. — №8. — С. 12-17.

38. *Гвоздев А.А.* О некоторых исследованиях ползучести бетона. Влияние скорости нагружения, гибкости и крутящих моментов на прочность железобетонных конструкций. — М.: Стройиздат, 1970.

39. *Галустов К.З., Гвоздев А.А.* К вопросу о нелинейной ползучести бетона при одноосном сжатии. // Изв. АН СССР. Механика твердого тела. — 1972. — №1. — С. 213-219.

40. *Гвоздев А.А.* Замечание о нелинейной теории ползучести бетона при одноосном сжатии. // Изв. АН СССР. Механика твердого тела. — 1972. — №5. — С. 56-62.

41. *Гвоздев А.А., Карпенко Н.И.* Работа железобетона с трещинами при плоском напряженном состоянии. // Строительная механика и расчет сооружений. — 1965. — № 2.

42. *Карпенко Н.И.* К расчету прогибов железобетонных плит с трещинами, работающих в двух направлениях. / В сб.: Железобетонные конструкции. Тула, изд-во Политехнического ин-та, 1965. — С. 45-57.

43. *Карпенко Н.И.* О работе железобетонных плит с трещинами. / Тр. VI Всесоюзной конференции по бетону и железобетону, I секция НТО Стройиндустрии. — М.: Стройиздат, 1966. — С. 77-83.

44. *Гвоздев А.А., Карпенко Н.И., Крылов С.М.* Теоретическое и экспериментальное исследование работы железобетона с трещинами при плоском однородном и неоднородном напряженном состоянии. / Сб. НИИЖБ «Совершенствование расчета статически неопределимых железобетонных конструкций». — М.: Стройиздат, 1968. — С. 56-64.

45. *Карпенко Н.И.* Теория деформирования железобетона с трещинами. — М.: Стройиздат, 1976.

46. *Карпенко Н.И.* Общие модели механики железобетона. — М.: Стройиздат, 1996.

47. *Гвоздев А.А., Байков В.Н., Берг О.Я.* Современное состояние теории железобетона. Доклад на VII Всесоюзной конференции по бетону и железобетону. — М.: Стройиздат, 1972.

48. *Гвоздев А.А., Байков В.Н.* Современные задачи развития теории бетона и железобетона. Доклад на VIII Всесоюзной конференции по бетону и железобетону. — М.: Стройиздат, 1977.

49. *Гвоздев А.А.* Структура бетона и некоторые особенности его механических свойств. / Сб. тр. НИИЖБ. Прочность, структурные изменения и деформации бетона. — М.: Стройиздат, 1978.

50. *Гвоздев А.А.* К вопросу о теории железобетона. // Бетон и железобетон. — 1980. — № 4. — С. 12-17.

51. *Гвоздев А.А.* Эволюция взглядов на задачи и методы расчета строительных конструкций. // Изв. АН СССР. Механика твердого тела. — 1981. — №2. — С. 123-131.

52. *Гвоздев А.А., Байков В.Н.* Современные пути развития теории железобетона. Доклад на IX

Всесоюзной конференции по бетону и железобетону. — М.: Стройиздат, 1983.

53. Гвоздев А.А., Дмитриев С.А., Гуца Ю.П., Залесов А.С., Мулин Н.М., Чистяков Е.А. Новое в проектировании бетонных и железобетонных конструкций. — М.: Стройиздат, 1978.

54. Карпенко Н.И., Мухамедиев Т.А., Сапожников М.А. К построению методики расчета стержневых элементов на основе диаграмм деформирования материалов. / В сб. НИИЖБ «Совершенствование методов расчета статически неопределимых железобетонных конструкций». — М.: 1987. — С. 5-23.

55. Байков В.Н., Додонов М.И., Расторгуев Б.С. и др. Общий случай расчета прочности элементов по нормальным сечениям. // Бетон и железобетон. — 1987. — №6. — С. 16-18.

56. Карпенко Н.И., Карпенко С.Н. О диаграммной методике расчета деформаций стержневых элементов и ее частных случаях // Бетон и железобетон. — 2012. — №6. — С. 20-27.

57. Статически неопределимые железобетонные конструкции. Диаграммные методы автоматизированного расчета и проектирования: Методическое пособие. — М.: Техиздат, 2017 (в печати, рук. работ Карпенко Н.И.).

Автор:

Николай Иванович КАРПЕНКО, д-р техн. наук, профессор, академик РААСН, академик-секретарь Отделения строительных наук РААСН, главный научный сотрудник Научно-исследовательского института строительной физики РААСН, Москва

Nikolai KARPENKO, Doctor of Sci. (Eng.), Full Professor, academician of RAASN, academician-secretary of the Department of Building Sciences RAASN, chief researcher of Research Institute of Construction Physics of RAASN, Moscow

e-mail: niisf_lab9@mail.ru

тел.: +7 (495) 629-26-90