

Ю. В. Немировский

ДОПРЕДЕЛЬНОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ АРМИРОВАННЫХ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН,
г. Новосибирск, Россия*

Аннотация. Анализируются возможные общие соотношения для описания напряженно-деформированного состояния конструкций из гибридных армированных бетонов, как слоистых неоднородных конструкций с кусочно-непрерывными изменениями свойств за счет изменения структур армирования и физико-механических характеристик фазовых материалов. Применительно к стержневым конструкциям обсуждаются возможные и удобные для расчетов уравнения состояния. Дан обзор решений полученных с их помощью задач продольно-поперечного изгиба армированных балок разных сечений: одноставорных, двуставорных, трапецевидных, и в виде срезанного эллиптического пояса, а также исследование рационального распределения в них арматуры.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, гибридные армированные бетоны, слоисто-волоконистые конструкции, физико-механические характеристики, фазовые материалы, продольно-поперечный изгиб, стержневые конструкции, рациональное армирование.

УДК: 539.374

Теория создания современных гибридных армированных строительных сооружений с физико-механической точки зрения при математическом моделировании процессов деформирования и предельных состояний требует рассматривать их как неоднородные слоисто-волоконистые конструкции с непрерывным во времени изменением физико-механических свойств вследствие изменений внешних условий термосиловых воздействий и взаимодействия составляющих общую среду фазовых материалов. При этом следует выделять два различных типа таких комбинированных сред в конструкции: дисперсно-упрочненные среды матриц-бетонов и среды с выделенными направлениями усиления – армирующие среды. Последние проявляют неоднородные и анизотропные свойства в зависимости от степени укладки и направлений траекторий армирования. Такие среды с гетерогенными структурами обычно называют композитными

© Немировский Ю. В., 2018

Немировский Юрий Владимирович

e-mail: nemirov@itam.nsc.ru, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск, Россия.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Кабинета Министров Чувашской Республики в рамках научного проекта № 17-41-210272.

Поступила 01.08.2018

материалами (КМ) и их поведение можно изучать на основе законов механики сплошных сред в случаях когда градиенты прикладываемых внешних нагрузок и температур на расстояниях порядка масштаба неоднородности δ столь незначителен, что ими можно пренебречь.

В этих условиях можно ввести представительный элемент среды с достаточно малым объемом V , характерный размер которого сравним с δ . После чего можно за счет осреднения по объему V перейти от исследования микронапряжений σ_{ij} к макронапряжениям $\langle \sigma_{ij} \rangle$

$$\langle \sigma_{ij} \rangle = \frac{1}{V} \int_V \sigma_{ij} dV. \quad (1)$$

Это позволяет при известных законах деформирования микронапряжений фазовых материалов построить закон деформирования соответствующего КМ [1-7].

В большинстве случаев такие закономерности можно построить опираясь на модели линейно-упругих или линейных упруго-вязких фазовых материалов с установлением определенных усредненных характеристик упругих жесткостей и вязких сопротивлений [8]. При малых уровнях нагрузок и температур использование такого подхода вполне приемлемо. Однако при средних и относительно высоких уровнях нагружения и нагрева в силу гетерогенности КМ и больших различий в особенностях деформирования фазовых материалов возникает необходимость учета их нелинейных свойств, что очень часто приводит к необходимости разработок специальных конечно-элементных программ для анализа поведения даже простейших микрообразцов из гибридных КМ.

Сложность прогнозирования термомеханического состояния заключается в том, что многие факторы оказывают существенное влияние на деформационные свойства КМ-бетонов: начальные технологические напряжения, термочувствительность фазовых материалов, химическая и климатическая чувствительность, пористость, состав бетонной смеси, температурный режим твердения и эксплуатации конструкций, скорость процессов деформирования, уровень водоцементного отношения, природа и структура расположения армирующих элементов. При разработке математической модели деформирования требуется проведение большой программы испытаний образцов-свидетелей соответствующих фазовых материалов в рамках широкого изменения влияющих факторов и испытаний изготовленных контролируемой единой технологии образцов-свидетелей КМ. Такая информация зачастую неизвестна для многих фазовых материалов. Чаще всего для них известны лишь модули упругости E_i , характеристики максимального упрочнения $(\sigma_{i*}, \varepsilon_{i*})$, разрушения $(\sigma_{i**}, \varepsilon_{i**})$ для i -го фазового материала. Поэтому при разработке аппроксимирующих зависимостей диаграмм деформирования следует исходить из максимально упрощенных и учитывающих основные наблюдаемые в экспериментах качественные свойства и количественно зафиксированные характеристики. Анализ многочисленных экспериментов на образцах армирующих волокон (металлических, пластиковых, базальтовых) при растяжении чаще всего дает практически линейную диаграмму, а при сжатии сильно нелинейную, бетоны – обладают тем же свойством [10,13–15,20].

Учитывая это, примем, как и в [5, 21] для всех фазовых материалов однонаправленного гибридного композита аппроксимации в виде кубических полиномов

$$\sigma_i = \sigma_i^0 + A_{1i}\bar{\varepsilon}_i + A_{2i}\bar{\varepsilon}_i^2 + A_{3i}\bar{\varepsilon}_i^3, \quad \bar{\varepsilon}_i = \varepsilon - \varepsilon_i^\theta, \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (2)$$

здесь σ_i^0 – начальные напряжения; ε_i^θ – температурные деформации; σ_i – напряжение в i -ом фазовом материале, ε – деформация; A_{1i}, A_{2i}, A_{3i} – параметры аппроксимации i -го фазового материала, зависящие в общем случае от температуры и скорости деформации. Эта зависимость справедлива в диапазоне деформирования

$$-\min(\varepsilon_{i*}^- - \varepsilon_i^\theta) \leq \varepsilon \leq \min(\varepsilon_{i*}^+ + \varepsilon_i^\theta), \quad (3)$$

где ε_{i*}^\pm – предельные деформации предразрушения i -го фазового материала при растяжении (+) и сжатии (-).

Тогда на основании структурной модели композита разработанной в [1] для однонаправленного микрокомпозита в условиях продольного растяжения - сжатия получим зависимость

$$\sigma = \sigma^0 + B_1\varepsilon + B_2\varepsilon^2 + B_3\varepsilon^3, \quad \sigma^0 = \sum_{i=1}^n \omega_i \left[\sigma_i^0 - A_{1i}\varepsilon_i^\theta - A_{2i}(\varepsilon_i^\theta)^2 - A_{3i}(\varepsilon_i^\theta)^3 \right], \quad (4)$$

$$B_1 = \sum_{i=1}^n \omega_i \left[A_{1i} - 2A_{2i}\varepsilon_i^\theta + 3A_{3i}(\varepsilon_i^\theta)^2 \right], \quad B_2 = \sum_{i=1}^n \omega_i \left[A_{2i} - 3A_{3i}\varepsilon_i^\theta \right], \quad (5)$$

$$B_3 = \sum_{i=1}^n \omega_i A_{3i}, \quad \omega_0 + \sum_{i=1}^n \omega_i = 1,$$

здесь ω_0 – коэффициент пористости, ω_i – коэффициент заполнения i -го фазового материала.

Предполагается, что коэффициенты A_{1i}, A_{2i}, A_{3i} определены из проведенных экспериментов для образцов соответствующих фазовых материалов. Для этого необходимо располагать полными диаграммами растяжения-сжатия. При этом некоторые из коэффициентов в выражении (2) могут зануляться. Например, известно, что высокопрочные и высокомодульные волокна ведут себя практически как упруго-хрупкие. Следовательно, для такой фазы можно принять значения $A_{3i} = 0$ или $A_{2i} = A_{3i} = 0$.

Тогда для соответствующего фазового материала будем иметь зависимости

$$\sigma_i = \sigma_i^0 + A_{1i}\bar{\varepsilon}_i + A_{2i}\bar{\varepsilon}_i^2, \quad \bar{\varepsilon}_i = \varepsilon - \varepsilon_i^\theta, \quad (6)$$

или

$$\sigma_i = \sigma_i^0 + A_{1i}\bar{\varepsilon}_i. \quad (7)$$

Если все фазы вполне удовлетворительно описываются зависимостями (6), то для микрокомпозита диаграмма деформирования будет описываться зависимостью

$$\sigma = \sigma^0 + B_1\varepsilon + B_2\varepsilon^2, \quad (8)$$

$$B_1 = \sum_{i=1}^n \omega_i \left[\sigma_i^0 - A_{1i}\varepsilon_i^\theta - A_{2i}(\varepsilon_i^\theta)^2 \right], \quad B_2 = \sum_{i=1}^n \omega_i A_{2i}, \quad \omega_0 + \sum_{i=1}^n \omega_i = 1. \quad (9)$$

В ряде случаев диаграммы фазовых материалов лучше аппроксимируются зависимостями

$$\sigma_i = \sigma_i^0 + A_i \bar{\varepsilon} + A_{2i} \varepsilon_i^{\beta_i}.$$

Тогда вместо (8) будем иметь для КМ

$$\sigma = \sum_{i=1}^n \omega_i \left[\sigma_i^0 - A_{1i} \varepsilon_i^\theta \right] + \sum_{i=1}^n \omega_i \left[A_{1i} \varepsilon + A_{2i} (\varepsilon - \varepsilon_\theta^i)^{\beta_i} \right]. \quad (10)$$

Принимая $\omega_i = 0$ будем иметь соответствующие зависимости для соответствующих образцов матриц-бетонов. Бетон является ключевым элементом в функционировании армированных бетонных конструкций и в разработке математических расчетных моделей. В общем случае диаграмма растяжения-сжатия бетона имеет вид

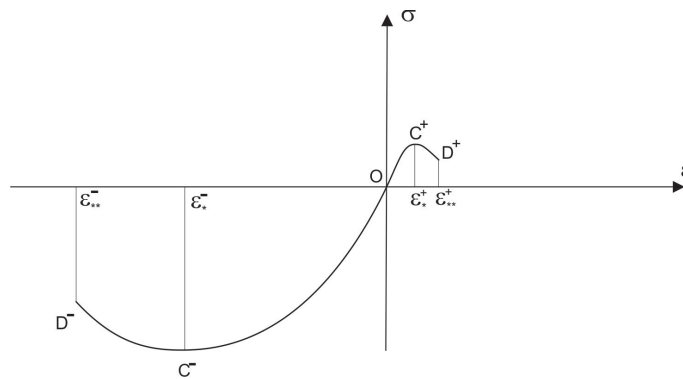


Рис. 1. Диаграмма расширения-сжатия бетона

где участок $C^{-}OC^{+}$ соответствует участку сохранения сплошности, участки разрушения $C^{+}D^{+}$ и $C^{-}D^{-}$ – участки нарушения сплошности за счет развития скрытых механизмов внутренней трещиноватости. Поэтому участок $C^{-}OC^{+}$ в расчетах будем считать предельно допустимым по деформациям для бетона при использовании модели механики сплошной среды, а деформации деформациями предразрушения.

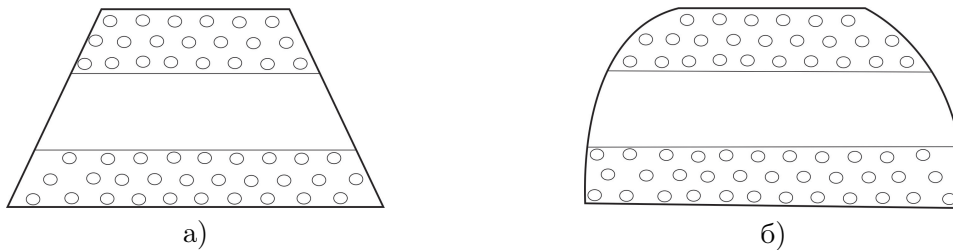


Рис. 2. Балки а) трапециевидного и б) эллиптического сечений.

Испытания многих марок бетонов на растяжение и сжатие показывают, что $\varepsilon_*^- \gg \varepsilon_*^+$ [10-20]. Поэтому чаще всего в целях упрощения методики расчетов в армированных и неармированных бетонных конструкциях считают, что бетон не сопротивляется растяжению, воспринимает только сжатие, что не позволяет рассматривать даже такие

простые задачи, как поперечный и продольно-поперечный изгиб балок произвольного поперечного сечения. В то же время современные тенденции совершенствования бетонных конструкций за счет введения в вяжущие суспензии полимерных и резино-подобных добавок (полимербетоны, каучукбетоны) приводит к увеличению предельно допустимых деформаций ε_*^+ . Поэтому аппроксимацию паспортной характеристики $\sigma = f(\varepsilon)$ следует определять на участке $-\varepsilon_*^- \leq \varepsilon \leq \varepsilon_*^+$, сохраняя для нее по возможности простое математическое выражение. В работах [21-23] для бетона и железобетона была использована зависимость в форме (4) и с ее помощью решены задачи плоского продольно-поперечного изгиба балок трапециевидного и эллиптического сечений (рис. 2) при различных вариациях форм сечения и структур армирования.

Разработанный алгоритм позволяет в рамках единой расчетной методики рассматривать конструкции разных сечений: треугольных, прямоугольных, трапециевидных, эллиптических, круговых, полуэллиптических, эллиптический пояс с различными типами армирования и решать задачи рационального распределения арматуры.

Принимая во внимание существенно разный характер диаграмм деформирования бетона при растяжении и сжатии бетона их можно аппроксимировать различными, но сходными по виду зависимостями в зоне сжатия ($-\varepsilon_*^- \leq \varepsilon \leq 0$) и растяжении ($0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_*^+$)

$$\sigma = p_1^+ \varepsilon + p_2^+ \varepsilon^2, \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_*^+, (p_1^+ > 0, \quad p_2^+ < 0), \quad (11)$$

$$\sigma = p_1^- \varepsilon + p_2^- \varepsilon^2, \quad -\varepsilon_*^- \leq \varepsilon \leq 0, (p_1^- > 0, \quad p_2^- > 0). \quad (12)$$

Подбор параметров p_1^\pm, p_2^\pm выполняется таким образом, чтобы расчетная модель (11), (12) наилучшим образом соответствовала данным эксперимента. Поскольку опубликованные данные конкретных испытаний обычно являются недостаточно полными, то для определения параметров могут быть применены следующие варианты необходимых условий [6].

Если выявлены начальные модули упругости $E_{об}^\pm$ и предельные напряжения σ_*^\pm , то будем иметь

$$\left. \frac{d\sigma^\pm}{d\varepsilon} \right|_{\varepsilon=0} = E_{об}^\pm, \quad \sigma^\pm (\pm\varepsilon_*^\pm) = \pm\sigma_*^\pm, \quad (13)$$

откуда получим

$$p_1^\pm = E_{об}^\pm, \quad p_2^\pm = \mp (E_{об}^\pm \varepsilon_*^\pm - \sigma_*^\pm) / (\varepsilon_*^\pm)^2. \quad (14)$$

Если начальные модули упругости не известны, то заменяя первое условие на равенство нулю касательных модулей в предельных точках (при растяжении и сжатии), получим

$$\left. \frac{d\sigma^\pm}{d\varepsilon} \right|_{\varepsilon=\pm\varepsilon_*^\pm} = 0, \quad \sigma^\pm (\pm\varepsilon_*^\pm) = \pm\sigma_*^\pm, \quad (15)$$

откуда

$$p_1^\pm = 2\sigma_*^\pm / \varepsilon_*^\pm, \quad p_2^\pm = \mp \sigma_*^\pm / (\varepsilon_*^\pm)^2. \quad (16)$$

Весьма распространенной является ситуация, когда по результатам испытаний модули упругости E_{o6}^{\pm} и пределы прочности σ_*^{\pm} , но не указаны значения ε_*^{\pm} . В этом случае примем $p_1^{\pm} = E_{o6}^{\pm}$ и согласно первому равенству из (15)

$$E_{o6}^{\pm} \pm 2p_2^{\pm} \varepsilon_*^{\pm} = 0, \quad (17)$$

и в соответствии со вторым равенством в (15)

$$\pm E_{o6}^{\pm} \varepsilon_*^{\pm} + p_2^{\pm} (\varepsilon_*^{\pm})^2 = 0. \quad (18)$$

После совместного решения этих равенств получим

$$\varepsilon_*^{\pm} = \pm 2\sigma_*^{\pm} / E_{o6}^{\pm}, \quad p_2^{\pm} = \mp E_{o6}^{\pm} / (4\sigma_*^{\pm}). \quad (19)$$

В четвертом варианте, используя условия прохождения аппроксимирующих кривых (11), (12) в области растяжения и сжатия через две опытные точки со значениями напряжений $\pm\sigma_i^{\pm}$ при деформациях $\pm\varepsilon_i^{\pm}$ ($i = 1, 2$) для параметров p_1^{\pm} , p_2^{\pm} получим выражения

$$p_1^{\pm} = [\sigma_1^{\pm} (\varepsilon_2^{\pm})^2 - \sigma_2^{\pm} (\varepsilon_1^{\pm})^2] / [\varepsilon_1^{\pm} \varepsilon_2^{\pm} (\varepsilon_1^{\pm} - \varepsilon_2^{\pm})],$$

$$p_2^{\pm} = [\sigma_1^{\pm} \varepsilon_2^{\pm} - \sigma_2^{\pm} \varepsilon_1^{\pm}] / [\varepsilon_1^{\pm} \varepsilon_2^{\pm} (\pm\varepsilon_1^{\pm} \mp \varepsilon_2^{\pm})].$$

Метод расчета армированных бетонных балок однитаврового и двутаврового сечений (рис. 3) при использовании аппроксимаций типа (11), (12) был использован в работах [24-27].

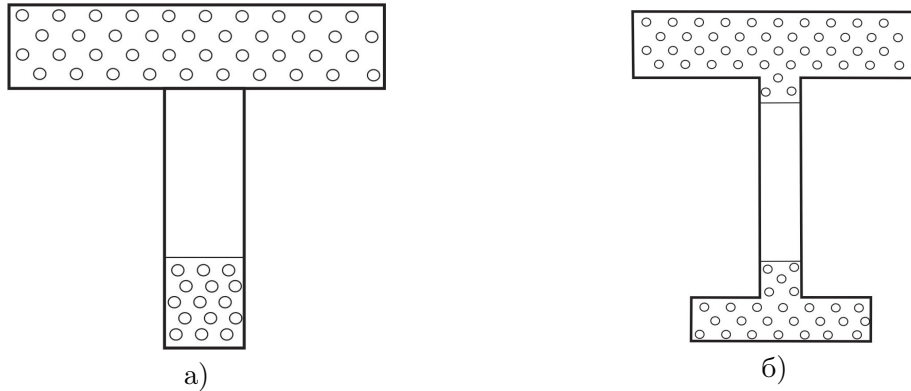


Рис. 3. Балки а) однитаврового и б) двутаврового сечений.

Традиционно решения задач поперечного и продольного изгиба железобетонных стержневых элементов получают для одномерных напряженных состояний учитывая лишь нормальные осевые напряжения и используя классические гипотезы Кирхгофа-Лява для описания деформированного состояния. Для достоверного расчета предразрушающих состояний армированных бетонных конструкций следовало бы использовать управления состояния фазовых материалов в виде общих нелинейных зависимостей между тензорами напряжений и деформаций с учетом свойств разносопротивляемости при растяжениях и сжатиях в разных направлениях. В общем

случае автору неизвестны такие зависимости. Поэтому анализ пространственных напряженно деформированных состояний можно осуществлять лишь при сравнительно малых уровнях нагрузок и температур, при которых все фазовые материалы будут оставаться упругими. Некоторые разработки в этом направлении проведены в [28-30].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Nemirovskii Yu. V. On the elastic-plastic behavior of reinforced layer // Intern. Journal of Mechanical Sciences. 1970. V. 12. P. 898–903
- [2] Nemirovskii Yu. V. Yield surfaces for reinforced concrete axisymmetric plates and shells // Archiwum Inzynierii Ladowej. 1974. V. XX. № 4. P. 575–590
- [3] Геннев Г. А., Киссюк В. Н., Тюпин Е. А. Теория пластичности бетона и железобетона. М.: Стройиздат, 1974. 316 с.
- [4] Немировский Ю. В., Пятаев С. Ф. Предельное термоупругое деформирование волокнистых композитов // Тр. IV Всерос. конф. «Безопасность и живучесть технических систем». Красноярск: КНИЦ СО РАН, 2012. Т. 1. С. 171–181.
- [5] Немировский Ю. В. Прогнозирование нелинейного деформирования гибридных композитных материалов // Проблемы нелинейной механики деформируемого твердого тела : материалы второй международной конференции, Казань, Россия, 8-11 декабря 2009 г. / [науч. ред. С. А. Кузнецов]. Казань : Казанский гос. ун-т, 2009
- [6] Немировский Ю. В. Проблемы и методы расчета и проектирования конструкций из армированного бетона // Известия Алтайского государственного университета. 2014. № 1-1 (81). С. 90–94
- [7] Немировский Ю. В., Янковский А. П. Численное моделирование нелинейно-наследственного поведения пространственно армированных композитных сред // Известия Алтайского государственного университета. Сер. Математики и механика. № 1/1. 2012. С.103–106
- [8] Карпенко Н. И., Круглов В. М., Соловьев Л. Ю. Нелинейное деформирование бетона и железобетона. Новосибирск : Изд-во Сиб. гос. ун-та путей сообщ., 2001. 275 с.
- [9] Горынин Г. Л., Немировский Ю. В. Прогнозирование жесткостных характеристик бетонов при умеренных нагрузках // Известия Алтайского государственного университета. 2014. № 1-1 (81). С. 144–146
- [10] Бондаренко В. М., Бондаренко С. В. Инженерные методы нелинейной теории железобетона. М.: Стройиздат, 1982. 287 с.
- [11] Прочность и жесткость железобетонных конструкций / Под ред. д-ра техн. наук проф. А. А. Гвоздева ; Госстрой СССР. Науч.-исслед. ин-т бетона и железобетона "НИИЖБ". Москва : Стройиздат, 1968. 231 с.
- [12] Плевков В. С., Колупаева С. Н., Кудяков К. Л. Расчетные диаграммы нелинейного деформирования базальтофибробетона при статических и кратковременных динамических воздействиях // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 3. С. 95–110
- [13] Fintel M. Handbook of concrete engineering. New York : Van Nostland Reinhold, 1975
- [14] ЕКБ-ФИП. Международные рекомендации для расчета и осуществления обычных и предварительно напряженных железобетонных конструкций (русский перевод). М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1970.

- [15] Цискарелли Г. Д. Сопротивление растяжению неармированных и армированных бетонов. М.: Государственное издательство по строительству и архитектуре, 1954. 152 с.
- [16] Безгодов И. М. О соотношениях прочностных и деформативных характеристик бетона при сжатии, растяжении и растяжении при изгибе // Бетон и железобетон. 2012. №2. С. 2–5
- [17] Михайлов В. В., Емельянов М. П., Дудолодов Л. С., Митасов В. М. Некоторые предложения по описанию диаграммы деформирования бетона при загрузении // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1984. № 2. С. 23–27.
- [18] Байков В. Н., Горбатов С. В., Димитров З. А. Построение зависимости между напряжениями и деформациями сжатого бетона по системе нормируемых показателей // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1977. №6. С.15–18.
- [19] Крусь Ю. А. Трансформирование диаграмм деформирования бетона при центральном сжатии и растяжении // Известие вузов. Строительство. 2012. №3. С. 121–126
- [20] Алмазов В. О., Забегаев А. В., Попов А. В., Расторгуев В. С. и др. Прогнозирование поведения железобетонных конструкций при сложных воздействиях природного и техногенного характера // Известие вузов. Строительство. 1994. №11. С. 10–15
- [21] Немировский Ю. В. Метод расчёта композитных стержневых систем из разномодульных материалов // Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики : материалы V Всероссийской научной конференции (Томск, 3–5 октября, 2006 г.). Томск : Изд-во ТГУ, 2006. С. 288–290
- [22] Немировский Ю. В., Болтаев А. И. Диаграммы деформирования бетонов и железобетона // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2015. №6. С. 5–13
- [23] Немировский Ю.В. Напряженно-деформированное состояние железобетонных трапециевидных и эллиптических балок // Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal). 2016. №.6. Ч.3. С. 151–161
- [24] Мищенко А. В., Немировский Ю. В. Нелинейное деформирование бетонных элементов при продольно-поперечном изгибе // Известие вузов. Строительство. 2013. №4. С. 3–12
- [25] Немировский Ю. В., Батурин А. А. Метод расчета деформативности и прочности однотавровых и двутавровых стержней // Известие вузов. Строительство. 2015. №10. С. 82–93
- [26] Немировский Ю. В., Гербер Ю. А. Второе предельное состояние двутавровых и однотавровых армированных балок из разносопротивляющихся материалов // Наука. Промышленность. Оборона : Труды XV Всероссийской научно-технической конференции (23-25 апр. 2014 г.). Новосибирск, 2014. С. 467–472
- [27] Немировский Ю. В., Батурин А. А. Расчет состояний предразрушения изгибаемых балок из разносопротивляющихся материалов // Труды НГАСУ. 2013. Т. 16. №.2 (56). С. 32–44
- [28] Горынин Г. Л., Немировский Ю. В. Деформирование слоистых анизотропных стержней в пространственной постановке. Продольно-поперечный изгиб и условие кромочной совместимости // Механика композиционных материалов. 2009. Т.45. №3. С. 379–410
- [29] Gorynin G. L., Nemirovskii Yu. V. Deformation of laminated anisotropic bars in the three-dimensional statement 1. Transverse-longitudinal bending and edge compatibility condition // Mechanics of Composite Materials. 2009. №1. P. 3-20

[30] Горынин Г. Л., Немировский Ю. В. GN-теория расчета композитной балки при изгибе. Общая теория // Известия вузов. Строительство. 2012. № 6. С.3–12

[31] Мадатян С. А. Арматура железобетонных конструкций. М.:Воентехлит, 2000. 256 с.

[32] Немировский Ю. В. Уравнение изгиба и устойчивости армированных оболочек и пластин из вязко-упругого материала // Динамика сплошной среды. Институт гидродинамики СО АН СССР. 1970. В. IV. С. 50

Yu. V. Nemirovskii

OPTIMUM DESIGN OF PLASTIC PLATES PIECEWISE UNDER LINEAR POTENTIALS

S. Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk, Russia

Abstract. Possible general ratios for the description of the intense deformed condition of designs from the hybrid reinforced concrete as layered non-uniform designs with piecewise and continuous changes of properties due to change of structures of reinforcing and physicomaterial characteristics of phase materials are analyzed. In relation to rod designs the state equations, possible and convenient for calculations, are discussed. The review of solutions of the problems of longitudinally cross bend of the reinforced beams of different sections received with their help is given and in the form of the cut-off elliptic belt and also a research of rational distribution of fittings in them.

Keywords: the intense deformed state, the hybrid reinforced concrete, layered and fibrous designs, physicomaterial characteristics, phase materials, longitudinally cross bend, rod designs, rational reinforcing.

REFERENCES

- [1] Nemirovskii Yu. V. On the elastic-plastic behavior of reinforced layer // Intern. Journal of Mechanical Sciences. 1970. V. 12. P. 898–903
- [2] Nemirovskii Yu. V. Yield surfaces for reinforced concrete axisymmetric plates and shells // Archiwum Inzynierii Ladowej. 1974. V. XX. № 4. P. 575–590
- [3] Gennev G. A., Kissyuk V. N., Tyupin E. A. Teoriya plastichnosti betona i zhelezobetona. M.: Strojizdat, 1974. 316 s. (in Russian)
- [4] Nemirovskij YU. V., Pyataev S. F. Predel'noe termouprugoe deformirovanie voloknistyh kompozitov // Tr. IV Vseros. konf. «Bezopasnost' i zhivuchest' tekhnicheskikh sistem». Krasnoyarsk: KNC SO RAN, 2012. T. 1. S. 171–181 (in Russian)
- [5] Nemirovskij YU. V. Prognozirovanie nelinejnogo deformirovaniya gibridnyh kompozitnyh materialov // Problemy nelinejnoj mekhaniki deformiruемого tverdogo tela : materialy vtoroj mezhdunarodnoj konferencii, Kazan', Rossiya, 8-11 dekabrya 2009 g. / [nauch. red. S. A. Kuznecov]. Kazan' : Kazanskij gos. un-t, 2009 (in Russian)
- [6] Nemirovskij YU. V. Problemy i metody rascheta i proektirovaniya konstrukcij iz armirovannogo betona // Izvestiya Altajskogo gosudarstvennogo universiteta. 2014. № 1-1 (81). S. 90–94 (in Russian)
- [7] Nemirovskij YU. V., YAnkovskij A. P. CHislennoe modelirovanie nelinejno-nasledstvennogo povedeniya prostranstvenno armirovannyh kompozit'nyh sred // Izvestiya Altajskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Matematiki i mekhanika. № 1/1. 2012. С.103–106 (in Russian)
- [8] Karpenko N. I., Kruglov V. M., Solov'ev L. YU. Nelinejnoe deformirovanie betona i zhelezobetona. Novosibirsk : Izd-vo Sib. gos. un-ta putej soobshch., 2001. 275 s. (in Russian)

Nemirovskii Yuri Vladimirovich, Dr. Sci. Phys. & Math., Professor, Leading Research Worker, S. Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk, Russia.

- [9] Gorynin G. L., Nemirovskij YU. V. Prognozirovanie zhestkostnyh karakteristik betonov pri umerennyh nagruzkah // Izvestiya Altajskogo gosudarstvennogo universiteta. 2014. № 1-1 (81). S. 144–146 (in Russian)
- [10] Bondarenko V. M., Bondarenko S. V. Inzhenernye metody nelinejnoj teorii zhelezobetona. M.: Strojizdat, 1982. 287 s. (in Russian)
- [11] Prochnost' i zhestkost' zhelezobetonnyh konstrukcij / Pod red. d-ra tekhn. nauk prof. A. A. Gvozdeva ; Gosstroj SSSR. Nauch.-issled. in-t betona i zhelezobetona "NIIZHB". Moskva : Strojizdat, 1968. 231 s. (in Russian)
- [12] Plevkov V. S., Kolupaeva S. N., Kudyakov K. L. Raschetnye diagrammy nelinejnogo deformirovaniya bazal'tofibrobetona pri staticheskikh i kratkovremennyh dinamicheskikh vozdeystviyah // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2016. № 3. S. 95–110 (in Russian)
- [13] Fintel M. Handbook of concrete engineering. New York : Van Nostland Reinhold, 1975 (in Russian)
- [14] EKB-FIP. Mezhdunarodnye rekomendacii dlya rascheta i osushchestvleniya obychnyh i predvaritel'no napryazhennyh zhelezobetonnyh konstrukcij (russkij perevod). M.: NIIZHB Gosstroya SSSR, 1970. (in Russian)
- [15] Ciskarelli G. D. Soprotivlenie rastyazheniyu nearmirovannyh i armirovannyh betonov. M.: Gosudarstvennoe izdatel'stvo po stroitel'stvu i arhitekture, 1954. 152 s. (in Russian)
- [16] Bezgodov I. M. O sootnosheniyah prochnostnyh i deformativnyh karakteristik betona pri szhatii, rastyazhenii i rastyazhenii pri izgibe // Beton i zhelezobeton. 2012. №2. S. 2–5 (in Russian)
- [17] Mihajlov V. V., Emel'yanov M. P., Dudoladov L. S., Mitasov V. M. Nekotorye predpolozheniya po opisaniyu diagrammy deformirovaniya betona pri zagruzhennii // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura. 1984. № 2. S. 23–27. (in Russian)
- [18] Bajkov V. N., Gorbatov S. V., Dimitrov Z. A. Postroenie zavisimosti mezhdru napryazheniyami i deformatsiyami szhatogo betona po sisteme normiruemyh pokazatelej // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura. 1977. №6. S.15–18. (in Russian)
- [19] Krus' YU. A. Transformirovanie diagramm deformirovaniya betona pri central'nom szhatii i rastyazhenii // Izvestie vuzov. Stroitel'stvo. 2012. №3. S. 121–126 (in Russian)
- [20] Almazov V. O., Zabegaev A. V., Popov A. V., Rastorguev V. S. i dr. Prognozirovanie povedeniya zhelezobetonnyh konstrukcij pri slozhnyh vozdeystviyah prirodnogo i tekhnogennogo haraktera // Izvestie vuzov. Stroitel'stvo. 1994. №11. S. 10–15 (in Russian)
- [21] Nemirovskij YU. V. Metod raschyota kompozitnyh sterzhnevnyh sistem iz raznomodul'nyh materialov // Fundamental'nye i prikladnye problemy sovremennoj mekhaniki : materialy V Vserossijskoj nauchnoj konferencii (Tomsk, 3–5 oktyabrya, 2006 g.). Tomsk : Izd-vo TGU, 2006. S. 288–290 (in Russian)
- [22] Nemirovskij YU. V., Boltaev A. I. Diagrammy deformirovaniya betonov i zhelezobetona // Vestnik BGTU im. V. G. Shuhova. 2015. №6. S. 5–13 (in Russian)
- [23] Nemirovskij YU.V. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie zhelezobetonnyh trapecevidnyh i ehllipticheskikh balok // Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal). 2016. №.6. CH.3. S. 151–161 (in Russian)
- [24] Mishchenko A. V., Nemirovskij YU. V. Nelinejnoe deformirovanie betonnyh ehlementov pri prodol'no-poperechnom izgibe // Izvestie vuzov. Stroitel'stvo. 2013. №4. S. 3–12 (in Russian)

[25] Nemirovskij YU. V., Baturin A. A. Metod rascheta deformativnosti i prochnosti odnotavrovyyh i dvutavrovyyh sterzhnej // Izvestie vuzov. Stroitel'stvo. 2015. №10. S. 82–93 (in Russian)

[26] Nemirovskij YU. V., Gerber YU. A. Vtoroe predel'noe sostoyanie dvutavrovyyh i odnotavrovyyh armirovannyh balok iz raznosoprotivlyayushchihsya materialov // Nauka. Promyshlennost'. Oborona : Trudy XV Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii (23-25 apr. 2014 g.). Novosibirsk, 2014. С. 467–472 (in Russian)

[27] Nemirovskij YU. V., Baturin A. A. Raschet sostoyanij predrazrusheniya izgibaemyh balok iz raznosoprotivlyayushchihsya materialov // Trudy NGASU. 2013. T. 16. №.2 (56). S. 32–44 (in Russian)

[28] Gorynin G. L., Nemirovskij YU. V. Deformirovanie sloistyyh anizotropnyh sterzhnej v prostranstvennoj postanovke. Prodol'no-poperechnyj izgib i uslovie kromochnoj sovmestimosti // Mekhanika kompozicionnyh materialov. 2009. T.45. №3. S. 379–410 (in Russian)

[29] Gorynin G. L., Nemirovskii Yu. V. Deformation of laminated anisotropic bars in the three-dimensional statement 1. Transverse-longitudinal bending and edge compatibility condition // Mechanics of Composite Materials. 2009. №1. P. 3-20

[30] Gorynin G. L., Nemirovskij YU. V. GN-teoriya rascheta kompozitnoj balki pri izgibe. Obshchaya teoriya // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo. 2012. № 6. С.3–12 (in Russian)

[31] Madatyan S. A. Armatura zhelezobetonnyh konstrukcij. M.:Voentekhlit, 2000. 256 s. (in Russian)

[32] Nemirovskij YU. V. Uravnenie izgiba i ustojchivosti armirovannyh obolochek i plastin iz vyazko-uprugogo materiala // Dinamika sploshnoj sredy. Institut gidrodinamiki SO AN SSSR. 1970. V. IV. С. 50 (in Russian)