

УДК 624.012

¹ Д. Гигинейшвили, директор, orcid:0009-0007-6087-7743;² Д. Гигинейшвили, главный инженер;³ В. Максименко, зав. лабораторией, orcid:0000-0002-2835-026X;⁴ Т. Мацаберидзе, ведущий конструктор.^{1, 2, 4} ООО «ПРОГРЕСИ»³ ГП "Научно-исследовательский институт строительного производства им. В.С.Балицкого", г. Киев

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВИНТОВОГО ПРОФИЛЯ АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЕЙ И СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ МУФТ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ПОТЕНЦИАЛА И ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ЛИРА САПР

Анотация. Представлены результаты исследований по надежности и прочности соединения арматурных стержней нового поколения с винтовым профилем и муфты для их соединения и анкеровки.

В работе представлены результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований, по проектированию арматурных стержней нового поколения с винтовым профилем и муфты для их соединения и анкеровки. Исследования проводились 1986-1991гг., по заданию НИИЖБ ГОССТРОЯ СССР с целью внедрения инновационных технологий расчета, производства арматурных стержней и их монтажа на стройплощадке. Исследования напряженно-деформированного состояния новых видов арматурных стержней с винтовым профилем и их соединений на основе муфт с целью их проектирования и эффективного применения в строительстве, проводились на основе применения современных численных методов и программных средств.

Ключевые слова: армирование бетонов, арматура винтового профиля, муфты бессварные соединительные, численно-аналитический метод потенциала, метод конечных элементов (МКЭ), компьютерное моделирование, внутренние усилия, деформирование, трение, изоляция напряжений.

Вступление

В современном строительном процессе элементы арматурных стержней занимает одно из важных мест в обеспечении прочности железобетонных каркасов зданий и сооружений.

Материалы и методы исследования

С 1970-1980гг и по сей день в Грузии для армирования железобетонных изделий в основном применялись и применяются традиционные арматурные стержни с серповидным профилем классов АIII, AIV, A400, A500С (ГОСТ 5781-82) и др. [1, 2, 3, 4], в которых стыковка (анкеровка) стержней происходит внахлест или сваркой. Нового вида арматурные стержни с винтовым профилем на стройках Грузии практически не применялись. Это объясняется высокой стоимостью импортной винтовой арматуры и её соединительных элементов. Однако, были и исключения. При строительстве конструкций фундаментов здания гостиницы «ХИЛТОН» в г. Батуми в 2009-2010гг. по инициативе фирмы, ООО «ПРОГРЕСИ» и «БАУЕР», на основе Евро норм, успешно была реализована технология соединения арматурных стержней с применением муфт, без применения сварки и нахлеста.

Цель исследования

Винтовой арматурный прокат отличается от обычного тем, что выступы его периодического профиля служат не только для сцепления с бетоном, но и образуют винтовую нарезку по всей длине стержней с целью навинчивания разного рода винтовых

крепежных элементов, муфт или анкерных гаек (рис. 1). Таким образом, арматурный стержень, по сути, превращается в винтовую шпильку большой длины (до 12 м из условий перевозки), что открывает большие возможности для применения винтовой арматуры в строительстве [6-21].

По созданной технологии арматура с винтовым профилем стыкуется при помощи муфт и гаек, которые отвечают за качественное, надежное и равнопрочное соединение, не зависящее от диаметра используемой арматуры и от качества бетона. Этот вид соединения устойчив к периодическим (циклическим) нагрузкам, а также требует небольшого времени для выполнения работ. Но следует учитывать некоторые ограничения по вариативности применения.

Резьбовой тип соединительных муфт чаще всего используется для быстрого и прочного соединения или наращивания, необходимого при работе со стержнями арматуры. При этом выбор конкретного типа арматуры и муфты остается за проектировщиком и заказчиком и в значительной мере зависит от условий их применения.

В настоящее время на стройках Грузии и Украины арматура класса А500С – одна из наиболее востребованных в строительстве. Новая арматура А500С с винтовым профилем позволяет использовать ее как винтовой стержень, на нее легко можно накручивать как муфтовые соединения, так и анкерные гайки. Такую арматуру можно соединять как со сваркой, так без сварки, а также без нахлеста. Монтаж арматурных стержней на стройплощадке можно вести без какого-либо специального оборудо-

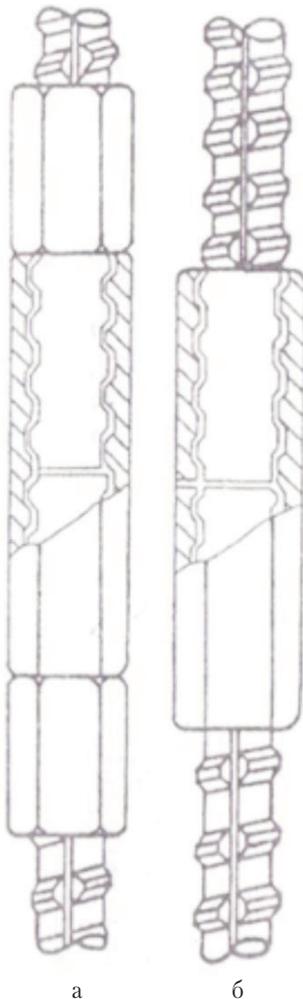


Рис. 1: Соединение стержневой арматуры с винтовым профилем посредством соединений: а) муфта с затяжкой контргайки; б) муфта с заполнением зазоров эпоксидным компаундом

вания, для этого достаточно применение соединительных муфт. Такая арматура также имеет лучшее сцепление с бетоном в железобетонных конструкциях, имеет лучшую сопротивляемость внешнему воздействию, в том числе успешно может выдержать сильные землетрясения или вибрационные воздействия.

В СССР под предводительством НИИЖБа с 1980-х годов предпринималось попытки внедрения высокоэффективной винтовой арматуры. Нами, начиная с 1986-года, проведены многочисленные теоретические и экспериментальные исследования и подготовлены условия для внедрения винтового профиля арматурных стержней [6-18].

К безсварным соединениям относятся соединения, в которых усилие передается от одного элемента к другому посредством механического соединения арматуры (см. Рис. 1). Такой тип соединений обеспечивает быстроту и незначительные трудозатраты при выполнении соединений без снижения прочности элементов и соединения [6-18].

В европейских странах винтовые соединения начали применять для стержневой арматуры с 70-х годов и к настоящему времени они практически полностью вытеснили профили других типов.

Винтовая арматура Ав500С отличается от арма-

туры с серповидным профилем тем, что ее ребра образуют двухзаходную винтовую резьбу на поверхности стержней, а поперечные ребра меняются в шахматном порядке.

Винтовая арматура Ав500С отличается от арматуры с серповидным профилем тем, что ее ребра образуют двухзаходную винтовую резьбу на поверхности стержней, поперечные ребра меняются в шахматном порядке. Такая конструкция позволяет использовать арматуру как винтовой стержень, на нее можно накручивать муфтовые соединения и анкерные гайки. Теперь соединять арматуру можно без всякого специального оборудования, на основе применения муфт, анкерных гаек и др. Новая арматура также лучше сцепляется с бетоном, а конструкция лучше сопротивляется внешнему воздействию, в том числе может выдержать сильное землетрясение.

Наиболее характерной особенностью работы без сварных соединений при больших напряжениях является сила, которая передается от винтовой арматуры к изгибу посредством сдвига арматуры и поперечных проекций опорных напряжений: отсюда возникает необходимость учета профиля при определении режима деформации, арматуры и ее скользящего воздействия на контактные поверхности.

В настоящее время, с точки зрения современных методов компьютерного моделирования и реализации эффективных алгоритмов с целью изучения взаимодействия контактирующих элементов арматуры и муфты в процессе деформации, реализуется с помощью численно-аналитического метода потенциала, где одним из самых основных моментов для изучения контактных задач является метод определения топологических особенностей стыков взаимодействующих элементов в пределах контакта.

Расчетную схему можно представить в виде составных элементов конструкции – как винтовые арматурные стержни и соединительная муфта.

Для получения разрешающих соотношений численно-аналитическим методом потенциала каждый элемент составной конструкции обозначается как отдельное тело S_k ($k = 1, 2, \dots, n$) с внешней границей Γ_k и интерфейсными площадками Γ_{k1} и между элементами S_k и S_1 . При отделении S_1 от бесконечных областей S в соответствии с физико-механическими свойствами материалов и с использованием универсального вспомогательного соотношения, описываемого формулами Кельвина [4,5], для решения краевой задачи, построим интегральное представление компонентов для произвольной точки- k s . В процессе линейного деформирования материалов собственный вес можно не учитывать, что приведет к следующим формулам Сомильяны:

$$\begin{aligned}
 U_i(K) = & P_j(N) \int_{\Gamma} U_{ij}^*(K, N) d\Gamma - \\
 & - U_j(N) \int_{\Gamma} P_j^*(K, N) d\Gamma + \\
 & + U_{ij}^*(K, N) _u _ P_{ij}^*(K, N) - U_j(N), P_j(N)
 \end{aligned} \tag{1}$$

в которой $U_{ij}^*(K, N) _u _ P_{ij}^*(K, N)$ - составляющие перемещения и напряжения вспомогательного состояния; $U_j(N), P_j(N)$ - являющиеся согласованными составляющими фундаментальных состоя-

ний N -точек, размещенных на границе элементов конструкции.

При аппроксимации граничной поверхности каждого элемента конструкции линейными участками $\Gamma_l (l=1,2,3 \text{ и т.д.})$ и $\Gamma_m (m=1,2,3 \text{ и т.д.})$, в диапазоне которых плотность предполагаемой функции, как мы полагаем, является постоянной, можно получить следующий алгебраический аналог формулы Сомильяны:

$$\begin{aligned}
 U_i(K) = & \sum_{l=1}^{S1} P_j(N) \int_{\Gamma_l} U_{ij}^*(K, N_l) d\Gamma_l - \\
 & - \sum_{l=1}^{S2} U_j(N_l) \int_{\Gamma} P_{ij}^*(K, N_l) d\Gamma_l + \\
 & + \sum_{m=4}^{S3} P_j(N_m) \int_{\Gamma_m} U_{ij}^*(K, N_m) d\Gamma_m - \\
 & - \sum_{m=1}^{S4} U_j(N_m) \int_{\Gamma} P_{ij}^*(K, N_m) d\Gamma_m
 \end{aligned} \quad (2)$$

Применяя закон Кулона (закон обратных квадратов) к трению контактных поверхностей, получаем следующее:

$$\tau = F * \sigma^{(n)} \quad (3)$$

где $\sigma^{(n)}$ - касательная и нормальная силы, возникающие в каждой точке контакта;

F - силы трения.

Если на контактной поверхности на фрагменте Γ_m , напряжения сдвига выражаются нормальным коэффициентом трения (3), то формула (2) будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}
 U_i(K) = & \sum_{l=1}^{S1} P_j(N) \int_{\Gamma_l} U_{ij}^*(K, N_l) d\Gamma_l - \\
 & - \sum_{l=1}^{S2} U_j(N_l) \int_{\Gamma} P_{ij}^*(K, N_l) d\Gamma_l + \\
 & + \sum_{m=4}^{S3} P_j(N_m) \int_{\Gamma_m} U_{ij}^*(K, N_m) d\Gamma_m + \\
 & + F \int_{\Gamma} U_{i2}^*(K, L_m) d\Gamma_m] - \\
 & - \sum_{m=1}^{S4} U_j(N_m) \int_{\Gamma} P_{ij}^*(K, N_m) d\Gamma_m \\
 P_2^{(1)} = & -P_2^{(2)} = 0 \quad (5)
 \end{aligned}$$

Такой итерационный процесс продолжается до достижения допустимых значений в локальных точках передачи контактных напряжений на все контактные участки посредством касательных напряжений. При расчете по предложенной методике перераспределение должно происходить за счет увеличения нормальных сил и уменьшения касательных сил, за счет учета коэффициента трения, равного $F=0.15-0.225$ (метал-метал), для контактных поверхностей в диапазоне каждого сечения.

По сравнению с «кольцевым» профилем по ГОСТ 5781-82 геометрия серповидного профиля

имеет ряд преимуществ, относящихся к технологичности в современном прокатном производстве. Прокат арматурных стержней с винтовым профилем представляет собой стержни с двумя рядами поперечных ребер, идущими по однозаходной правой винтовой линии, которые служат не только для сцепления с бетоном, но и позволяют в любом месте по длине стержня образовывать винтовые соединения проката с помощью муфт, или муфт и гаек одновременно с внутренней резьбой.

Рекомендации по использованию арматуры Ав500С в соответствии с ТУ 14-1-5254-2006 приведены в [19,20], ее основные характеристики:

- при номинальном диаметре 20 мм шаг поперечных ребер 11 мм, высота поперечных ребер 1.6 мм (в зависимости от диаметра, шаг и высота ребер меняются);

- механические свойства: предел текучести τ 500 Н/мм², временное сопротивление в 600 Н/мм², относительное удлинение ϵ 14%, равномерное относительное удлинение ρ 2%, относительная площадь смятия поперечных ребер профиля fR 0,056мм (в соответствии с ГОСТ Р 52544-2006).

Основные преимущества винтовой арматуры класса прочности Ав500С:

- Возможность соединения арматурных стержней между собой и другими деталями, как при помощи сварки или внахлест, так и при помощи специальных муфт, или муфт и гаек с внутренней резьбой;

- Технология изготовления арматурных стержней обеспечивает высокую точность совмещения поперечных ребер, контролируемую навинчиванием на соединяющие муфты;

- Свариваемость проката арматурных стержней с винтовым профилем с традиционным А500С, обеспечивается химическим составом стали и её изготовлением;

- По своим физико-механическим характеристикам арматурные стержни с винтовым профилем являются взаимозаменяемыми с арматурными стержнями периодического профиля с серповидными ребрами класса прочности А500С такого же диаметра.

В отличие от Западной Европы в России и странах СНГ арматуру в монолитном железобетоне в основном стыкуют с использованием нахлеста и сварки, что до 2005 г. было значительно дешевле, чем винтовые стыки. С увеличением требований по длине нахлеста по СП 52-101-2003 на 15-30% (чем больше диаметр используемой арматуры, тем больше становится нахлест), внедрение безнахлестных стыков, в том числе винтовых, стало актуальным и экономически целесообразным в строительной отрасли Грузии и Украины.

В теоретических исследованиях и практике проектирования расчетные значения указанных деталей выполняются по упрощенным схемам, не дающим точного значения распределения напряжений в соединениях. Напряженно-деформированное состояние арматурных стержней с винтовым профилем в пространственной постановке в местах соединений с применением натяжных муфт, смоделировано в ПК «ЛИРА САПР» с применением пространственных обемных КЭ [22-23].

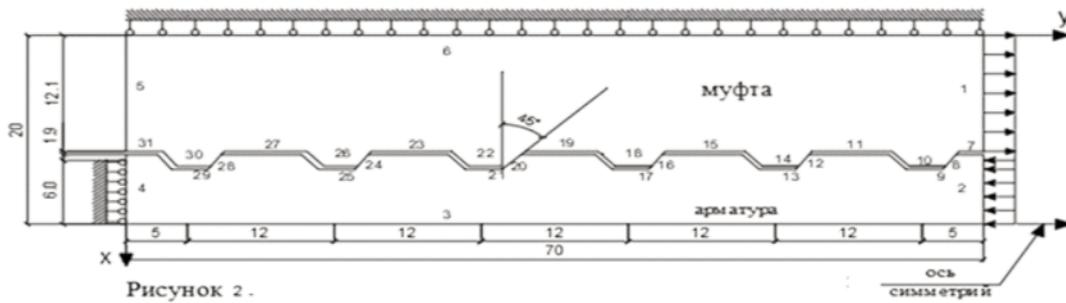


Рис. 2. Расчетная схема узла соединения арматурного стержня и муфты на основе программного комплекса «ПОТЕНЦИАЛ»

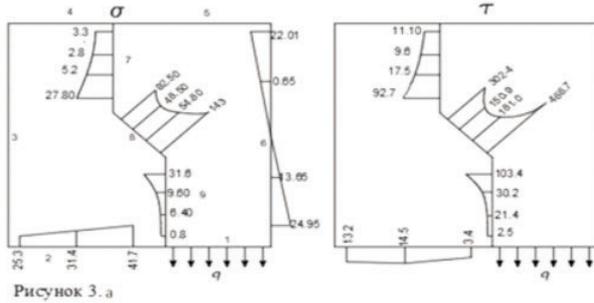


Рис. 3.а Распределение напряжений и на контактных поверхностях элементарного фрагмента винтовой арматуры и муфты без учета коэффициента трения

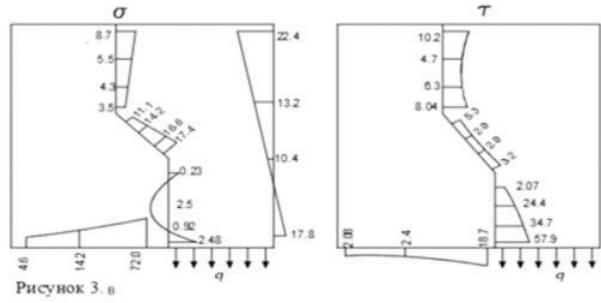


Рис. 3.в Распределение напряжений и на контактных поверхностях элементарного фрагмента винтовой арматуры и муфты с учетом коэффициента трения

Загрузка 1

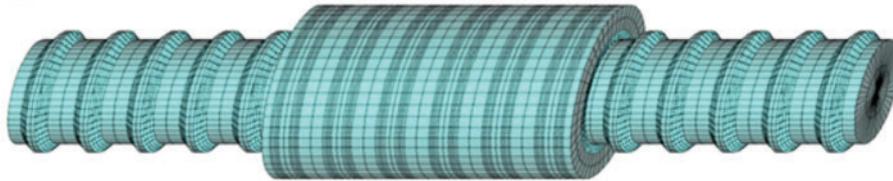


Рис. 4. Расчетная схема МКЭ соединения арматурных стержней винтового профиля на основе применения пространственных КЭ в вычислительном комплексе ЛИРА САПР.

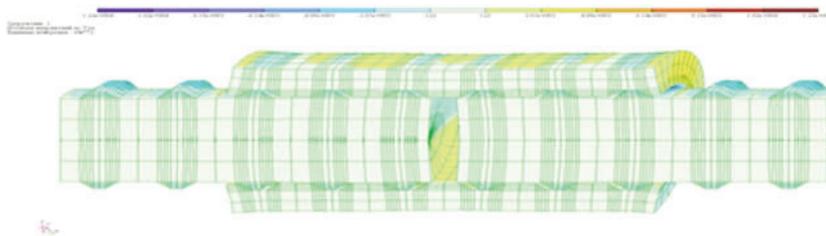


Рис. 5. Изополя напряжений T_{yz} арматурных стержней винтового профиля и муфты при растяжении.

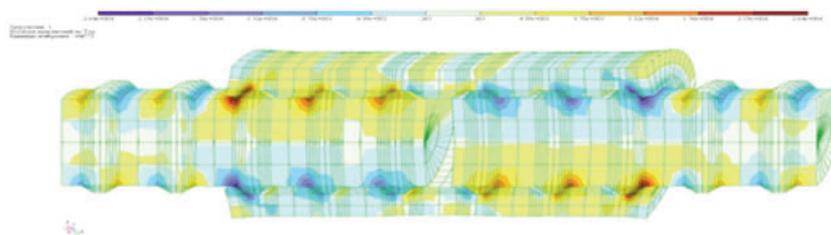


Рис. 6. Изополя напряжений T_{xy} арматурных стержней винтового профиля и муфты при растяжении.

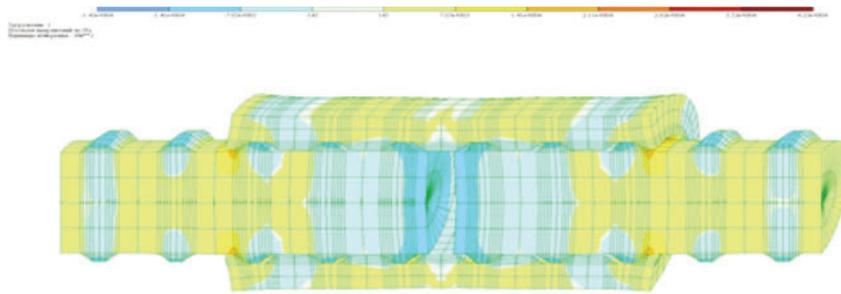


Рис. 7. Изополя напряжений N_x арматурных стержней винтового профиля и муфты при растяжении

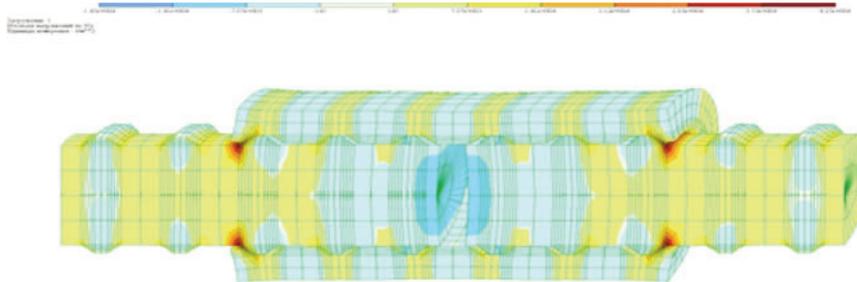


Рис. 8. Изополя напряжений N_y арматурных стержней винтового профиля и муфты при растяжении

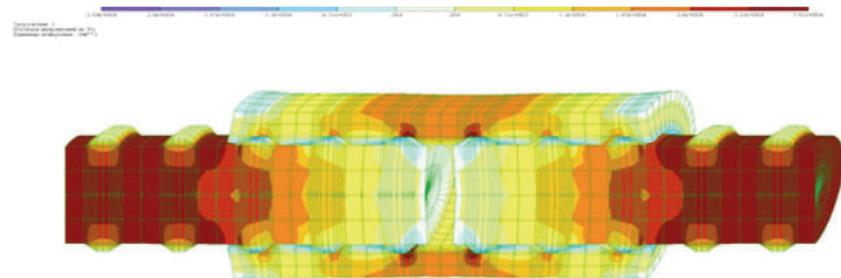


Рис. 9. Изополя напряжений N_z арматурных стержней винтового профиля и муфты при растяжении

Представлены результаты работы винтовой арматуры и муфты при моделировании условий пространственной совместной работы обеспечивается наличием поперечных выступов винтовой арматуры и натяжной муфты (элементы фаркопфа) [22].

ВЫВОДЫ.

Существенным недостатком серповидного профиля А500, А500С, являются сниженная по сравнению с кольцевым профилем, прочность и жесткость сцепления арматурных стержней с бетоном, а также ускоренный износ во времени из-за локальных перепадов напряжений в местах рёбер;

При строительстве конструкций фундаментов здания гостиницы «ХИЛТОН» в г. Батуми в 2009-2010гг. по инициативе фирмы «БАУЕР» успешно реализована технология монтажа арматурных стержней на основе муфтовых соединений по требованиям евро норм, без применения сварки и анкеровки с нахлестом;

Производство арматуры винтового профиля класса А500С более технологичное, чем производство предыдущих профилей, а кольцевая и винтовая накатка от 2 до 4 раз повышает уровень надежности соединения;

Использование арматуры винтового профиля класса А500С в конструкциях может снизить расход арматуры на 15-20%;

Арматурные стержни А500С лучше сопротив-

ляются внешнему воздействию и в том числе сильным землетрясениям или вибрационным воздействиям на бетонные конструкции;

По немецким источникам, для реальных объектов расход арматурной стали в зонах их стыковки может достигать до 50% массы всей рабочей арматуры. Кроме того, для сильно нагруженных конструкций (колонн нижних этажей высотных жилых, административных и промышленных зданий, фундаментных стоек, реконструкции и усиления зданий и сооружений и т.п.) - насыщение сечений арматурой может быть таким большим, что само размещение в пределах сечения конструкции арматуры, стыкуемой внахлест, становится проблематичным, так как приводит к ухудшению качества бетона вследствие плохих условий его вибрирования и т.д.;

Существуют также виды монолитных конструкций, в которых сварка не разрешается по соображениям пожарной безопасности, где применение безсварных соединений на основе винтовой арматуры и муфт могут быть наиболее целесообразными;

Подобные разработки необходимы в первую очередь для скоростного строительства мостов, зданий атомной энергетики, строительства в сейсмоопасных районах и т.д., поскольку они сокращают сроки строительства за счет быстрой стыковки стержней муфтами и уменьшают металлоемкость железобетонных конструкций.

Литература

1. ГОСТ РФ 52544-2006, ГОСТ 34028-2016. Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций. Технические условия РФ. 01.01.2007;
2. ТУ 14-1-5254-2006 Прокат периодического профиля для армирования железобетонных конструкций. Технические условия;
3. ГОСТ 8731-74 Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Технические требования ГОСТ 8732-78. Трубы стальные бесшовные горячедеформированные.
4. Верюжский Ю.В. Численные методы потенциала в некоторых задачах прикладной механики. – Киев. 1978. – 182с.
5. Верюжский Ю.В., Вусатюк А., Савицкий А., Петренко А. и др. Вычислительный комплекс «ПОТЕНЦИАЛ». ИК АН Украины. Киев. 1990г.
6. Гигинейшвили Д.Я. Результаты численных и экспериментальных исследований безсварных соединений элементов железобетонных конструкций. Материалы Всесоюзной научно-технической конференции «Современные проблемы развития технической базы гражданской авиации. Москва – 1989 г.
7. Гигинейшвили Д.Я., Верюжский Ю.В., Судаков Г.Н.. Применение численно-аналитического метода потенциала к решению контактных задач расчета сцепления арматуры с бетоном. Новые экспериментальные исследования и методы расчета железобетонных конструкций. Сборник научных трудов под ред. А.С.Залесова, О.Ф.Ильина. М. НИИЖБ Госстрой СССР. стр.199, 1989 г.
8. Гигинейшвили Д.Я., Верюжский Ю.В., Снитко А.Н. Моделирование процессов разрушения составных тел численно-аналитическим методом потенциала. Механика композитных материалов. Рига. №6 стр.1024-1030, 1989 г.
9. Гигинейшвили Д.Я. и др. Стыковое соединение сборных железобетонных элементов. Авторское свидетельство № 1830405. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений СССР 19.11.1990г. Бюл. №28. Москва, 30.07.1993г.
10. Гигинейшвили Д.Я., Синев П.А. Применение численно-аналитического метода потенциала для расчета контактных стыков сборных железобетонных колон многоэтажных зданий. Тезисы докладов Республиканской научно-технической конференции «Молодые ученые и специалисты в деле повышения качества строительства». Тбилиси, 1987 г. стр.79.
11. Гигинейшвили Д.Я., Петренко А.Я., Сайдахмедов А.Ш.. Численные экспериментальные исследования анкеровки арматуры в бетоне. Рукопись депонирования в ВНИИС Госстрой СССР, вып.7, № 8307, 1988 г. – 20с.
12. Гигинейшвили Д.Я., Ардашкин А.И. Комплексное исследование безсварного стыка колонн многоэтажных зданий. Материалы Республиканской конференции «Качество и надежность строительных материалов и конструкций в сейсмическом строительстве». стр. 93. 1988 г. Тбилиси.
13. Гигинейшвили Д.Я., Верюжский Ю.В., Петренко А.Я.. Моделирование взаимодействия арматуры и цементного камня с учётом контактного трещинообразования. Рукопись депонирована в ВНИИС Госстрой СССР № 9335 от 25.07.88г. М.1988 – 21 с.
14. Гигинейшвили Д.Я. Численные методы в расчетах безсварных соединений железобетонных конструкций. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. тех. наук. Киев. 1989 г. – 18 с.
15. Гигинейшвили Д.Я., Верюжский Ю.В. и др., Стыковое соединение сборных железобетонных элементов. Авторское свидетельство СССР. №1830405, 1990.
16. Гигинейшвили Д.Я., Синев П.А.. Моделирование напряженного состояния пространственных конструкций с применением численно-аналитического метода потенциала. Тезисы докладов на XIУ объединенном семинаре «Прикладная информатика автоматизированных систем проектирования, управления программированной эксплуатации». Калининград. 1989 г.
17. Гигинейшвили Д.Я. Результаты численных и экспериментальных исследований безсварных соединений элементов железобетонных конструкций. Материалы Всесоюзной научно-технической конференции «Современные проблемы развития технической базы гражданской авиации. Москва – 1989 г.
18. Гигинейшвили Д.Я., Коцич Д., Петренко А. Моделирование процессов трения и проскальзывания в бессварных соединениях элементов конструкции численно-аналитическим методом потенциала. Сборник трудов международного симпозиума, посвященного проблемам тонкостенных пространственных систем. 4-5.07.2001. Тбилиси. стр. 221-227.
19. Рекомендации по применению в железобетонных конструкциях эффективных видов стержневой арматуры. Госстрой СССР, НИИЖБ. Москва, 1987.
20. Фридлянов Б.Н. Применение винтовой арматурной стали на стройках Москвы. Бетон и железобетон, №1. 2001г. стр. 10-12.
21. Методические рекомендации. Армирование железобетонных конструкций с применением специальной арматуры по ГОСТ 34028-2016. Москва. 2018.

Reference

1. HOST RF 52544-2006, HOST 34028-2016. Prokat armaturnyi svaryvaemiy peryodycheskoho profylya klassov A500S y V500S dlia armyrovannya zhelezobetonnykh konstruktseyi. Tekhnnycheskye uslovyia RF. 01.01.2007;
2. TU 14-1-5254-2006 Prokat peryodycheskoho profylya dlia armyrovannya zhelezobetonnykh konstruktseyi. Tekhnnycheskye uslovyia;
3. HOST 8731-74 Truby stalnye besshovnye horiachedefortmyrovannnye. Tekhnnycheskye trebovaniya HOST 8732-78. Truby stalnye besshovnye horiachedefortmyrovannnye.
4. Veriuzhskiy Yu.V. Chyslennye metody potentsyala v nekotorykh zadachakh prykladnoi mekhaniky. – Kyev. 1978. – 182s.
5. Veriuzhskiy Yu.V, Vusatiuk A., Savytskyi A., Petrenko A. y dr. Vychyslytelnyi kompleks «POTENTsYAL». YK AN Ukrainy. Kyev. 1990h.

6. Нухмеішвілы Д.Іа. *Rezultaty chyslennykh y eksperymentalnykh yssledovanyi bezsvarnykh soedyneni elementov zhelezobetonnykh konstruksyi. Materiyaly Vsesoiuznoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsyy «Sovremennye problemy razvoytia tekhnicheskoi bazy hrazhdanskoi avyatsyy. Moskva – 1989 h.*
7. Нухмеішвілы Д.Іа., Veriuzhskiy Yu.V., Sudakov H.N.. *Prymenenye chyslenno-analytycheskoho metoda potentsyala k reshenyu kontaktnykh zadach rascheta stsepleniya armatury s betonom. Novye eksperymentalnye yssledovaniya y metody rascheta zhelezobetonnykh konstruksyi. Sbornyk nauchnykh trudov pod red. A.S.Zalesova, O.F.Ylyna. M. NYZZhB Hosstroj SSSR. str.199, 1989 h.*
8. Нухмеішвілы Д.Іа., Veriuzhskiy Yu.V., Snytko A.N. *Modelyrovanye protsessov razrusheniya sostavnykh tel chyslenno-analytycheskim metodom potentsyala. Mekhanyka kompozytnykh materiyalov. Ryha. №6 str.1024-1030, 1989 h.*
9. Нухмеішвілы Д.Іа. y dr. *Stykovoie soedynenye sbornykh zhelezobetonnykh elementov. Avtorskoe svydetelstvo № 1830405. Zarehistryrovano v Hosudarstvennom reestre yzobreteni SSSR 19.11.1990h. Biul. №28. Moskva, 30.07.1993h.*
10. Нухмеішвілы Д.Іа., Synev P.A. *Prymenenye chyslenno-analytycheskoho metoda potentsyala dlia rascheta kontaktnykh stykov sbornykh zhelezobetonnykh kolon mnohoetazhnykh zdanyi. Tezysy dokladov Respublykanskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsyy «Molodye uchenye y spetsyalysty v dele povysheniya kachestva stroytelstva». Tbylisy, 1987 h. str.79.*
11. Нухмеішвілы Д.Іа., Petrenko A.Іа., Saidakhmedov A.Sh.. *Chyslennye eksperymentalnye yssledovaniya ankerovky armatury v betone. Rukopys deponyrovaniya v VNYYS Hosstroj SSSR, vьp.7, № 8307, 1988 h. – 20c.*
12. Нухмеішвілы Д.Іа., Ardashkyn A.Y. *Kompleksnoie yssledovaniya bezsvarnoho styka kolonn mnohoetazhnykh zdanyi. Materiyaly Respublykanskoi konferentsyy «Kachestvo y nadezhnost stroytelnykh materiyalov y konstruksyi v seismycheskom stroytelstve». str. 93. 1988 h. Tbylisy.*
13. Нухмеішвілы Д.Іа., Veriuzhskiy Yu.V., Petrenko A.Іа.. *Modelyrovanye vzaymodeistviya armatury y tsementnoho kamnia s uchetom kontaktnoho treshchynoobrazovaniya. Rukopys deponyrovana v VNYYS Hosstroj SSSR № 9335 ot 25.07.88h. M.1988 – 21 s.*
14. Нухмеішвілы Д.Іа. *Chyslennye metody v raschetakh bezsvarnykh soedyneni zhelezobetonnykh konstruksyi. Avtoreferat dySSERTatsyy na soyskanye uchenoi stepeny kand. tekhn. nauk. Kyev. 1989 h. –18 s.*
15. Нухмеішвілы Д.Іа., Veriuzhskiy Yu.V. y dr., *Stykovoie soedynenye sbornykh zhelezobetonnykh elementov. Avtorskoe svydetelstvo SSSR. №1830405, 1990.*
16. Нухмеішвілы Д.Іа., Synev P.A.. *Modelyrovanye napriazhennoho sostoianiya prostranstvennykh konstruksyi s prymeneniyem chyslenno-analytycheskoho metoda potentsyala. Tezysy dokladov na Kh1U ob'edynennom semynare «Prykladnaia ynfomatyka avtomatyzirovannykh sistem proektyrovaniya, upravleniya prohrammyrovannoі ekspluatatsyy». Kalynynhrad. 1989 h.*
17. Нухмеішвілы Д.Іа. *Rezultaty chyslennykh y eksperymentalnykh yssledovanyi bezsvarnykh soedyneni elementov zhelezobetonnykh konstruksyi. Materiyaly Vsesoiuznoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsyy «Sovremennye problemy razvoytia tekhnicheskoi bazy hrazhdanskoi avyatsyy. Moskva – 1989 h.*
18. Нухмеішвілы Д.Іа., Kotsykh D., Petrenko A. *Modelyrovanye protsessov treniya y proskalzivaniya v bessvarnykh soedyneniakh elementov konstruksyi chyslenno-analytycheskim metodom potentsyala. Sbornyk trudov mezhdunarodnoho sympozyuma, posviashchennoho problemam tonkostennykh prostranstvennykh sistem. 4-5.07.2001. Tbylisy. str. 221-227.*
19. *Rekomendatsyy po pryimeneniyu v zhelezobetonnykh konstruksiyakh effektivnykh vydiv sterzhnevoi armatury. Hosstroj SSSR, NYZZhB. Moskva, 1987.*
20. Frydlianov B.N. *Prymenenye vyntovoi armaturnoi staly na stroikakh Moskvy. Beton y zhelezobeton, №1. 2001h. str. 10-12.*
21. *Metodycheskiye rekomendatsyy. Armirovaniye zhelezobetonnykh konstruksyi s prymeneniyem spetsyalnoi armatury po HOST 34028-2016. Moskva. 2018.*

¹ **J. Gigineishvili**, Director of PROGRESI LLC, orcid:0009-0007-6087-7743;

² **D. Gigineishvili**, Chief Engineer of PROGRESI LLC;

³ **V. Maksymenko**, head of Laboratory SE NIISP, orcid:0000-0002-2835-026X;

⁴ **T. Matsaberidze**, Leading Designer of PROGRESI LLC.

^{1, 2, 4} PROGRESI LLC

³ State Enterprise "Research institute of building production named V.S. Balitsky", Kyiv

RESULTS OF NUMERICAL STUDIES OF THE SCREW PROFILE OF REINFORCING BARS AND CONNECTING COUPLINGS ON THE BASIS OF THE POTENTIAL METHOD AND THE LIRA SAPR SOFTWARE COMPLEX

Abstract. *The paper presents the results of theoretical and experimental studies, where data were obtained on the design of new generation reinforcing bars with a screw profile and couplings for their connection and anchoring. The research was carried out in 1986-1990, on the instructions of the NIIZhB with the aim of introducing innovative technologies for the calculation and production of reinforcing bars and their installation at the construction site. Studies of new structures for their design and construction were carried out on the basis of the use of modern numerical methods and software.*

Key words: *concrete reinforcement, screw profile reinforcement, coupling, welded joints, couplings, numerical-analytical potential method, finite element method (FEM), computer modeling, research, internal forces, deformation, friction, computer modeling, stress isofields, advantages.*