

ИНФОРМАЦИОННАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРУБОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С СОВМЕСТНЫМ ПРИМЕНЕНИЕМ СТЕРЖНЕВЫХ И ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ

П.А. Хазов, khazov.nngasu@mail.ru

*Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет,
Нижний Новгород, Россия*

Аннотация. В статье рассматривается проблематика компьютерного расчета строительных конструкций из композитных материалов, таких как сталежелезобетон и трубобетон. Подчеркивается сложность задачи, возникающая из-за необходимости учета совместной работы материалов с различными физико-химическими составами для назначения жесткостей элементов традиционных стержневых конечно-элементных моделей. В качестве основной цели статического расчета таких конструкций выделяется получение распределения напряжений в сечениях однородных элементов композитной конструкции.

Предлагается методика расчета, следование которой позволяет минимизировать требования к производительности вычислительной техники, обеспечивая эффективное достижение поставленной цели. Это достигается посредством комбинирования стержневых конечно-элементных моделей и численных исследований отдельных ее элементов. Применение предложенного подхода демонстрируется на примере напряженно-деформированного состояния колонны высотного здания.

Описанный подход позволяет упростить процесс проектирования и повысить его точность, предотвращая потенциальное истощение ресурсов вычислительной техники при работе с композитными конструкциями.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, конечно-элементные модели, вычислительная техника, композитные материалы, трубобетон, напряженно-деформированное состояние

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-13-20009, <https://rscf.ru/project/22-13-20009/>.

Для цитирования. Хазов П.А. Информационная оптимизация процессов проектирования трубобетонных конструкций с совместным применением стержневых и твердотельных моделей // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2024. Т. 24, № 4. С. 80–89. DOI: 10.14529/build240411

Original article
DOI: 10.14529/build240411

INFORMATION OPTIMIZATION OF DESIGN PROCESSES FOR TUBULAR CONCRETE STRUCTURES USING COMBINED ROD AND SOLID MODELS

P.A. Khazov, khazov.nngasu@mail.ru

*Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering,
Nizhny Novgorod, Russia*

Abstract. The article discusses the issues related to the computer calculation of building structures made of composite materials, such as steel-reinforced concrete and tubular concrete. It highlights the complexity of the task which arises from the need to account for the combined operation of materials with different physicochemical compositions when assigning stiffness to the elements of traditional rod finite element models. The main goal of the static calculation of such structures is identified as obtaining the distribution of stresses in the sections of homogeneous elements of the composite structure. The article proposes a calculation methodology which minimizes the performance requirements of computing technology, ensuring effective achievement of the set goal. This is achieved through the combination of rod finite element models and numerical studies of individual elements. The application of the proposed approach is demonstrated by the example of the stress-strain state of a column of a high-rise building. The described approach simplifies the design process and increases its accuracy, preventing the potential depletion of computing resources when working with composite structures.

Keywords: computer modeling, finite element models, computational technology, composite materials, tubular concrete, stress-strain state

Acknowledgements. This work was supported by the Russian Science Foundation, project no. 22-13-20009, <https://rscf.ru/project/22-13-20009/>.

For citation. Khazov P.A. Information optimization of design processes for tubular concrete structures using combined rod and solid models. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture.* 2024;24(4):80–89. (in Russ.). DOI: 10.14529/build240411

Введение

На сегодняшний день внедрение современных информационных технологий в производственный процесс – это явление, затрагивающее самые разнообразнейшие экономические отрасли страны [1–6]. Многообразие применяемых конструктивных систем, непрерывное усложнение принимаемых архитектурных решений, перекрестное вовлечение в процесс проектирования специалистов различных научных и производственных сфер – лишь малая часть причин, по которым неотвратима стала и цифровизация современного строительства. С этим связано непрерывное развитие технологий информационного моделирования строительных объектов (ТИМ), усовершенствование существующих методик расчета конструкций с использованием продвинутого программного обеспечения.

Эпоха отвлеченного от компьютерной науки развития строительной области осталась в прошлом, в настоящее время любая идущая в ногу со временем проектная организация непрерывно ощущает потребность в накоплении своих информационно-технических ресурсов, оптимизации и рационализации их использования.

Однако некоторые задачи, возникающие в процессе проектирования, при традиционном прямолинейном их решении с использованием даже самого технологичного компьютера, настолько сложны, что могут привести к полному истощению мощностей вычислительной техники и нехватке ее производительности. Одной из таких задач является расчет строительных конструкций с применением композитных материалов [7–9], например, сталежелезобетонных или, в частности, наиболее распространенных на сегодняшний день – трубобетонных [10–18].

Возникающие в процессе расчета сложности [13, 18] объясняются особыми свойствами, приобретаемыми конструкциями вследствие совместной работы двух различных по физико-химическим показателям материалов – стали и бетона [14–17]. Как и для любого композитного материала, одной из главных целей статического расчета таких конструктивных элементов является получение картины распределения напряжений в их сечениях, позволяющей произвести оценку прочностных и жесткостных характеристик каждого элемента в отдельности и всей конструктивной системы в целом [18].

Для достижения заданной цели возможно применение двух различных подходов к моделированию расчетных схем композитных стержней. Пер-

вый предполагает максимально возможное упрощение конструктивного элемента до элементарной стержневой модели, геометрические и физические характеристики которой задаются как цифровые значения, а сама модель может состоять в наиболее простых случаях из одного конечного элемента, имеющего единственную визуализируемую в расчетной схеме характеристику – длину рассматриваемого стержня. Второй подход предполагает создание твердотельной конечно-элементной модели, учитывающей действительные габариты поперечного сечения стержня. В этом случае физические свойства материалов его компонентов присваиваются каждому конечному элементу модели, количество которых может изменяться в зависимости от требуемой в расчете степени точности.

На рис. 1 приводится схема, обобщающая преимущества и недостатки стержневых и твердотельных расчетных моделей композитных стержней.

В статье описывается методика расчета трубобетонных конструкций, следование которой позволяет минимизировать требуемую производительность вычислительной техники в процессе достижения вышеописанных целей.

Метод

Традиционный подход к статическим расчетам конструктивных схем зданий и сооружений заключается в их рациональном упрощении и обобщении в виде конечно-элементных стержневых и/или пластинчатых расчетных моделей и последующем вычислении напряжений в каждом элементе такой модели [13, 18]. При отсутствии в расчетной схеме сооружения элементов, обладающих свойствами композитных материалов, данные расчетные предпосылки позволяют в короткие сроки достичь приемлемых результатов, не испытывая при этом нужды в повышении мощности вычислительной техники.

Однако использование композитных материалов заставляет отказаться от подобной методики ввиду сложности корректного присвоения стержневым трубобетонным элементам жесткостных характеристик, распределение которых в составе расчетной модели напрямую повлияет на итоговые расчетные усилия.

Невозможность применения стержневых моделей для расчета трубобетонных конструкций может привести к необходимости их моделирования в качестве объемных конечных элементов в составе расчетной схемы. Однако данное решение неизменно приводит к многократному повышению



Рис. 1. Преимущества (зеленый) и недостатки (красный) стержневых и твердотельных расчетных моделей композитных конструкций

степени дискретизации расчетной модели, резкому увеличению количества конечных элементов и, как следствие, возрастанию требуемых для расчета временных ресурсов и вычислительных мощностей, при параллельном усложнении процесса моделирования.

Делая вывод о практической непригодности модели, составленной из объемных конечных элементов, необходимо признать невозможным и отказ от стержневой модели зданий и сооружений при их статическом расчете. При этом решением проблемы корректного задания жесткостных ха-

рактеристик могут выступать численные исследования, проводимые для отдельных конструктивных элементов, моделируемых дискретно в полном объеме, но не являющихся при этом частью общей стержневой модели конструкции.

Для наглядного представления метода, позволяющего анализировать напряженно-деформированное состояние трубобетонных конструкций с использованием комбинации стержневых и твердотельных конечно-элементных моделей, на рис. 2 показана структура, иллюстрирующая основные этапы выполнения расчета.

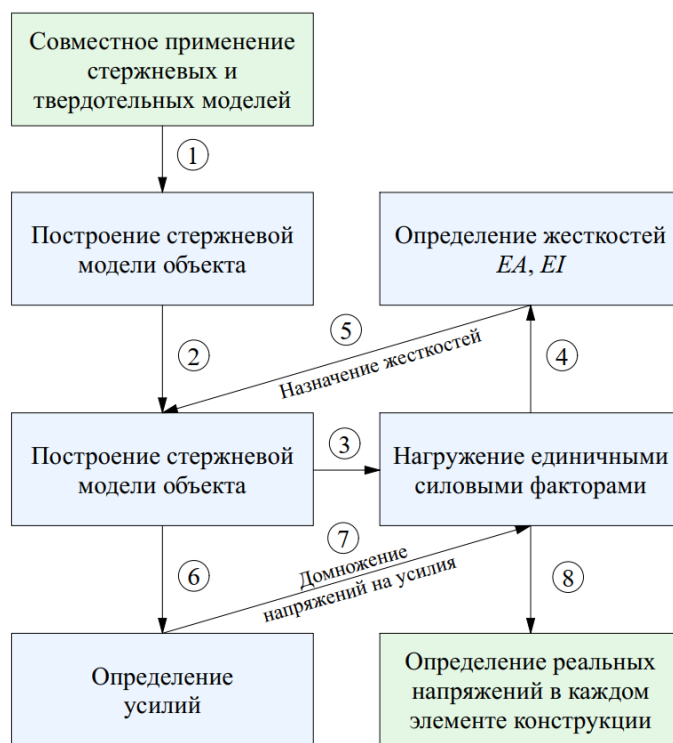


Рис. 2. Структура проведения совместных расчетов с применением стержневых и твердотельных расчетных моделей

В качестве демонстрации предлагаемого подхода к определению жесткостных характеристик процесс рассматривается на примере цифровой модели трубобетонной колонны (рис. 3), каждому компоненту сечения которой присваиваются геометрические и жесткостные характеристики, соответствующие конструкционному материалу. Расчетная схема колонны при этом упрощается и представляется в виде жестко-зашемленной консоли, находящейся под влиянием единичного силового фактора.

Значение перемещения конца стержня Δ_A может быть определено по формуле Мора – Максвелла (1) или по правилу Верещагина (2):

$$\Delta_A = \int_0^l \frac{M_p M_i}{EJ_{\text{экв}}} ds, \tag{1}$$

$$\Delta_A = \frac{Ml^2}{2EJ_{\text{экв}}}, \tag{2}$$

где l – длина стержня; M_p – ордината на эпюре моментов M_p (эпюра на рис. 4а); M_i – ордината на эпюре M_i (эпюра на рис. 4а); $EJ_{\text{экв}}$ – искомая жесткость колонны; ds – дифференциал длины стержня.

Если перемещение точки A является известной величиной, становится возможным решение обратной задачи с целью определения значения эквивалентной жесткости рассматриваемой трубобетонной колонны. Компьютерное моделирование отдельного стержневого элемента (рис. 4б) позволяет произвести его статический расчет и однозначно определить значение Δ_A , а затем выделить значение эквивалентной жесткости колонны из формулы (2):

$$EJ_{\text{экв}} = \frac{Ml^2}{2\Delta_A} = \frac{1 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot 36 \text{ м}^2}{2 \cdot 0,116 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 1,55 \cdot 10^6 \text{ кН} \cdot \text{м}^2. \tag{3}$$

Таким образом, задача определения изгибной жесткости трубобетонного элемента для задания в пространственную стержневую расчетную модель любой сложности не требует интеграции в модель объемных конечных элементов (со всеми сопутствующими осложнениями процесса расчета) и сводится к ряду исследований с применением компьютерного моделирования отдельных стержней, а точнее – к числу таких исследований, равному

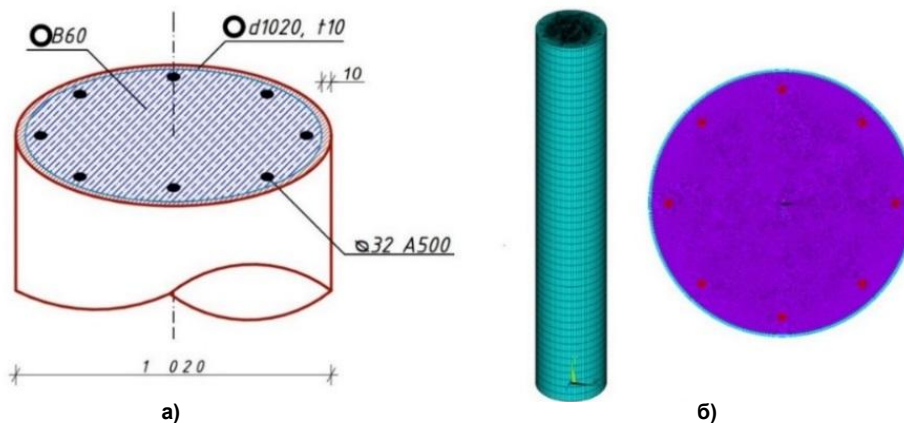


Рис. 3. Компоненты трубобетонной колонны (а) и ее цифровая модель (б)

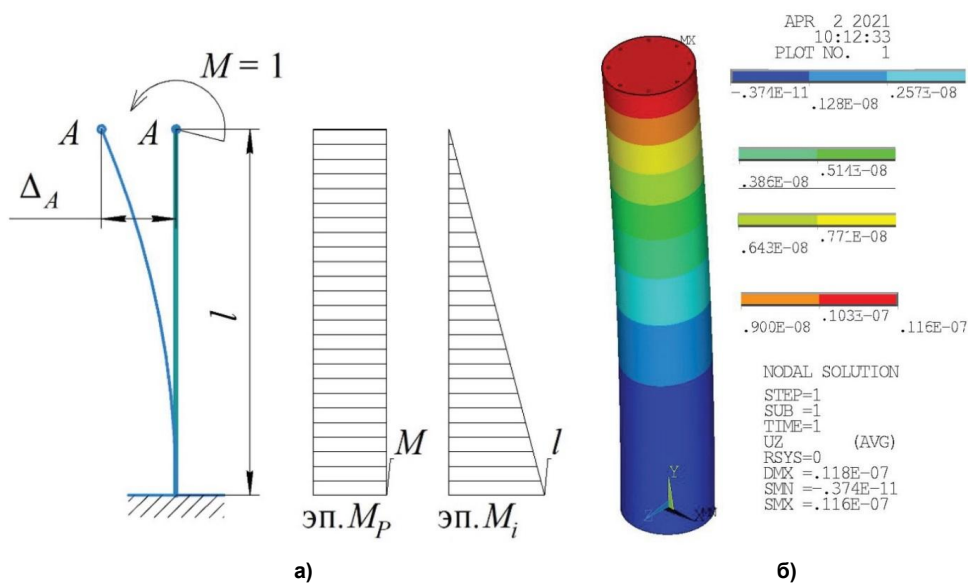


Рис. 4. Упрощенная расчетная схема колонны: а – графическое отражение; б – цифровая модель

количеству типоразмеров применяемых композитных конструктивных элементов (см. рис. 2).

Данный подход с равным успехом может быть применен к определению продольных жесткостей с разницей в том, что единичный момент в расчетной схеме (см. рис. 4а) должен быть заменен единичной продольной силой.

Результаты и обсуждения

В качестве объекта для применения вышеописанного метода в исследовании выступает конструктивная схема, эквивалентная высотному зданию, напряженно-деформированное состояние конструкций которого предлагается оценить с применением его пространственной стержневой конечно-элементной модели (рис. 5) [13, 18].

Колонны представленного в качестве примера объекта представляют собой трубобетонные стержни, изгибные и продольные жесткости которых определялись в соответствии с изложенным алгоритмом по формуле (3) и присваивались каждому соответствующему конечному элементу расчетной модели здания [13, 18], что в конечном итоге позволило произвести корректный статический расчет его модели и выделить наиболее выгодные комбинации нагрузок, соответствующих

наибольшим расчетным усилиям в исследуемых трубобетонных элементах колонн.

Для колонны, рассматриваемой выше (см. рис. 3а), значения расчетных усилий для двух наименее выгодных комбинаций в составе представленной конечно-элементной модели составили: $M_{расч} = 245$ кНм, $N_{расч} = 16\ 675$ кН и $M_{расч} = 360$ кНм, $N_{расч} = 13\ 035$ кН по критериям N_{max} и M_{max} соответственно.

Накладывая усилия на пространственную твердотельную модель отдельной трубобетонной колонны (см. рис. 4б), возможно проверить прочность ее элементов по формуле

$$\sigma_{max} = \sigma_M^{расч} + \sigma_N^{расч} = \sigma_M \cdot M_{расч} + \sigma_N \cdot N_{расч} \leq R_y, \quad (4)$$

где $\sigma_M^{расч}, \sigma_N^{расч}$ – возникающие в элементе конструкции напряжения от действия расчетных момента или продольной силы (см. рис. 5); σ_M, σ_N – те же значения, но вызванные единичным силовым фактором (моментом или продольной силой), определяемые по рис. 6 и 7 соответственно; $M_{расч}, N_{расч}$ – расчетные момент и продольная сила, представленные выше; R_y – расчетное сопротивление материала (стали трубы, стали арматуры, бетона),

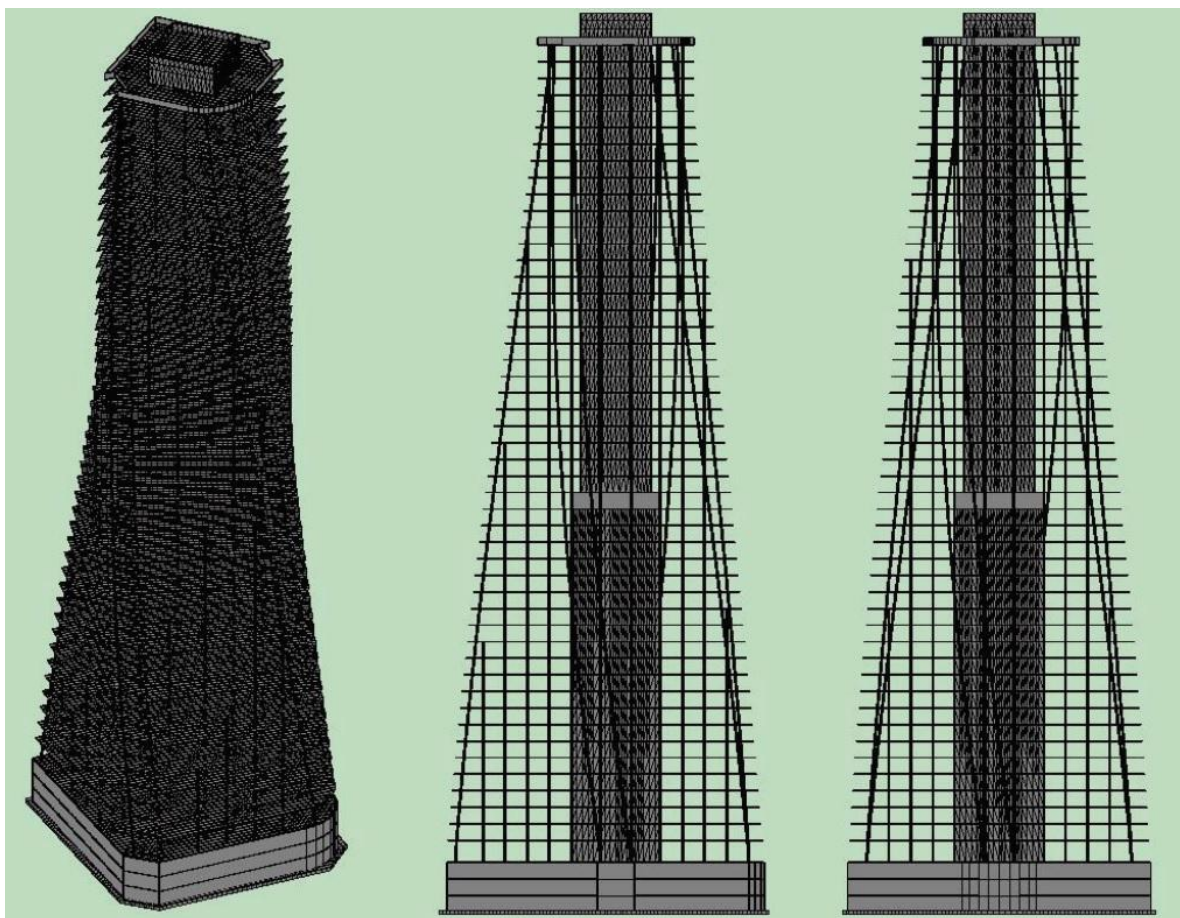


Рис. 5. Пространственная конечно-элементная расчетная модель высотного здания

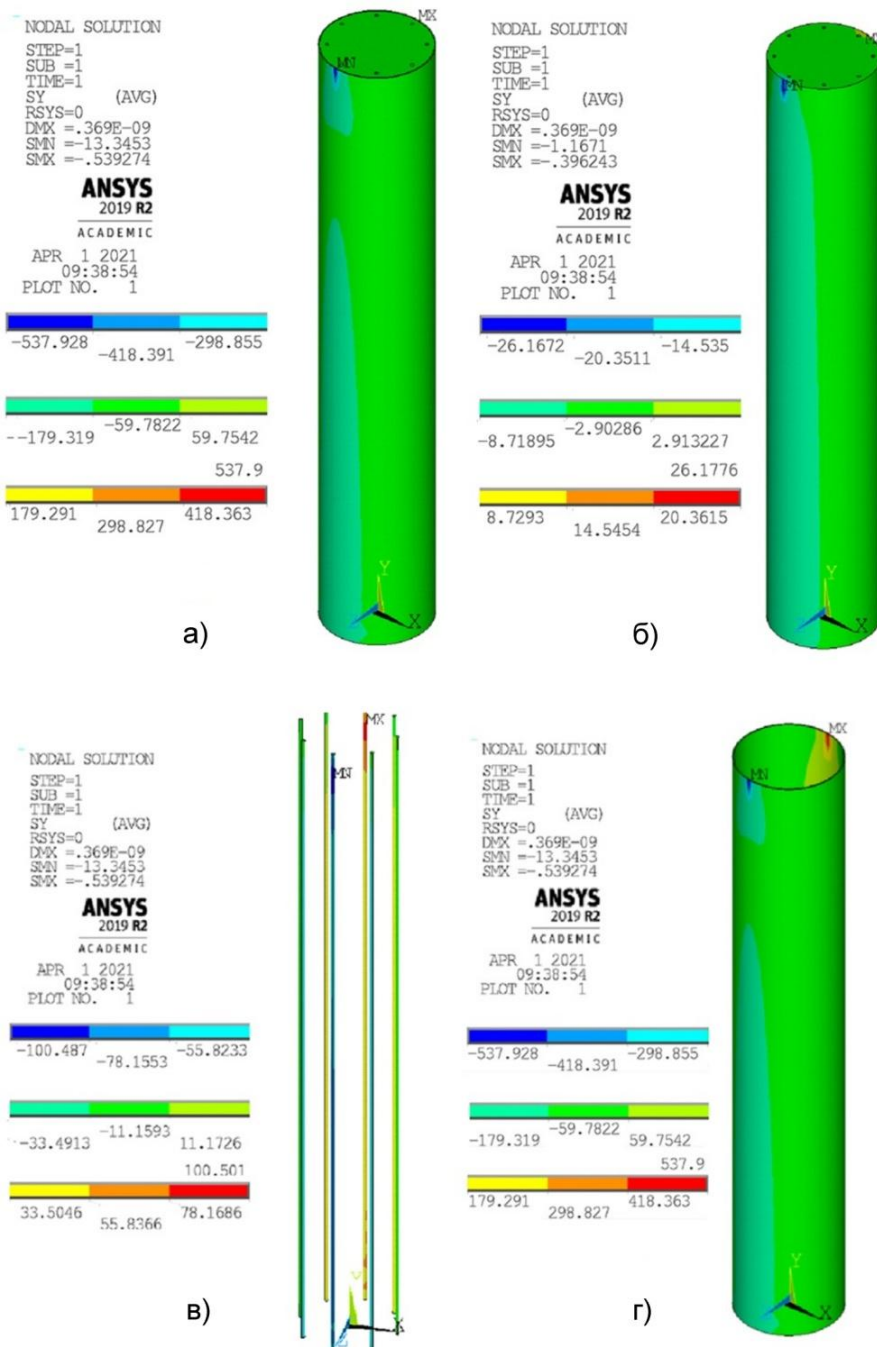


Рис. 6. Нормальные напряжения (Па) в элементах трубобетонной колонны от действия единичного момента: а – композитная конструкция; б – бетон; в – арматурные стержни; г – стальная труба-оболочка

определяемое по соответствующим нормативным документам.

Результаты расчета прочности трубобетонной колонны (см. рис. 3а) с использованием формулы (4) сведены в таблицу.

Таблица демонстрирует, что описываемый алгоритм расчета трубобетонной колонны позволяет оценить несущую способность каждого компонента ее сечения дискретно, учитывая при этом их совместную работу, что говорит о достижении

одной из главных целей статического расчета таких конструктивных элементов.

По результатам выполненного расчета можно заключить, что прочность колонны обеспечена. При этом максимальные запасы прочности возникают в арматурных стержнях, тогда как материал стальной трубы-оболочки работает практически на пределе, что визуализирует диаграмма коэффициентов использования материала различных компонентов колонны (рис. 8).

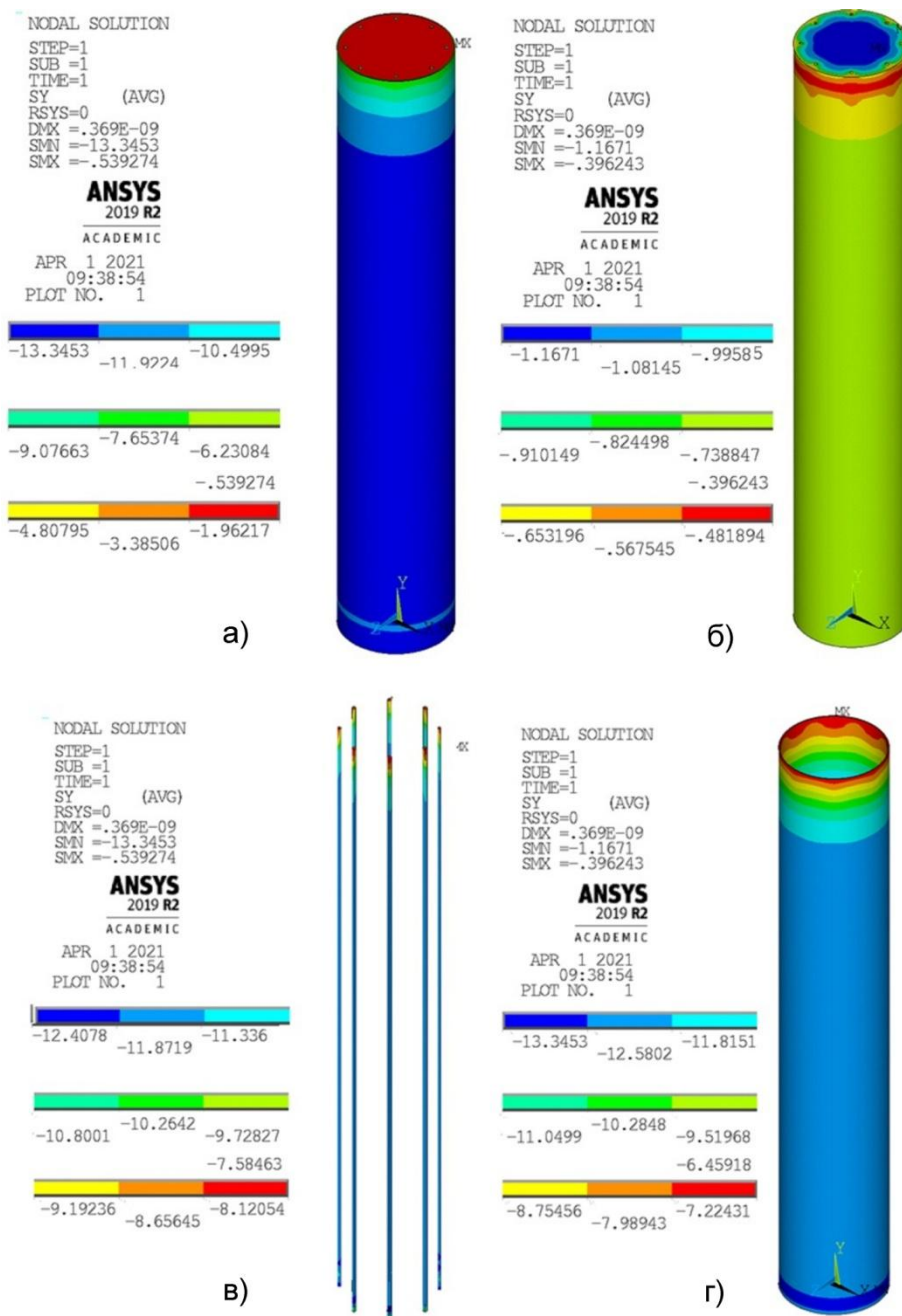


Рис. 7. Нормальные напряжения (Па) в элементах трубобетонной колонны от действия единичной продольной силы: а – композитная конструкция; б – бетон; в – арматурные стержни; г – стальная труба-оболочка

Проверка прочности элементов колонны

Комбинация усилий		Элемент	σ_M , Па	σ_N , Па	$\sigma_M^{расч}$, Па · 10 ⁶	$\sigma_N^{расч}$, Па · 10 ⁶	σ_{max} , Па · 10 ⁶	R_y , Па · 10 ⁶	Запас, %
$M_{расч}$, Нм	$N_{расч}$, кН								
245000	$1,668 \cdot 10^6$	Бетон	20,36	1,16	4,99	19,3	24,3	33,0	26
		Арматура	78,17	12,41	19,2	207	226,2	436	48
		Труба	179,32	12,58	43,9	210	253	265	5
360000	$1,304 \cdot 10^6$	Бетон	20,36	1,16	7,33	15,1	22,8	33,0	31
		Арматура	78,17	12,41	28,1	162	190,1	436	56
		Труба	179,32	12,58	64,6	164	228,6	265	14

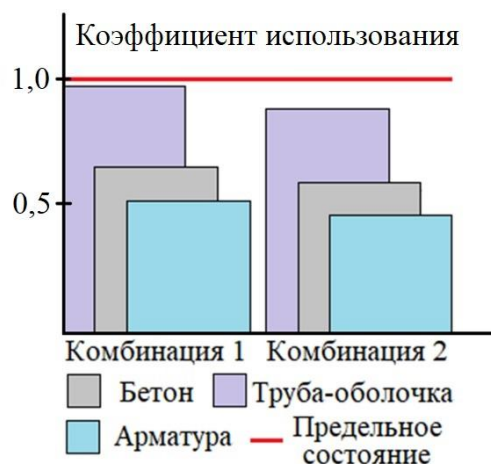


Рис. 8. Диаграмма коэффициентов использования компонентов трубобетонной колонны

Коэффициент включения в работу различных составляющих композитного сечения позволяет судить о необходимости внесения корректировок в конструкцию для создания наиболее экономичного сочетания материалов.

Выводы

Комбинированный подход, предполагающий использование как общей стержневой, так и объемной конечно-элементных моделей, позволяет произвести проверку прочности каждого конструктивного элемента трубобетонной колонны независимо друг от друга, не пренебрегая при этом учетом совместности их работы. При этом необходимые осложнения процесса компьютерного моделирования сводятся к приемлемому минимуму и сопряжены только с созданием отдельных простейших конечно-элементных моделей трубобетонных стержней и их расчетом.

Дискретный расчет каждого используемого типоразмера композитных элементов ведет к уменьшению потребных вычислительных мощностей в сравнении с методиками, предполагающими непосредственное внедрение объемных элементов в пространственную стержневую расчетную модель.

Поэтапный характер проведения таких расчетов при этом способствует ускорению процесса проектирования и его рационализации с точки зрения планирования и грамотного тайм-менеджмента. Уменьшается при этом и цена субъективной ошибки проектировщика при задании жесткостных характеристик и моделировании. Это связано с тем, что повторное проведение расчета, признанного некорректным, применительно к простой расчетной модели займет кратно меньше времени, чем перерасчет «тяжелых» пространственных твердотельных моделей, сопряженный с высокой степенью задействования информационно-технических ресурсов.

Более того, выбранный расчетный алгоритм позволяет производить корректировку и оптимизацию сечений по коэффициентам использования материала с использованием твердотельной конечно-элементной модели, производя все изменения в составе сечения без задействования общей стержневой модели, лишь заменяя в ней значения эквивалентных жесткостей. Данный аспект также можно рассматривать как преимущество подхода, предполагающего наличие этапа компьютерного моделирования отдельных элементов при проектировании конструкций из композитных материалов, таких как трубобетон.

Список литературы

1. Куприков М.Ю., Мартынова С.В. Экспертная система автоматизированного проектирования формообразующей оснастки FORMOS // Вестник Московского авиационного института. 2012. Т. 19, № 5. С. 187–191.
2. Куприков М.Ю., Маркин Л.В. Геометрические аспекты автоматизированной компоновки летательных аппаратов // Геометрия и графика. 2018. Т. 6, № 3. С. 69–87. DOI: 10.12737/article_5bc45cbccf6e67.89281424
3. Битюков Ю.И., Денискин Ю.И., Битюков П.Ю. Применение схем подразделений и вейвлетов в задачах обработки изображений и геометрического моделирования // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 12. С. 436–446. DOI: 10.24412/2071-6168-2023-12-436-437
4. Соломонов К.Н., Тишук Л.И. Компьютерное моделирование процесса осадки с использованием технологических приемов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. № 8. С. 492–497.

5. Волошинов Д.В., Соломонов К.Н. Программно-аппаратная реализация конструктивных геометрических моделей // Труды Международной конференции по компьютерной графике и зрению «Графикон». 2020. № 30. С. 83–98.
6. Тишук Л.И., Соломонов К.Н., Федоринин Н.И. Программа EQUI построения эквидистантных линий и линий тока ногоконтурных поковок // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2018615284, 04.05.2018. Заявка № 2018610450 от 22.01.2018.
7. Конопацкий Е.В., Селезнев И.В. Оптимизация геометрических моделей на примере физико-механических свойств композиционных строительных материалов // Строительство и техногенная безопасность. 2022. № S1. С. 159–166.
8. Структура и механизм разрушения алюмоматричных композитов, полученных методом внутреннего окисления, при растяжении / В.В. Мыльников, Е.А. Чернышов, А.Д. Романов и др. // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2023. Т. 29, № 2. С. 38–48. DOI: 10.17073/0021-3438-2023-2-38-48
9. Мыльников В.В., Кондрашкин О.Б., Гулин И.А. Особенности применения дисперсно-упрочненных композиционных материалов, полученных по технологии внутреннего окисления для строительных конструкций // Приволжский научный журнал. 2023. Т. 1, № 65. С. 65–71.
10. Акаев А.И., Магомедов М.Г., Пайзулаев М.М. Перспективы возведения сейсмостойких зданий из трубобетонных конструкций // Вестник ДГТУ. Технические науки. 2017. № 1. С. 138–149.
11. Кришан А.Л., Заикин А.И., Купфер М.С. Определение разрушающей нагрузки сжатых трубобетонных элементов // Бетон и железобетон. 2008. № 2. С. 22–25.
12. Несветаев Г.В., Резван И.В. Оценка прочности трубобетона // Фундаментальные исследования. 2011. № 12-3. С. 580–583.
13. Оценка прочности и устойчивости композитных сталежелезобетонных элементов с совместным применением стержневых и твердотельных расчетных моделей / А.А. Лапшин, П.А. Хазов, Д.А. Кожанов, С.Ю. Лихачева // Приволжский научный журнал. Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. Нижний Новгород. 2021. № 3. С. 9–16.
14. Тамразян А.Г., Манаенков И.К. Испытание трубобетонных образцов малого диаметра с высоким коэффициентом армирования // Строительство и реконструкция. 2017. № 4. С. 57–62.
15. Экспериментальное исследование прочности композитных трубобетонных образцов малогабаритных сечений / П.А. Хазов, В.И. Ерофеев, Д.М. Лобов, А.К. Ситникова // Приволжский научный журнал. Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. Нижний Новгород. 2021. № 3. С. 36–43.
16. Хазов П.А. Трехосное напряженное состояние бетона при продольном деформировании трубобетонных образцов // Проблемы прочности и пластичности. 2023. Т. 86, № 3. С. 312–322.
17. Хазов, П.А. Упругопластическое деформирование сталебетонных балок с локальным смятием при трехточечном изгибе / П.А. Хазов, О.И. Ведякина, А.П. Помазов, Д.А. Кожанов // Проблемы прочности и пластичности. 2024. № 1. С. 71–82.
18. Strength and stability of a pipeconcrete column of a high-rise building / D.A. Kozhanov, P.A. Khazov, I.V. Shkoda, S.Yu. Likhacheva // *Magazine of Civil Engineering*. 2024. Vol. 17, No. 2. Article No. 12601. DOI: 10.34910/MCE.126.1

References

1. Kuprikov M.Yu., Martynova S.V. [Expert system of the automated design of FORMOS molding tooling]. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta* [Bulletin of Moscow Aviation Institute], 2012, vol. 19, no. 5, pp. 187–191. (in Russ.)
2. Kuprikov M.Yu., Markin, L.V. [Geometrical aspects of the automated aircraft layout]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics], 2018, vol. 6, no. 3, pp. 69–87. (in Russ.) DOI: 10.12737/article_5bc45cbccf6e67.89281424
3. Bityukov Yu.I., Deniskin Yu.I., Bityukov P.Yu. [Application of subdivision schemes and wavelets in problems of image processing and geometrical modeling]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [News of the Tula State University. Technical Sciences], 2023, no. 12, pp. 436–446. (in Russ.) DOI: 10.24412/2071-6168-2023-12-436-437
4. Solomonov K.N., Tishchuk L.I. [Computer modeling of the sedimentation process using technological techniques]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta* [News of the Tula State University. Technical Sciences], 2022, no. 8, pp. 492–497. (in Russ.)
5. Voloshinov D.V., Solomonov K.N. [Hardware-software realization of constructive geometrical models]. *Trudy Mezhdunarodnoy konferentsii po komp'yuternoy grafike i zreniyu "Grafikon"* [Proceedings of the International Conference on Computer Graphics and Vision "GraphiCon"]. Saint Petersburg, 2020, no. 30, pp. 83–98. (in Russ.)
6. Tishchuk L.I., Solomonov K.N., Fedorinin N.I. *Programma EQUI postroeniya ekvidistantnykh liniy i liniy toka nogokonturnykh pokovok* [EQUI program for construction of equidistant lines and current lines of noncontour forgings]. Certificate of state registration of computer program no RU 2018615284, 2018. (in Russ.)

7. Konopatsky E.V., Seleznev I.V. [Optimization of geometrical models by the example of physical and mechanical properties of composite building materials]. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'* [Construction and Technogenic Safety], 2022, no. S1, pp. 159–166. (in Russ.)
8. Myl'nikov V.V., Chernyshov E.A., Romanov A.D., Myl'nikova M.V., Zakharychev E.A., Ryabov N.A. [Structure and fracture mechanism of the alumina matrix composites obtained by internal oxidation under tension]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tsvetnaya metallurgiya* [News of Higher Educational Institutions. Non-ferrous Metallurgy], 2023, vol. 29, no. 2, pp. 38–48. (in Russ.) DOI: 10.17073/0021-3438-2023-2-38-48
9. Myl'nikov V.V., Kondrashkin O.B., Gulin I.A. [Features of application of disperse-hardened composite materials obtained by internal oxidation technology for building structures]. *Privolzhskiy nauchnyy zhurnal* [Privolzhskiy Scientific Journal], 2023, vol. 1, no. 65, pp. 65–71. (in Russ.)
10. Akaev A.I., Magomedov M.G., Paizulaev M.M. [Prospects of the earthquake-resistant buildings erection from the pipe-concrete structures]. *Vestnik DGTU. Tekhnicheskie nauki* [Bulletin of DSTU. Technical Sciences], 2017, no. 1, pp. 138–149. (in Russ.)
11. Krishan A.L., Zaikin A.I., Kupfer M.S. [Determination of the destructive load of compressed pipe concrete elements]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 2008, no. 2, pp. 22–25. (in Russ.)
12. Nesvetaev G.V., Rezvan I.V. [Assessment of the strength of concrete filled steel tube]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Research], 2011, no. 12-3, pp. 580–583. (in Russ.)
13. Lapshin A.A., Khazov P.A., Kozhanov D.A., Lihacheva S.Yu. [Assessment of strength and stability of composite steel-reinforced concrete elements with joint use of rod and solid-state calculation]. *Privolzhskiy nauchnyy zhurnal* [Privolzhskiy Scientific Journal], 2021, no. 3, pp. 9–16. (in Russ.)
14. Tamrazyan A.G., Manaenkov I.K. [Testing of small-diameter pipe-concrete specimens with high reinforcement ratio]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya* [Construction and Reconstruction], 2017, no. 4, pp. 57–62. (in Russ.)
15. Khazov P.A., Erofeev V.I., Lobov D.M., Sitnikova A.K. [Experimental study of the strength of composite pipe-concrete specimens of small-sized sections]. *Privolzhskiy nauchnyy zhurnal* [Privolzhskiy Scientific Journal], 2021, no. 3, pp. 36–43. (in Russ.)
16. Khazov P.A. [Triaxial stress state of concrete under longitudinal deformation of pipe-concrete specimens]. *Problemy prochnosti i plastichnosti* [Problems of Strength and Plasticity], 2023, vol. 86, no. 3, pp. 312–322. (in Russ.)
17. Khazov P.A., Vedyaikina O.I., Pomazov A.P., Kozhanov D.A. [Elastoplastic deformation of steel-concrete beams with local buckling at three-point bending]. *Problemy prochnosti i plastichnosti* [Problems of Strength and Plasticity], 2024, no. 1, pp. 71–82. (in Russ.)
18. Kozhanov D.A., Khazov P.A., Shkoda I.V., Likhacheva S.Yu. Strength and stability of a pipeconcrete column of a high-rise building. *Magazine of Civil Engineerin*, 2024, vol. 17, no. 2. Article No. 12601. DOI: 10.34910/MCE.126.1

Информация об авторе:

Хазов Павел Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теории сооружений и технической механики, старший научный сотрудник, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, Россия; khazov.nngasu@mail.ru

Information about the author:

Pavel A. Khazov, PhD, associate professor of the department of theory of structures and technical mechanic, senior researcher, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russia; khazov.nngasu@mail.ru

Статья поступила в редакцию 16.09.2024; принята к публикации 20.09.2024.

The article was submitted 16.09.2024, approved after reviewing 20.09.2024.