

УДК 624.042.7

Неужроков Азамат Русланович, студент,
Кубанский государственный аграрный
университет имени И. Т. Трубилина

Нехай Рустам Григорьевич, к.т.н., доцент,
Кубанский государственный аграрный
университет имени И. Т. Трубилина

УЧЕТ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И РАСЧЁТЕ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Аннотация. В статье рассматриваются особенности проявления реологических процессов в строительных материалах, используемых при возведении высотных зданий, а также их влияние на изменение напряжённо-деформированного состояния конструкций в длительный период эксплуатации.

Ключевые слова: Реологические процессы; ползучесть бетона; усадка бетона; релаксация напряжений; высотные здания; длительные деформации.

Высотные сооружения относятся к числу наиболее сложных инженерных объектов, и их эксплуатационная надёжность во многом определяется тем, насколько полно учтены длительные деформационные процессы, возникающие в конструкционных материалах под воздействием постоянных нагрузок [1]. В зданиях большой этажности элементы каркаса работают десятилетиями, а свойства материалов изменяются под влиянием возраста, влажности, температуры и факторов среды. Реологические явления бетона, стали и грунтов формируют медленные, но непрерывные изменения геометрии и напряженно-деформированного состояния, и именно они определяют долговечность конструкции и стабильность её пространственного положения [2].

Реология рассматривает материалы как системы, способные постепенно изменять форму и внутреннее напряжение под неизменной нагрузкой [3]. Для высотных зданий ключевыми являются процессы ползучести и усадки бетона, релаксации напряжений в стальной арматуре и длительные деформации основания. Ползучесть приводит к постепенному увеличению деформаций железобетонных элементов, что вызывает дополнительные прогибы и перераспределение усилий [4]. Усадка формирует ранние изменения геометрии и появление трещин. Релаксация в предварительно напряжённой арматуре снижает компенсирующие усилия. Грунты в основании также подвержены длительным деформациям, что приводит к осадкам, иногда неравномерным [5].

Таблица 1

Основные реологические процессы, влияющие на работу высотных зданий

Реологический процесс	Материал	Суть явления	Последствия для высотных сооружений
Ползучесть	Бетон	Рост деформаций под длительной нагрузкой	Дополнительные прогибы, изменение НДС
Усадка	Бетон	Объёмное изменение из-за потери влаги	Ранние изменения геометрии, трещины
Релаксация	Сталь	Снижение напряжений при постоянной деформации	Потеря усилий в напрягаемой арматуре
Деформации основания	Грунт	Ползучесть и уплотнение грунта	Осадки, наклон, изменение положения элементов



Указанные процессы приобретают особую важность в высотном строительстве, поскольку даже незначительное различие в деформациях колонн по высоте здания вызывает смещение перекрытий, изменение положения ядра жёсткости, нарушения в работе лифтовых шахт и инженерных систем [6]. Совместное воздействие усадки и ползучести приводит к формированию нового распределения усилий, отличного от расчётного, заданного на этапе проектирования. Важную роль играют и длительные осадки фундамента [7].

Таблица 2

Методы учёта реологических процессов при проектировании и расчёте

Метод	Характеристика	Преимущества	Ограничения
Приведённый модуль упругости	Коррекция жесткости бетона	Простота	Низкая точность
Пошаговый временной анализ	Пересчет НДС по времени	Высокая точность	Большие вычисления
Модели старения бетона	Учет изменения свойств с возрастом	Достоверность	Требуются точные данные
Численное моделирование	Нелинейные модели материалов	Максимальная точность	Сложность

Дополнительным аспектом, требующим внимания при проектировании высотных зданий, является влияние реологических явлений на систему сопряжения конструкций с инженерным оборудованием [8]. Лифтовые направляющие, вентиляционные стояки, фасадные крепления и узлы примыкания инженерных систем обладают собственными допусками на смещения, которые в условиях длительных деформаций могут исчерпываться значительно быстрее, чем предполагает стандартный срок службы [9]. В современных высотных зданиях нередко возникают ситуации, когда ползучесть колонн или усадка монолитных стен приводят к заклиниванию инженерных каналов, перераспределению усилий на крепления фасадов или необходимости перенастройки лифтового оборудования [10]. Поэтому на этапе проектирования важным становится не только расчет конструкций на долговременные деформации, но и оценка совместной работы несущего каркаса и инженерных систем [11]. Интеграция данных реологических моделей в BIM-платформы и эксплуатационные цифровые двойники позволяет заранее прогнозировать такие изменения, своевременно корректировать конструктивные решения и проводить адаптивную эксплуатацию здания на протяжении всего его жизненного цикла.

Таким образом, учёт реологических процессов является обязательным элементом проектирования высотных сооружений. Игнорирование длительных деформаций может привести к смещению конструкций, повреждению фасадных систем, снижению несущей способности и уменьшению срока службы здания [12-13]. Применение современных методов анализа позволяет инженерам заранее прогнозировать характер длительных изменений и обеспечивать устойчивость и безопасность объекта.

Список литературы:

1. Мариничев, М. Б. Компенсация неравномерной сжимаемости основания жесткостью фундамента (на примере грунтовых условий г. Краснодара и края): специальность 05.23.02 "Основания и фундаменты, подземные сооружения": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Мариничев Максим Борисович. – Волгоград, 2004. – 24 с. – EDN ZMUMZZ.



2. Патент № 2321703 С1 Российская Федерация, МПК E02D 27/12. Способ строительства свайно-плитного фундамента: № 2006126909/03: заявл. 24.07.2006: опубл. 10.04.2008 / К. Ш. Шадунц, М. Б. Мариничев; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Кубанский государственный аграрный университет. – EDN MQBHТХ.

3. Патент № 2256748 С2 Российская Федерация, МПК E02D 27/12, E02D 27/16. Свайный фундамент и способ возведения свайного фундамента: № 2003118775/03: заявл. 23.06.2003: опубл. 20.07.2005 / К. Ш. Шадунц, М. Б. Мариничев; заявитель Кубанский государственный аграрный университет. – EDN JKУМУН.

4. Патент № 2378454 С1 Российская Федерация, МПК E02D 27/14. Способ возведения свайно-плитного фундамента: № 2008133436/03: заявл. 14.08.2008: опубл. 10.01.2010 / К. Ш. Шадунц, М. Б. Мариничев; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Кубанский государственный аграрный университет. – EDN ZFVFCX.

5. Мариничев, М. Б. Оценка эффективности свайно-плитных фундамента с промежуточной подушкой на примере высотных зданий в сейсмических районах Краснодарского края / М. Б. Мариничев // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. – № 2 (61). – С. 182-191. – EDN VYVNYT.

6. Шадунц, К. Ш. Особенности деформаций днищ резервуаров / К. Ш. Шадунц, М. Б. Мариничев, В. В. Угринов // Промышленное и гражданское строительство. – 2004. – № 3. – С. 28-29. – EDN PLFVSJ.

7. Нехай, Р. Г. Свойства задач теории расписаний / Р. Г. Нехай // Информационно-аналитическое обеспечение устойчивого развития региональной экономики: СБОРНИК СТАТЕЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ, ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ ЭКОНОМИЧЕСКОГО И УЧЕТНО-ФИНАНСОВОГО ФАКУЛЬТЕТОВ КУБАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА, Краснодар, 11 мая 2021 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2021. – С. 123-126. – EDN ALQHMT.

8. Молотков, Г. С. Расчет и построение графиков производства работ в составе технологических карт: Учебное пособие / Г. С. Молотков, Р. Г. Нехай. – Краснодар: Типография Кубанского государственного аграрного университета, 2022. – 82 с. – ISBN 978-5-907598-15-7. – EDN TWJEUL.

9. Основные тенденции совершенствования современного проектного менеджмента в строительстве в рамках новой парадигмы развития отрасли / А. Н. Секисов, Б. И. Сторчун, Н. В. Коженко [и др.] // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2023. – Т. 13, № 10-1. – С. 348-356. – DOI 10.34670/AR.2023.96.59.038. – EDN KTWPLE.

10. Нехай, Р. Г. Прогрессивные методы отделки зданий и сооружений: учебное пособие / Р. Г. Нехай, С. М. Резниченко, Г. С. Молотков. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2022. – 120 с. – ISBN 978-5-907667-66-2. – EDN BBUCAL.

11. Патент № 2205260 С2 Российская Федерация, МПК E02B 15/04, E02B 15/10. Устройство для сбора нефтепродуктов с поверхности воды: № 2001114849/13: заявл. 30.05.2001: опубл. 27.05.2003 / Г. В. Дегтярев, О. Г. Дегтярева; заявитель Кубанский государственный аграрный университет. – EDN PILCID.

12. Балабенко, Е. В. Формирование проектного подхода реализации механизмов государственно-частного и муниципально-частного партнерства в жилищном строительстве / Е. В. Балабенко // Строитель Донбасса. – 2019. – № 3 (8). – С. 31-36. – EDN FKSSHU.



13. Ovchinnikova, S. V. Key aspects of improving project management within the current socio-economic development / S. V. Ovchinnikova, A. N. Sekisov, A. V. Borovkov // E3S Web of Conferences: Ural Environmental Science Forum “Sustainable Development of Industrial Region” (UESF-2023), Chelyabinsk, 25–28 апреля 2023 года. Vol. 389. – Chelyabinsk: EDP Sciences, 2023. – P. 09015. – EDN VGGLDU.

