

**РАСЧЁТ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ
ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ЗДАНИЙ В СЛОЖНЫХ
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

Банах В.А., к.т.н., доц.

Запорожская государственная инженерная академия, Украина

Актуальность исследования обусловлена тем, что при эксплуатации строительных объектов в сложных инженерно-геологических условиях практически всегда возникают неравномерные деформации их грунтовых оснований, следствием которых становятся деформации зданий и сооружений. Исследования показывают, что в таких условиях большинство строительных объектов находится в деформированном состоянии. При статических и динамических воздействиях такое деформированное состояние зданий и сооружений, которое можно условно назвать предварительным, влияет на их поведение и изменяет напряженно-деформированное состояние (НДС) отдельных конструктивных элементов и их комплексов.

Цель работы – исследование методов учета предварительных деформаций в расчетных статико-динамических моделях взаимодействия зданий и сооружений с грунтовыми основаниями для количественной оценки их влияния на НДС и резервы несущей способности конструкций и их систем.

Под предварительными подразумеваются деформации, накопленные строительным объектом на момент определения текущей расчетной ситуации, в виде кренов и перекосов несущей системы зданий и сооружений, изменения высотного положения несущих конструкций, локальных смещений частей конструкций и их узлов, а также дефектов, вызывающих смещение центров тяжести сечений конструкций. Они могут быть фактическими или прогнозируемыми.

Для их учета предусмотрено 3 алгоритма:

1. Использование стандартных процедур определения нагрузки на фрагмент или преобразования результатов расчета в нагрузки, реализованном в большинстве конечноэлементных программных комплексов (ПК), для получения эквивалентных узловых нагрузок и приложения их к соответствующим узлам в одном из загрузений.

2. Использование суперэлементного подхода (СЭ) метода конечных элементов (МКЭ), формирование расчетной модели здания (сооруже-

ния) с использованием многоуровневых СЭ, в которой взаимодействие с основанием также моделируется специальными конечными элементами (КЭ), учитывающими податливость основания и одностороннюю связь между элементами в линейной или нелинейной интерпретации.

3. Использование специальных процедур сохранения в качестве исходных данных полученных в результате стандартного расчета деформированной схемы – в качестве документа координат узлов, а также напряжений и усилий в КЭ – как эквивалентных узловых нагрузок в соответствующем документе.

Проблемами расчета строительных конструкций на специфические воздействия, моделированием работы зданий и сооружений при статических и динамических воздействиях, учетом их взаимодействия с грунтовыми основаниями, мониторингом технического состояния и вибродиагностикой занимались такие ученые, как А. Р. Ржаницын, С. Н. Клепиков, В. Б. Швец, А. С. Городецкий, А. В. Перельмутер, Ю. И. Немчинов, С. Н. Карпенко, А. А. Петраков, А. А. Дыховичный, Ю. И. Калюх, М. И. Казакевич, В. В. Кулябко, О. А. Савинов [1-6], представители школ ЦНИИСК, Санкт-Петербурга (Ленинграда), Волгограда (ВолГАСА), в Украине – НИИСК, КНУСА, ПГАСА, ДонНАСА, ОГАСА, ХНУСА, ХНАГХ. Развитием численных методов применительно к расчету строительных конструкций – А. С. Городецкий, А. В. Перельмутер, Ю. И. Немчинов, Л. А. Розин, С. Ф. Клованич и многие другие [1, 4, 6-8].

Теоретическое обоснование учета предварительных деформаций построено на стандартном подходе МКЭ. В качестве предварительных деформаций могут выступать начальные деформации, вызванные различными причинами, например, усадкой, ползучестью, температурными воздействиями и т. п., а также предварительные деформации, накопленные системой до наступления расчетной ситуации. Отличие предлагаемого подхода связано с тем, что предварительные деформации вносят существенные изменения в расчетную систему, поскольку их физическая величина во много раз превышает величину начальных деформаций от действия других факторов.

Для определения степени соответствия предлагаемых расчетных моделей МКЭ необходимо произвести тестирование предлагаемого аппарата исследований сопоставлением с решениями, полученными при помощи известных методов строительной механики, точными решениями, приведенными в научной литературе, или результатами экспериментальных исследований.

В качестве примера тестирования расчетных моделей на действие статических нагрузок рассмотрим сборную железобетонную многопу-

стотную плиту перекрытия пролетом 6 м и стеновую панель секции жилого 9-этажного крупнопанельного здания типовой серии I-480 (рис. 1). Здание, в состав конструктивной системы которого входят плита перекрытия и стеновая панель, имеет предварительные деформации вследствие просадки грунта основания из-за его замачивания из водонесущих коммуникаций. Предварительные деформации определены инструментальным обследованием.

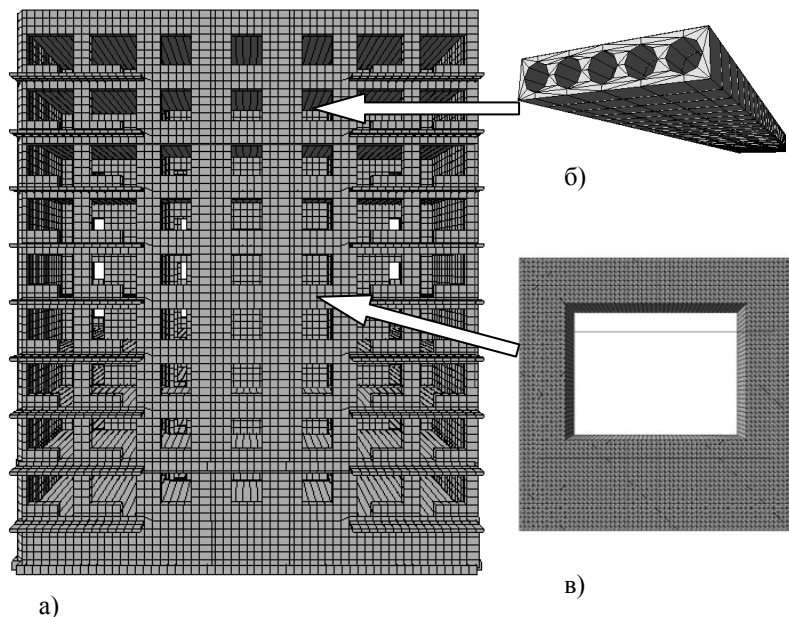


Рис. 1. Расчетные модели типовых сборных железобетонных конструкций жилого крупнопанельного здания с предварительными деформациями: а) модель типовой секции; б) модель многопустотной плиты перекрытия; в) модель стеновой панели с проемом

На основании имеющихся данных по результатам испытания конструкций типовых многопустотных плит перекрытий пролетом 6 м и стеновых панелей 9-этажной типовой секции жилого крупнопанельного здания серии I-480А, полученных на испытательном полигоне Запорожского отделения Государственного предприятия «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций», произведено сопоставление деформационных характеристик конструкций в процессе испытания с результатами расчетов, выполненных для расчетных моделей, имитирующих процесс испытания с учетом физиче-

ской нелинейности работы железобетона. Для сопоставления полученных результатов выполнены расчеты и в линейной постановке.

На первой стадии выполнен расчет пространственной модели плиты фактического сечения (см. рис 1, б), которая моделировалась трехмерными КЭ – призмами, с учетом расположения рабочей арматуры. Плита шарнирно опирается на опорные конструкции испытательного стенда. Закрепление – шарнирное, по линейным степеням свободы узлов. Загружения – пошаговые постоянной нагрузкой, имитирующей загрузки при испытании. В результате серии расчетов были полученные параметры НДС плиты перекрытия для всех этапов расчета. Оценивался расчетный прогиб тестируемой плиты, который сравнивался с прогибом, полученным при испытании (рис. 2, а).

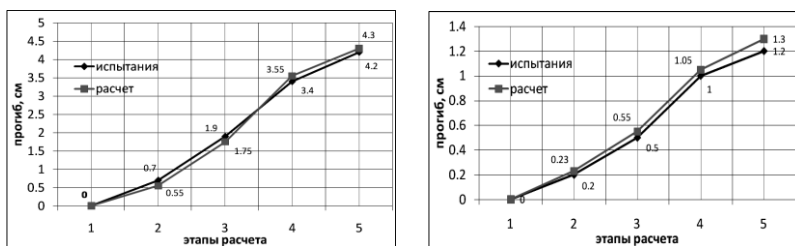


Рис. 2. Прогиб (см) в середине пролета при испытаниях и расчетный: а) многопустотной плиты перекрытия; б) надпроемной перемычки стеновой панели

Аналогично было проведено сопоставление результатов расчета и испытаний стеновой панели с проемом (рис. 1, в). Панель также моделировалась трехмерными КЭ – призмами, с учетом расположения рабочей арматуры. Конструкция шарнирно опирается по нижнему контуру и имеет шарнирные крепления в зоне расположения закладных деталей на боковых гранях. Загружения – пошаговые постоянной нагрузкой, имитирующей загрузки при испытании. В результате серии расчетов были полученные параметры НДС стеновой панели для всех этапов расчета. Оценивался расчетный прогиб надпроемной перемычки тестируемой панели, который сравнивался с прогибом, полученным при испытании (рис. 2, б).

Для сопоставления результатов расчета рассматриваемых конструкций с учетом предварительных деформаций с результатами натурных наблюдений в процессе обследования технического состояния здания выполнены расчеты с учетом физической нелинейности материала конструкций для плиты перекрытия (рис. 3, а) и стеновой панели (рис. 3,б) с использованием шагового процессора ПК LIRA-

Windows. Загружения выполнены постоянной нагрузкой (собственный вес, вес конструкции пола) и временной полезной нагрузкой на перекрытие в соответствии с [9]. Для плиты перекрытия моделировалось смещение одной из опор с частичным защемлением на другой опоре шарнирно опираемой плиты. Максимально зафиксированное значение перекося плиты (разницы высотного положения опорных частей) составляет 24 мм, что не превышает предельно допустимого значения для зданий данного типа [10-11].

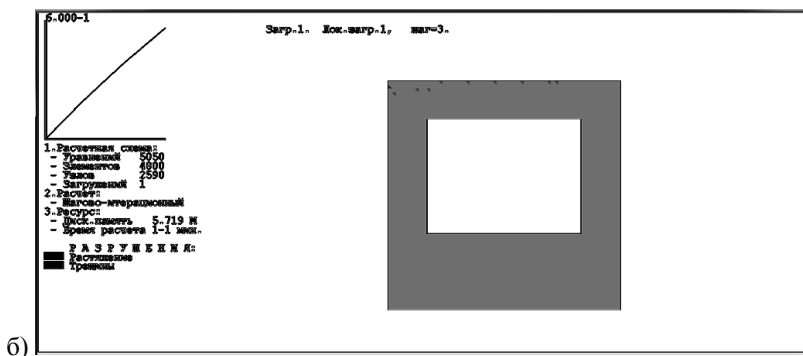
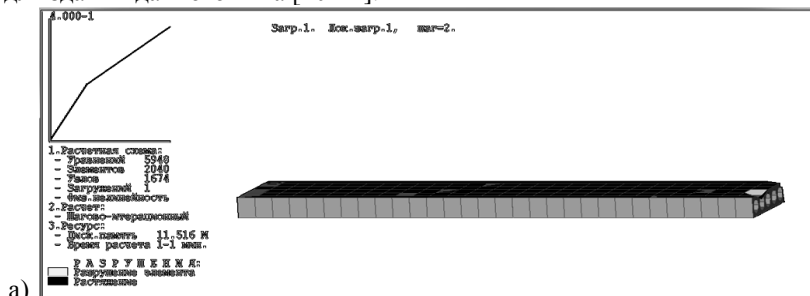


Рис. 3. Накопление деформаций при шаговом расчете с учетом физической нелинейности: а) в плите перекрытия; б) в стеновой панели

Расчет выполнен последовательно на вынужденные деформации, которые моделировались шаговым процессором ПК LIRA-Window, при этом учитывалось изменение расчетной модели на каждом шаге расчета. В результате серии расчетов были получены параметры НДС плиты перекрытия и стеновой панели для всех этапов смещения опоры плиты и перекося панели. Сопоставление результатов расчета тестируемых моделей и расчетных параметров НДС конструкций, полученных на основании данных обследования технического состояния здания с

предварительными деформациями, представлены на рис. 4.

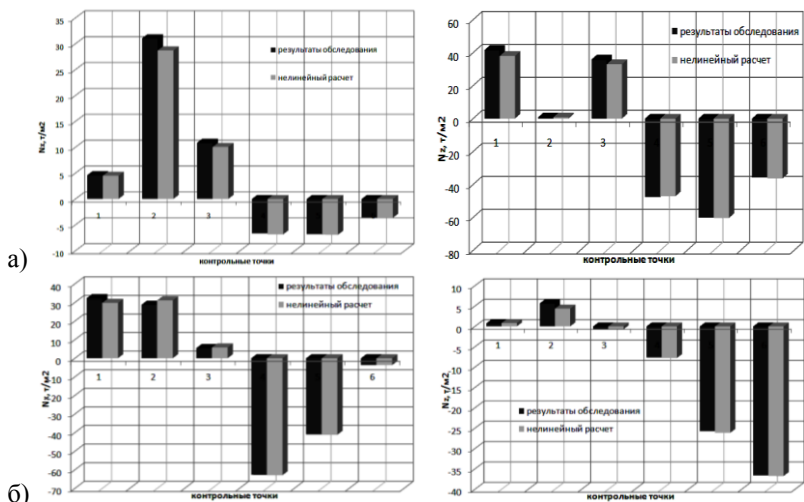


Рис. 4. Сопоставление значений нормальных напряжений N_x и N_z по результатам обследования и нелинейного расчета в контрольных точках: а) плиты перекрытия; б) стеновой панели

Выводы

Результаты численных исследований показали, что при воздействии на конструкцию неравномерных осадок использование принятых конечноэлементных моделей оправдано, так как результаты расчета достаточно хорошо совпали с результатами натурных испытаний плиты перекрытия и стеновой панели в исходном состоянии (максимальные отклонения – 2,4 % для плиты перекрытия и 7,7 % для стеновой панели) и дали приемлемые отклонения по деформированной схеме с учетом предварительных деформаций от результатов обследования (максимальные отклонения – 10,4 % для плиты перекрытия и 29,5 % для стеновой панели).

Summary

Principles of forming of calculation models of co-operation of the system «building (structure) – ground» for the stages of design and erection separately, and for the stages of exploitation, reconstruction and monitoring are developed.

Литература

1. Городецкий А. С. Компьютерные модели конструкций / А. С. Городецкий, И. Д. Евзеров. – К. : Издательство «Факт», 2005. – 344 с.
2. Дыховичный А. А. Модели строительных конструкций и их идентификация: дис. ... доктора техн. наук : 05.23.01 / Дыховичный Александр Александрович. – К., 1995. – 322 с.
3. Кулябко В. В. Динамика конструкций, зданий и сооружений. Ч. 1 : Статико-динамические модели для анализа свободных колебаний и взаимодействия сооружений с основаниями и подвижными нагрузками / Кулябко В. В. – Запорожье : ЗГИА, 2005. – 232 с.
4. Перельмутер А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – М. : Изд-во АСВ, 2011. – 736 с.
5. Клепиков С. Н. Расчет сооружений на деформируемом основании / С. Н. Клепиков. – К.: НИИСК, 1996. – 202 с.
6. Немчинов Ю. И. Метод пространственных конечных элементов (с приложениями к расчету зданий и сооружений) / Немчинов Ю. И. – К. : НИИСК, 1995. – 367 с.
7. Розин Л. А. Основы метода конечных элементов теории упругости / Розин Л. А. – Л. : Из-во ЛПИ, 1971. – 77 с.
8. Клованич С. Ф. Метод конечных элементов в нелинейных задачах инженерной механики / Клованич С. Ф. – Запорожье : ООО «ИПО "Запорожье"», 2009. – 400 с.
9. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования : ДБН В.1.2-2:2006. – [Действителен от 2007-01-01]. – Офіц. изд. – К. : Минстрой Украины, 2006. – 78 с. – (Нормативний документ Минстроя України).
10. Будинки і споруди на підроблюваних територіях і просідаючих ґрунтах. Ч. I: Будинки і споруди на підроблюваних територіях : ДБН В.1.1-5-2000. – [Чинний від 2000-07-01]. – Офіц. вид. – К. : Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України : Держбуд України, 2000. – 74 с. – (Нормативний документ Держбуду України).
11. Будинки і споруди на підроблюваних територіях і просідаючих ґрунтах. Ч. II: Будинки і споруди на просідаючих ґрунтах : ДБН В.1.1-5-2000. – [Чинний від 2000-07-01]. – Офіц. вид. – К. : Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України : Держбуд України, 2000. – 84 с. – (Нормативний документ Держбуду України).