

УДК 624.042

Жур В.Н., Бигма И.Э.

*Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону,  
Российская Федерация*

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НДС КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ ПРИ НЕРАВНОМЕРНЫХ ДЕФОРМАЦИЯХ ПОВЕРХНОСТИ МАССИВА ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ ПОДРАБОТКИ**

Расцвет угольной промышленности Восточного Донбасса пришелся на середину XX века. Развитие шахтерских городов Ростовской области диктовало необходимость возведения жилых многоквартирных зданий для растущего числа семей работников угледобывающей отрасли. В 1960-е г. активно развивалось серийное домостроение. Одной из самых массовых была типовая серия 1-447 с различными модификациями [3]. Материал несущих наружных и внутренних стен – кирпич керамический. Конструктивная схема – продольные наружные и внутренние стены со сборными железобетонными перекрытиями.

Особенность инженерно-геологических условий Восточного Донбасса заключается в распространении просадочных четвертичных отложений на территориях, подверженных влиянию подземных горных выработок. Помимо указанных факторов, отмечено наличие очагов техногенного подтопления. Водонасыщение просадочных грунтов приводит к неравномерным деформациям основания фундаментов зданий и сооружений. В свою очередь добыча угля подземным способом с контролируемым обрушением кровли приводит к образованию мульды сдвижения на поверхности подработанного массива. В итоге происходит наложение процессов просадки и мульдообразования, вызывающих вертикальные и горизонтальные перемещения точек поверхности массива горных пород [2].

Наиболее неблагоприятным воздействием для конструкций являются неравномерные деформации в основании зданий. В СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений» приведены максимально допустимые величины неравномерных осадок для различных конструктивных схем зданий.

Предположено, что даже при расчетных значениях неравномерных вертикальных осадок, которые не превышают предельно допустимые согласно СП 22.1333.2016, конструкции здания могут достигнуть аварийного состояния вследствие горизонтальных деформаций, которые не были учтены при расчетах.

Оценка напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов здания при неравномерных вертикальных и горизонтальных деформациях представляет собой сложную задачу, решить которую становится возможным с применением компьютерных программных комплексов. Такие программные комплексы, как ЛИРА-САПР, позволяют рассматривать эту

задачу в рамках единой расчетной системы «основание-фундамент-здание». Моделирование поведения грунтового массива, подверженного влиянию подземных горных работ и просадочных процессов зависит от большого количества параметров, что значительно усложняет задачу. В качестве решения данной проблемы предложено сочетание методов расчета совместных деформаций при подработке и просадке на основании действующих методик [4, 5] с возможностями компьютерных программ по расчету строительных конструкций. Решение задачи состоит из двух этапов:

1-й этап. Расчет вертикальных и горизонтальных перемещений в каждой точке основания под подошвой фундаментов [1]. Шаг точек должен совпадать с размером ячейки сетки конечных элементов, из которых состоит расчетная схема здания.

2-й этап. Задание граничных условий для узлов конечноэлементной сетки в уровне подошвы фундамента с учетом вычисленных в рамках первого этапа деформаций.

Далее с использованием процессора ПК ЛИРА-САПР выполняются расчеты параметров НДС несущих конструкций здания с учетом эксплуатационных нагрузок.

На примере расчетной схемы пятиэтажного многоквартирного жилого дома типовой серии 1-447 (рис. 1, а) продемонстрированы результаты решения задачи по выявлению зон локального разрушения кладки наружных несущих кирпичных стен в зоне влияния подработки и просадки.

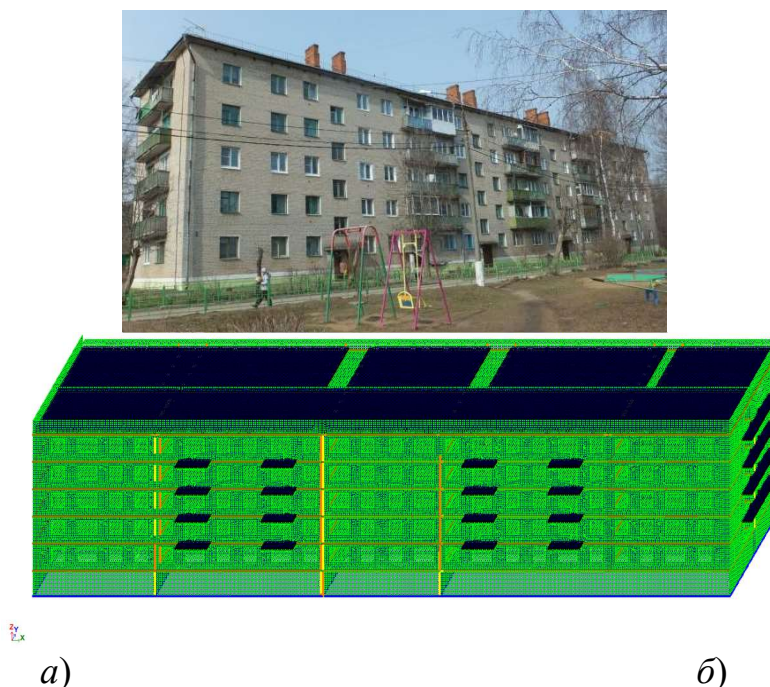


Рис. 1. Здание типовой серии 1-447:  
а – общий вид здания; б – конечно-элементная модель

Расчетная модель (рис. 1, б) представляет собой систему из трех- и четырехугольных пластинчатых элементов, максимальный размер которых не превышает 0,2 м.

Рассмотрена ситуация, когда контур здания расположен в просадочной воронке и в зоне мульды сдвижения от подработки (рис. 2)

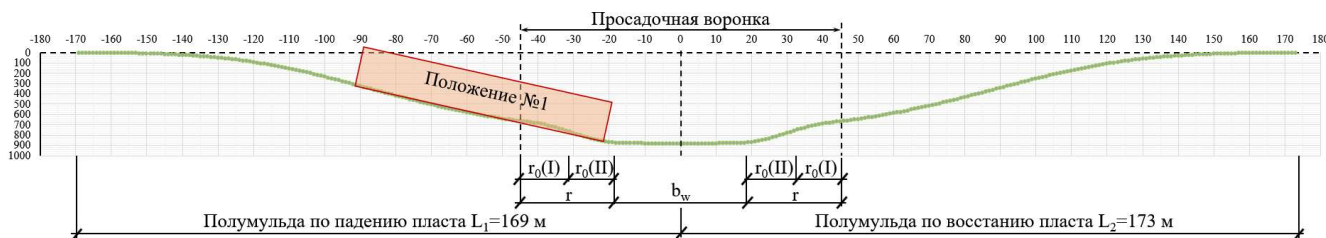


Рис. 2. Схема расположения здания в пределах зон с неравномерными деформациями

При задании граничных условий были наложены связи, исключаящие линейные и угловые перемещения по всем направлениям (X, Y, Z, UX, UY, UZ) в узлах, находящихся в подошвы фундамента. В качестве нагрузок на конструкции моделируемого здания учтены собственный вес и временно-длительные нагружения, которые использовались при вычислении расчетных сочетаний усилий. Вручную для каждого узла в уровне подошвы фундамента заданы вынужденные вертикальные и горизонтальные смещения точек основания (рис. 3).

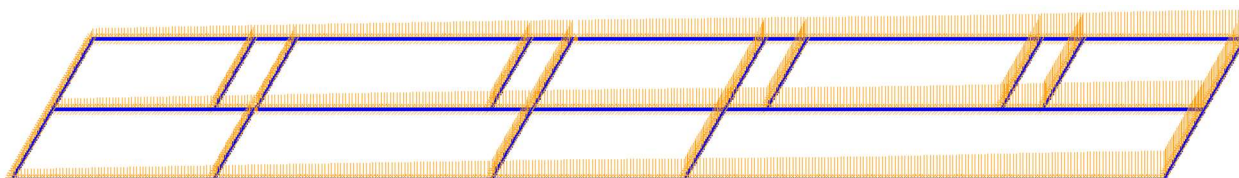


Рис. 3. Схема распределения перемещений точек основания

На рис. 4 показаны суммарные изополя касательных напряжений в пластинах вдоль вертикальной и горизонтальной осей.

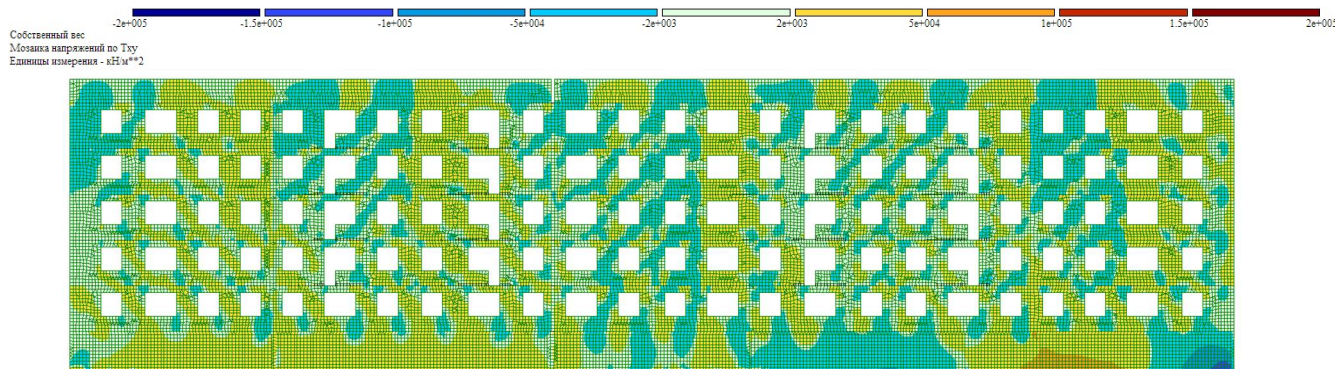


Рис. 4. Изополя касательных напряжений  $\tau_{xy}$



Зоны концентраций напряжений (желтый и голубой цвета) точно отражают расположение мест, где наиболее вероятно возникновение наклонных трещин в кирпичной кладке, возникающих вследствие неравномерных деформаций в основании здания.

С помощью программы ЛИРА-САПР 2013 рассчитаны главные и эквивалентные напряжения в пластинах исходя из параметров жесткости сечения кирпичной кладки. На рис. 5 видны участки стены (коричневый цвет), в которых главные напряжения растяжения превышают сопротивление кирпичной кладки растяжению  $R_{bt}$ . Именно в этих зонах в первую очередь будут формироваться трещины.

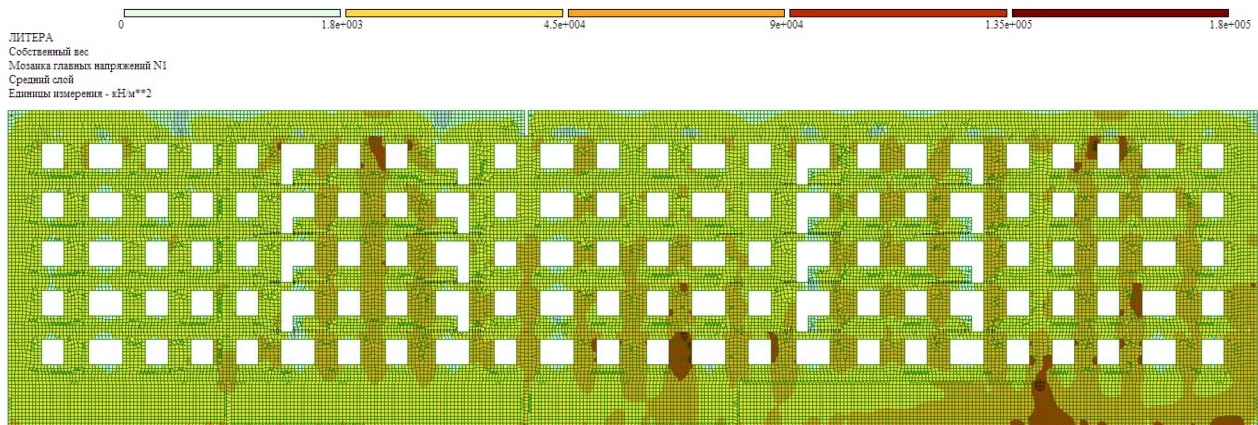


Рис. 5. Изополя главных напряжений вдоль горизонтальной оси  $N_1$

На рис. 6 показаны главные напряжения относительно вертикальной оси. Желтым цветом выделены сжимающие напряжения, превышающие сопротивление кирпичной кладки сжатию  $R$ . Синим цветом показаны растягивающие напряжения, превышающие сопротивление кирпичной кладки осевому растяжению  $R_{bt}$ .

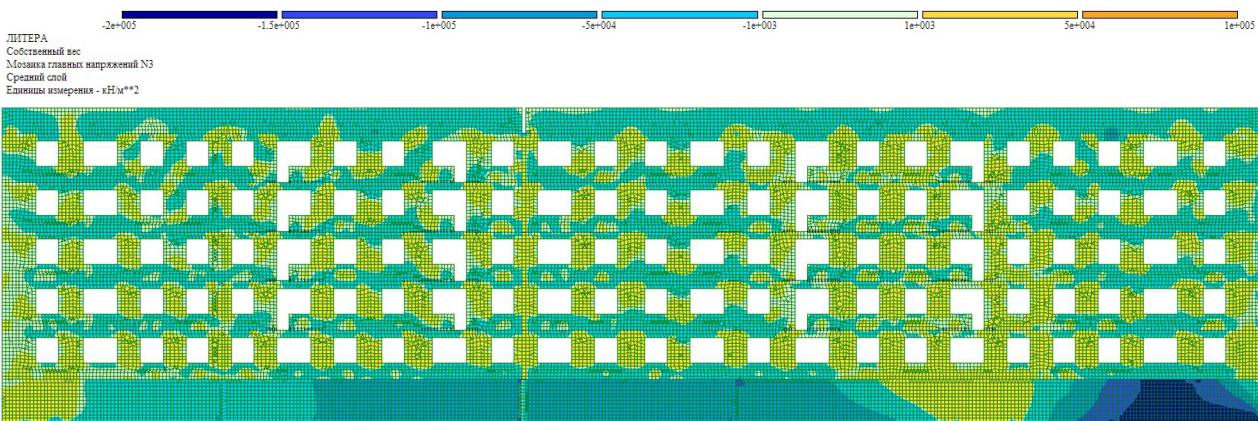


Рис. 6. Изополя главных напряжений вдоль вертикальной оси  $N_3$

Результаты моделирования конструкций здания показывают:

1. Характер распределения напряжений  $\tau_{xy}$  вдоль горизонтальных и вертикальных осей (рис 4.) адекватно отражает зоны ожидаемого разрушения материала в кирпичной кладке наружной стены, которые наблюдаются в реальных условиях при неравномерных деформациях основания;

2. Учитывая большое количество зон локальных разрушений кирпичной кладки, которые обозначены желтым и темно-синим цветами на изополях главных напряжений  $N_1$  и  $N_3$  (рис. 5 – 6), можно сделать вывод, что здание следует признать аварийным.

Описанный метод моделирования НДС конструкций здания вследствие неравномерных деформаций основания, возникающих в процессе просадки и мульдообразования позволяет решить актуальную задачу по оценке несущей способности и прогнозированию дальнейшей эксплуатационной пригодности.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жур В.Н. Оценка технического состояния зданий и сооружений в геологических и техногенных условиях Восточного Донбасса // Сергеевские чтения. Эколого-экономический баланс природопользования в горнопромышленных регионах: сб. науч. тр. (по материалам годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (2-4 апреля 2019 г.) / под ред. В. И. Осипова; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2019. – Вып. 21. – 629 с.

2. Прокопов А.Ю., Жур В.Н., Дубовой А.Н. Изучение одновременного влияния просадочности грунтов и подработки на состояние зданий и сооружений градопромышленных территорий / Перспективи розвитку будівельних технологій [Текст]: матеріали 11-ї міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів, 26–27 квітня 2017 р. [присвячена 80-ти річчю пам'яті Івана Степановича Новосильцева] / редкол.: О.М. Шашенко [та ін.] – Д.: Національний гірничий університет, 2017. – 135 с.

3. Прокопов А.Ю., Жур В.Н. // Анализ аварийного многоквартирного жилого фонда шах-терских городов Восточного Донбасса / Инженерный вестник Дона, 2017, №4. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4412>

4. ПБ 07-269-98. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях.

5. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений