

УДК 624.04

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД

*Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова, А. Б. Родионова*

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

В статье рассмотрена реализация нормативного метода моделирования характеристик грунтового основания проектируемого здания при изменении уровня грунтовых вод. Объект исследования — монолитный железобетонный каркас здания на основании, сложенном просадочными суглинками I типа. В программном комплексе Base выполнен расчет осадки и просадки основания, показавший превышение результатов предельных значений. Разработан экономичный способ ограничения просадочных свойств грунта, снижающий деформации основания до допустимых значений. Расчеты напряженно-деформированного состояния конструкций выполнены с использованием метода конечных элементов. Пространственная расчетная модель разработана по комплексной схеме «верхнее строение–фундамент–грунтовое основание» в программном комплексе Лира-САПР. Рассмотрено десять вариантов грунтового основания с учетом и без просадки. В результате выполнено уточнение напряженно-деформированного состояния и зоны дополнительного армирования элементов каркаса здания.

**Ключевые слова:** просадочный грунт, грунтовые воды, грунтовое основание, коэффициент постели, метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние, каркас здания.

## RESEARCH OF STRAIN-STRESS STATE OF BUILDING FOUNDATIONS AT CHANGE OF GROUND WATER LEVEL

*G. M. Kravchenko, E. V. Trufanova, A. B. Rodionova*

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

The article discusses the implementation of a normative method for modeling the characteristics of the soil base of a projected building when the groundwater level changes. The object of the study is a monolithic reinforced concrete frame of a building on the basis of folded subsidence loams of type I. In the Base software package, the calculation of settlement and subsidence of the base was performed, which showed that the results of the limit values were exceeded. An economical way of limiting the subsidence properties of the soil has been developed, which reduces the deformations of the base to the permissible values. The calculations of the stress-strain state of structures were performed using the finite element method. The spatial computational model was developed according to the integrated scheme "topside–foundation–subgrade" in the Lira-SAPR software package. The paper considers ten options for soil base with and without subsidence. As a result, the stress-strain state and the zone of additional reinforcement of the building frame elements were specified.

**Keywords:** subsiding soil, groundwater, subsoil, coefficient of subgrade resistance, finite element method, stress-strain state, building frame.

**Введение.** Одной из особенностей просадочных грунтов является способность давать дополнительные деформации в напряженном состоянии при повышении влажности (замачивании) от собственного веса или внешней нагрузки.

Проектирование на просадочных грунтах требует выполнения дополнительных расчетов грунтового основания и, при необходимости, принятия мер, направленных на ликвидацию или ограничение просадочных свойств грунта [1, 2].

**Постановка задачи.** Необходимо выполнить исследование влияния изменения грунтовых вод на напряженно-деформированное состояние каркаса здания.

**Материалы и методы.** В результате принятых конструктивных решений, расчетные совместные деформации фундамента и грунтового основания не должны превышать предельно допустимые, т.е. необходимо выполнение условия:

$$s + s_{sl} \leq s_u, \quad (1)$$

где,  $s$  — осадка основания фундамента, см;  $s_{sl}$  — просадка основания фундамента, см;  $s_u$  — предельное значение осадки основания фундамента, см.

В качестве объекта исследования рассмотрено каркасно-монолитное трехэтажное здание с подвалом. Фундаментом служит монолитная железобетонная плита толщиной 500 мм из бетона класса В25.

Грунты основания представляют собой просадочные суглинки I типа. Грунтовые воды установлены на глубине 4,5 м от подошвы фундамента. Сезонные колебания уровня грунтовых вод составляют 1,0–1,5 м. Питание грунтовых вод происходит за счет атмосферных осадков и техногенных утечек. При нарушении режима поверхностного стока и утечек с водонесущих коммуникаций возможно локальное замачивание просадочных грунтов с последующей реализацией из просадочных свойств.

Пространственная конечно-элементная модель разработана в программном комплексе Лира-САПР по комплексной схеме «верхнее строение–фундамент–грунтовое основание» (рис. 1) [3].

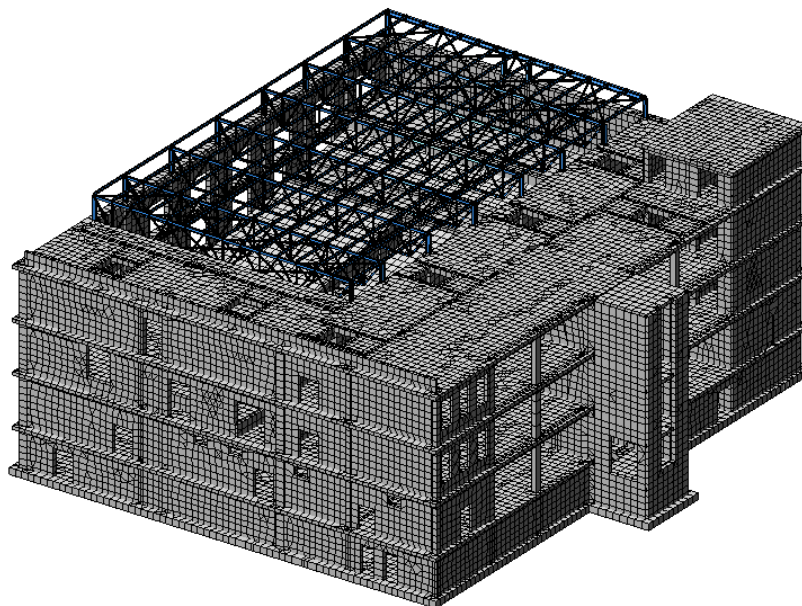


Рис. 1. Конечно-элементная модель

Расчет совместных деформаций фундамента и основания в программном комплексе Base показал превышение нормативных значений. Для ограничения просадочных свойств грунта предложено выполнить грунтовую подушку толщиной 1,5 м из местного суглинистого грунта с плотностью 1,66 т/м<sup>3</sup>.

При расчете осадки и просадки к учитываемым нагрузкам добавлен вес грунтовой подушки. Исходные данные для расчета осадки и просадки в программном комплексе Base представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики грунтов для расчета осадки и просадки

№ слоя	Тип грунта	Толщина, м	Модуль $E$ , т/м <sup>2</sup>	Начальное просадочное давление, т/м <sup>2</sup>	Относительная просадочность
Слой 1	Суглинки	2,91	1670	$P_{sl}=13,1$	$e(1)=0,012$ $e(2)=0,021$ $e(3)=0,026$
Слой 2	Суглинки	Не определена	15003,6	$P_{sl}=0$	$e(1)=0$ $e(2)=0$ $e(3)=0$

По результатам расчета осадка здания составила 4,49 см, просадка — 6,48 см. Суммарное значение осадки и просадки по формуле (1) составило 10,97 см и не превышает нормативное значение 15 см.

Учет замачивания основания выполнен по требованиям действующей нормативной документации. Схемы изменения жесткости основания в грунтовых условиях I типа по просадочности при замачивании основания представлены на рис. 2.

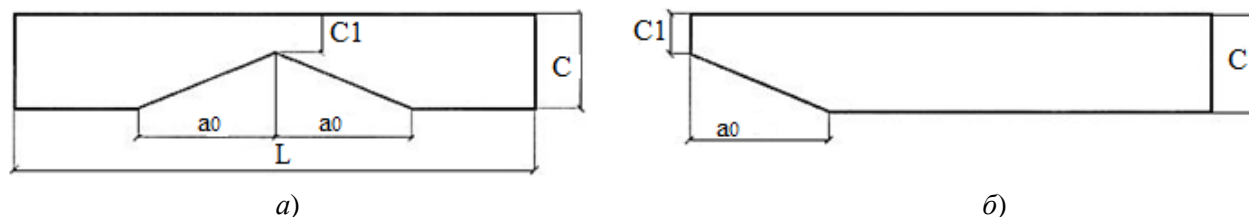


Рис. 2. Схема изменения жесткости основания: а — замачивание под серединой; б — замачивание под торцом

Длину участка, на котором просадка грунта изменяется от нуля до полного значения, вычисляют по формуле:

$$a_0 = h_{sat} m_{\beta} \tan \beta, \quad (2)$$

где  $h_{sat}$  — толщина зоны водонасыщенного грунта, м;  $m_{\beta}$  — коэффициент, учитывающий изменение угла распространения воды вследствие слоистости грунтового основания;  $\beta$  — угол распространения воды в стороны от источника замачивания.

Коэффициенты постели изменяется от 90 т/м<sup>3</sup> (с учетом просадки) до 235 т/м<sup>3</sup> (без учета просадки), длина участка распространения рассчитана по формуле (2) и составляет 12,6 м.

Рассмотрено 10 расчетных ситуаций: фундаментная плита на податливом основании без учета замачивания, замачивание по торцам здания (4 варианта), замачивание здания (4 варианта), замачивание в центре здания (рис. 3) [4, 5].



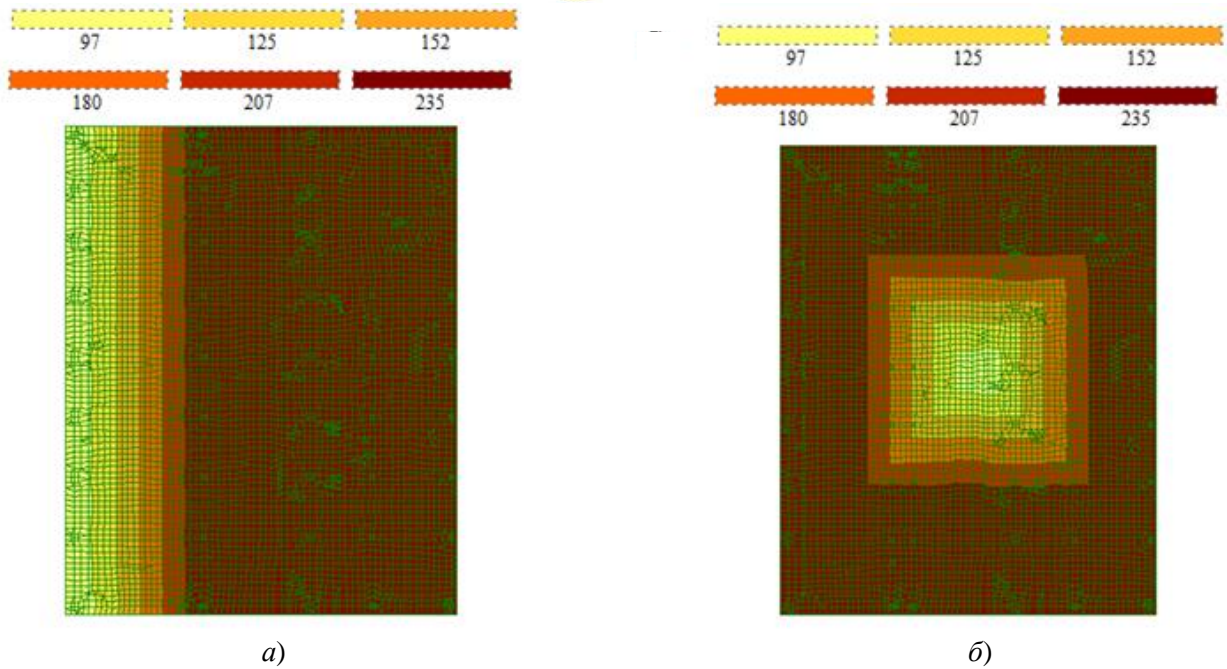


Рис. 3. Варианты учета замачивания грунта под подошвой: а — под торцом; б — в центре

Авторами выполнен расчет десяти расчетных моделей каркаса здания, определено напряженно-деформированное состояние конструкций, рассчитано армирование фундаментной плиты [6].

### Обсуждение результатов

Выполнен анализ полученного армирования фундаментной плиты [7]. Максимальные значения продольного армирования по верхнему и нижнему слоям практически не изменилось. Увеличились зоны усиления армирования и требуемая площадь армирования (рис. 4).

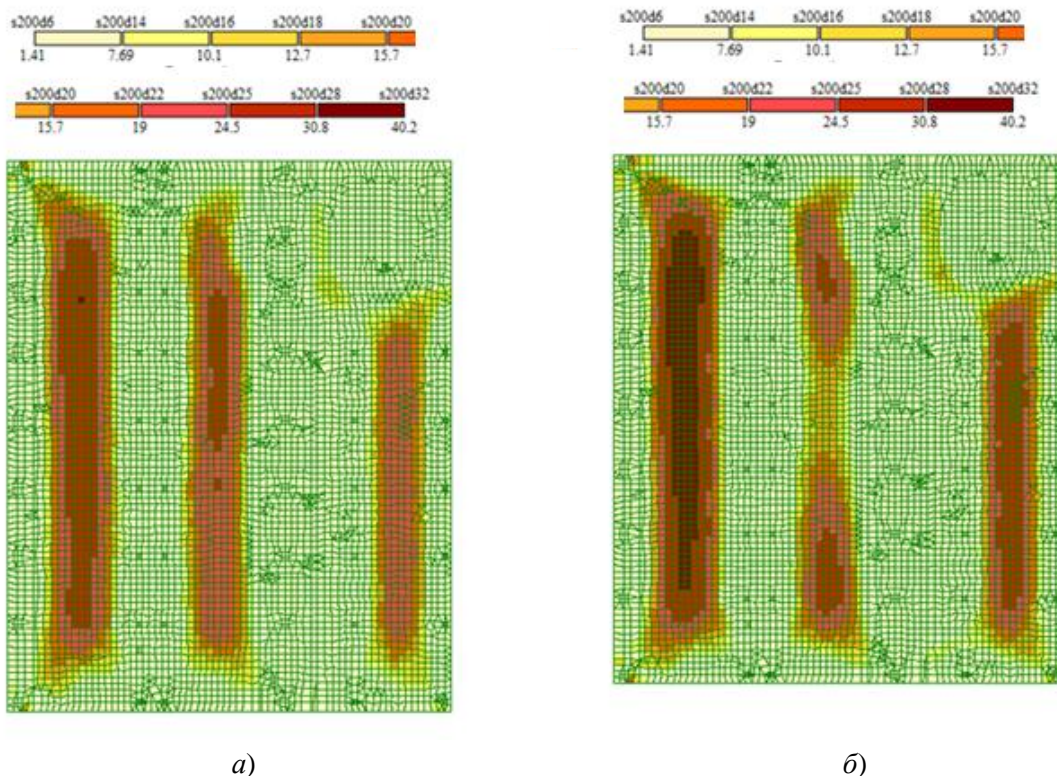


Рис. 4. Армирование по верхней грани:  
а — без замачивания; б — замачивание в центре

По результатам расчета выполнено уточнение армирования фундаментной плиты. Продольное армирование изменилось в сторону увеличения — возросла площадь участков с дополнительным армированием и площадь требуемой арматуры.

**Заключение.** Выполнено исследование влияния уровня грунтовых вод на напряженно-деформированное состояние конструкций зданий. Показан алгоритм расчета зданий и сооружений при изменении уровня грунтовых вод в программных комплексах, реализуемых метод конечных элементов.

В результате исследования выбран экономичный метод ограничения просадочных свойств основания объекта, выполнено уточнение армирования фундаментной плиты.

#### **Библиографический список**

1. Петраков, А. А. Определение просадок основания при замачивании просадочных грунтов / А. А. Петраков, В. В. Яркий // Строитель Донбасса. — 2018. — №1 (2). — С. 49–54.
2. Габибов, Ф. Г. Определение напряженного состояния и прогноз просадки просадочного грунтового основания круглого фундамента / Ф. Г. Габибов, Л. А. Алиева. // Строительство и архитектура. — 2016. — № 3. — С. 100–102.
3. Федоров, Д. А. Численное исследование задачи совместного расчета конструкций с основаниями по реализациям в вычислительных комплексах SCAD и «ЛИРА» / Д. А. Федоров, К. Г. Мокляк // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2011 — №12. — С. 97–104.
4. Коляскина, С. А. Исследование влияния вариантов расчета грунтового основания и методов расчета коэффициентов постели на напряженно-деформированное состояние здания / С. А. Коляскина, П. И. Егоров // Ученые заметки ТОГУ. — 2014 — т. 5 — №2. — С. 21–34.
5. Дыба, В. П. Моделирование процесса просадки оснований под ленточными фундаментами / В. П. Дыба, М. П. Ширяева // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. — 2006. — № S12. — С. 18–25.
6. Моделирование грунтового основания динамической модели каркаса здания методом конечных элементов / Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова, В. С. Дороган, А. И. Гриценко // Молодой исследователь Дона. — 2020. — № 4 (25). — С. 72–77.
7. Кравченко, Г. М. Влияние модели основания на напряженно-деформированное состояние фундаментной плиты / Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова, Т. Р. Кубашов // Строительство-2015 : современные проблемы строительства : мат. междунар. науч.-практич. конф. — Ростов-на-Дону. — 2015. — С. 481–483.

*Об авторах:*

**Кравченко Галина Михайловна**, доцент кафедры «Техническая механика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, [galina.907@mail.ru](mailto:galina.907@mail.ru)

**Труфанова Елена Васильевна**, доцент кафедры «Техническая механика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, [El.Trufanova@mail.ru](mailto:El.Trufanova@mail.ru)

**Родионова Анна Борисовна**, ассистент кафедры «Водоснабжение и водоотведение» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [annradik@mail.ru](mailto:annradik@mail.ru)



*About the Authors:*

**Kravchenko, Galina M.**, Associate professor, Department of Technical Mechanics, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), Cand. Sci., Associate professor, [galina.907@mail.ru](mailto:galina.907@mail.ru)

**Trufanova, Elena V.**, Associate professor, Department of Technical Mechanics, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), Cand.Sci., Associate professor, [El.Trufanova@mail.ru](mailto:El.Trufanova@mail.ru)

**Rodionova, Anna B.**, Assistant, Department of Water Supply and Sanitation, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), [annradik@mail.ru](mailto:annradik@mail.ru)