

ОЦЕНКА НА ОПАСНОСТТА ОТ СУФОЗИЯ И СЛЯГАНЕ НА ОСНОВИТЕ НА ХОТЕЛ "МАРИЦА" В ГРАД ПЛОВДИВ ПРИ ОТВОДНЯВАНЕ НА СТРОИТЕЛЕН ИЗКОП

Николай Т. Стоянов, Антонио В. Лаков

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София; nts@mgu.bg; lakov_geot@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Основна цел на изследването е да се оцени опасността от слягане и суфозия под основата на хотелски комплекс "Марица" в гр. Пловдив при отводняването на строителния изкоп за неговото разширяване. За определяне на максималните градиенти на филтрационния поток към укрепения с пилотна стена изкоп е разработен математически 3D модел на нарушеното от действието на водопонижителната система филтрационно поле. Получените моделни решения са използвани за оценка на опасността от суфозия по различни методи и за изчисляване на сляганията под хотела. Направената комплексна оценка показва, че сляганията на земната основа при осушаване на изкопа са в безопасни граници, докато суфозията е потенциален фактор за възникване на неприемливи деформации на фундаментите.

HAZARD OF SETTLEMENT AND SOIL PIPING UNDER THE FOUNDATION OF THE "MARITSA" HOTEL IN PLOVDIV RELATED TO DEWATERING THE EXCAVATION PIT

Nikolay T. Stoyanov, Antonio V. Lakov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; nts@mgu.bg; lakov_geot@mgu.bg

ABSTRACT. The major subject of the study is to estimate the hazard of settlement and soil piping under the foundation of the "Maritsa" hotel in Plovdiv related to pumping from the excavation for new hotel building. A 3D numerical model was developed to estimate the disturbed ground water filtration field and the maximum gradients adjacent to the supporting secant pile wall. The obtained solutions were used in several methods to calculate the piping hazard and the settlement under the hotel. The general evaluation of the hazards revealed that the settlement due to the groundwater drawdown will be within allowable range while the soil piping will be potential factor for development of unacceptable settlement of the foundation.

Въведение

Новото строителство в централната част на град Пловдив се характеризира с нарастващи площи на застрояване и дълбочина на фундиране, които съвместно с инженерногеоложките и хидрогеоложки условия, характеризирани с редуването в геоложкия разрез от разнородности несвързани пясъци и чакъли до свързани глинести и прахови алувиални материали, високи нива на подземните води и сложни хидравлични връзки на водоносния комплекс с р. Марица, определят значително по-широк и усложнен обхват на зоната на взаимодействие между сградите, земната основа и филтрационното поле. Едни от все по-често срещаните се проблеми са предизвикани от необходимостта от укрепване и отводняване на строителните изкопи, както и свързаните с това потенциално опасни процеси, като суфозия и деформиране (слягане) на земната основа не само в границите на строителната площадка, но и в обхвата на реализираната при това депресия, често обхващаща прилежащите застроени територии в радиус до няколко стотин метра. Тук ще отбележим, че ако оценката за опасността от суфозия и прогнозата за развитието на депресионната зона се изискват (макар и несвързани една с друга) съответно съгласно чл. 12 на НППФ-1996 г. и гл. 10 на Еврокод 7 Геотехническо проектиране, както и Наредба 9 на МОСВ, то определянето на сляганията

вследствие на понижаване на водните нива под сгради и съоръжения не се разглежда в нормативните документи у нас. От тази гледна точка, досегашният, до голяма степен емпиричен опит в района, вече е недостатъчен за даване на комплексна оценка за очакваните неблагоприятни въздействия и последствия от осушаване на строителните изкопи, не само по време на строителството, но и при експлоатацията на сградите и съоръженията.

Основна цел на настоящето изследване е да се направи прогноза за слягането и възможната суфозия под основата на хотелски комплекс "Марица" – Пловдив при отводняването на изградения за неговото разширяване строителен изкоп. Изготвянето на прогнозата изисква не само данни за физико-механичните характеристики на основата, но и много добро познаване на максималните градиенти на подземния поток. Това наложи да се разработи и математически тримерен (3D) модел на нарушеното в хода на водоотлива филтрационно поле. Направените изчисления и прогнози са базирани на данни от инженерногеоложките и хидрогеоложки проучвания на обекта, проекта за водопонижение при изкопните работи и изградената пилотна стена за укрепване на откоса на изкопа от страната на хотела (Христозов, 2006; Тодоров, Карчева, 2006 и др.).

Математически 3D модел на нарушеното филтрационно поле

За отводняване на изградения в непосредствена близост до хотелски комплекс "Марица" строителен изкоп от фирма "Водоканалстрой" – Бургас е проектирана и изградена система от дренажни кладенци. При разработването на проекта са ползвани опростени изчислителни схеми и аналитични формули, което стеснява възможностите за прецизно отразяване на конкретната хидрогеоложка и техногенна обстановка и понижава достоверността на прогнозните решения.

Направените предварителни изчисления показаха, че вече изградената водопонизителна система не е в състояние напълно да ограничи водопитока от южната страна на изкопа (от р. Марица) и не би създала необходимото понижение на подземните води под неговото дъно. Същевременно, работният проект не съдържа информация за динамиката на филтрационните процеси и преразпределението на хидравличните напори при отводняване на изкопа, която е крайно необходима за оценка на слягането и възможната суфозия под основата на хотелския комплекс.

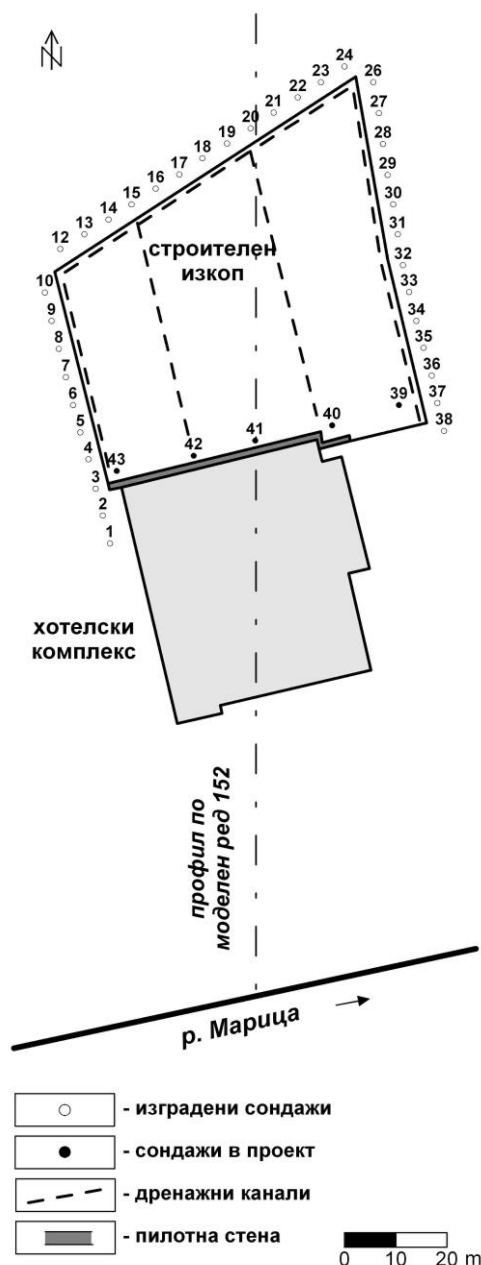
Това мотивира и разработването на математически модел на хидродинамичните условия в обсега на обекта, с който да бъдат решени следните важни задачи:

- оптимизиране на изградената понизителна система;
- моделна 3D симулация на нарушеното от действието на водопонизителната система филтрационно поле;
- детерминиране на пространственото и времево преразпределение на напорите и хидравличните градиенти в района на обекта, с акцент за участъка между строителния изкоп и р. Марица.

При разработването на модела е използвана компютърната програма MODFLOW. Подробности, относно използвания математически апарат в алгоритъма на програмата, както и начинът за работа са подробно описани в литературата (Andersen, 1993; McDonald, Harbaugh, 1988; Стоянов, 2003 и др.).

Концептуален модел

Обект на математическите изследвания е горната част на неоген-кватернерния водоносен комплекс (до дълбочина 30-40 m). Разрезът е представен от пясъци, чакъли и валуни с глинесто-песъчлив запълнител. В по-голямата си част тези материали са добре промити, което определя и голямата водопропускливост на средата. Проводимостта достига до 2000-3000 m²/d, а коефициентът на филтрация е 80-90 m/d. Гравитационното водоотдаване е в диапазона 0.15-0.25, което определя ниски стойности за пиезоподаване. Високата проводимост и ниското пиезоподаване са предпоставка за създаване на ограничени по площ депресии и високи хидравлични градиенти в близост до водопонизителните съоръжения. Това обстоятелство значително затруднява площното понижаване на подземните води да се реализира от малък брой вертикални сондажи, които не покриват (или поне не оконтурват) предвидената за отводняване територия.



Фиг. 1. Местоположение на строителния изкоп, хотелския комплекс и водопонизителните съоръжения

Подземните води са безнапорни и в пряка хидравлична връзка с р. Марица. Реката е главният фактор, контролиращ структурата на подземния поток. Генералната посока на подземния поток следва речното течение (от запад на изток), като средният градиент е около 0.0005. Основното подхранване на подземните води е от р. Марица. В този случай се предполага, че водопитокът в строителния изкоп ще постъпва главно от юг. Притокът ще се ограничава частично от изградената по северната граница на хотелския комплекс пилотна стена. Тя представлява линеен ред от застъпващи се изливни пилоти с диаметър 88 mm, изпълнени до дълбочина 13 m от кота 160. Друга част от подхранването на водоносния комплекс идва от инфилтрация на валежни води. При предпоставката, че 10% от средногодишната сума на валежа (540 mm) отива за подхранване на подземните води, за скоростта на инфилтрация е приета стойността 1.5x10⁻⁴ m/d.

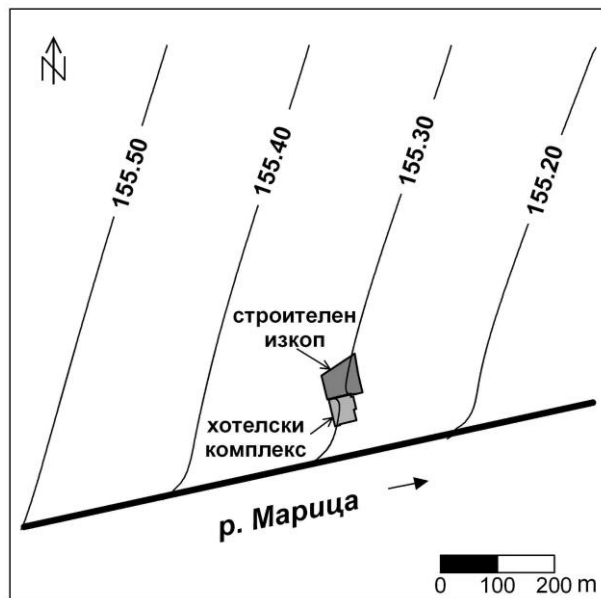
Модел на естественото филтрационно поле

Моделът представлява 3D симулация на структурата на естествения подземен поток. При композирането му са ползвани постановките, изложени в концептуалния модел и програма MODFLOW. Моделът е еднопластов. Площта на моделната област е 1 km². При пространствената дискретизация е използвана неравномерна ортогонална мрежа, която е съгласна в близост до строителния изкоп и до водопонизителните съоръжения (кладенци и дренажи). За характеристиките на моделния пласт са приети стойностите: коефициент на филтрация – 80 m/d; коефициент на водоотдаване – 0.2; средна дебелина на пласта – 30 m. Водоносният комплекс е моделиран като безнапорен. Реката е симулирана като тримерен обект със съответните геометрия на руслото и хидравлични характеристики на речното течение. Зададена е с гранично условие от I род - постоянен напор на кота 155.3 (срещу хотелския комплекс). Регионалният поток е моделиран чрез симулиране на разход по западната и източната граница по схемата GHB. За началното разпределение на напорите са приети такива стойности, при които средният хидравличен градиент е около 0.0005. Инфилтрационното подхранване е зададено като постоянна величина във всички клетки на модела. Пилотната стена по северната граница на хотелския комплекс, която е с дълбочина 13 m от кота 160, е зададена като непроницаема граница. Детерминираната по този начин естествена структура на филтрационното поле е илюстрирана на фиг. 2.

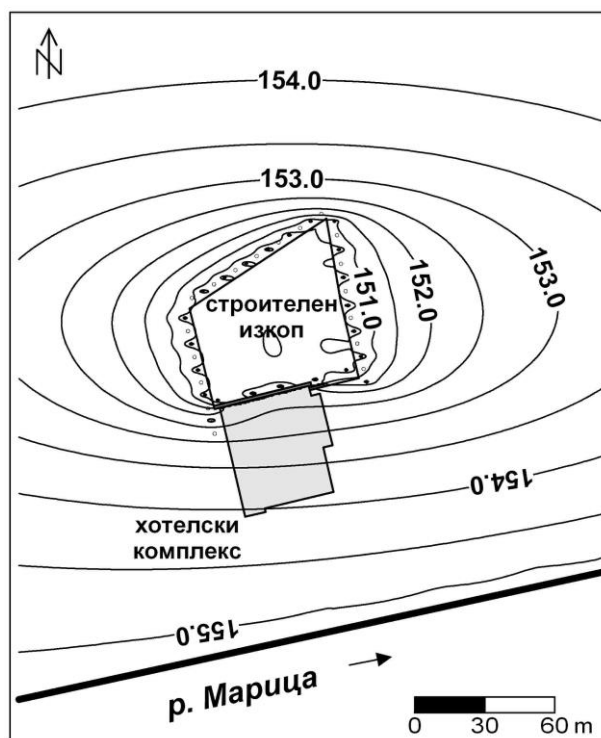
Модел на нарушеното филтрационно поле

За оптимизиране на вече изградената водопонизителна система, включваща 38 дренажни кладенеца с дълбочина 12 m и диаметър на експлоатационната колона 200 mm, посредством математическия 3D модел са проиграни различни варианти за ефективно отводняване на строителния изкоп чрез вариране на вътрешните гранични условия: промени в експлоатационния режим на системата и включване на различни водопонизителни съоръжения – съществуващи и допълнителни кладенци и дренажни канали. Серията от компютърни симулации показва, че системата ще действа ефективно при следната работна хипотеза. Освен съществуващите 38 кладенеца, на 3-4 m от южния борт на изкопа да се изградят 5 нови кладенеца с дълбочина 15 m и диаметър на колоната 400 mm (фиг. 1). През първите 11 дни от експлоатацията на системата ще работят всичките 38 “стари” кладенеца, както и петте новоизградени кладенеца. “Старите” ще работят с единичен дебит 15 l/s, а “новите” с дебит 17.5 l/s. За този период напорите в изкопа ще спаднат до нива на около и под кота 151. Така ще стане възможно на дъното на изкопа да се изкопаят дренажни канали по схемата показана на фиг. 1. Проектната ширина на каналите е 0.8 m, а дълбочината им – на кота 149.5. След включването на хоризонталния дренаж в експлоатация, ще бъдат изключени 18 от “старите” кладенци.

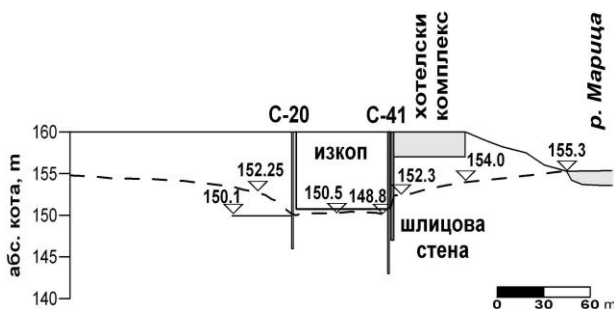
Прогнозните изчисления са направени за период от 12 месеца. Резултатите показват, че желаното понижение на подземните води в строителния изкоп ще се достигне за около 21 дни след включването на водопонизителната система. Тогава се очакват и най-високите хидравлични градиенти под дъното на хотелския комплекс и в непосредствена близост до строителния изкоп.



Фиг. 2. Структура на ненарушеното филтрационното поле



Фиг. 3. Структура на нарушеното филтрационното поле; прогнозно време 21 дни



Фиг. 4. Хидрогеоложки разрез по профила на моделен ред 152.; прогнозно време 21 дни

На фиг. 3 е представено нарушеното филтрационно поле, респ. разпределението на напорите в строителния изкоп и в прилежащите му територии, а на фиг. 4 са илюстрирани и очакваните промени в структурата на подземния поток под хотелския комплекс. Въз основа на направения с модела воден баланс са определени и стойностите на дебита на водопонизителните съоръжения в различните прогнозни периоди (таблица 1).

Таблица 1

Експлоатационни дебити на съоръженията

Водопонизителни съоръжения	Експлоатационен период	
	0-11 дни	11-365 дни
	Дебит на съоръженията в Q, l/s	
“стари” кладенци	540.0	270.0
“нови” кладенци	87.5	75.0
дренажни канали	0.0	283.0

Въз основа на резултатите от получените моделни решения могат да се направят следните по-важни изводи и заключения относно действието и ефективността на оптимизираната водопонизителна система:

- Първите 11 денонощия системата, състояща се от 38 “стари” и 5 “нови” кладенеца, ще работи със сумарен дебит 627.5 l/s, като в края на периода напорът в централната част на изкопа ще бъде на кота 151.2 (с 0.35 m над кота дъно). Моделните симулации показваха, че ако системата продължи да работи в тази конфигурация и при този режим, то напорите в изкопа ще паднат под кота дъно след един много дълъг период, което е много неефективно.
- Впоследствие, когато от системата се изключват 18 “стари” кладенеца и се включат в действие дренажните канали (със дебит 283 l/s), само за 10 дни напорът в центъра на изкопа ще спадне до кота 150.5 (с 0.25 m под кота дъно).

В заключение ще обобщим, че оптимизираната водопонизителна система ще е в състояние да отводи ефективно строителния изкоп за срок от около 3 седмици.

Оценка на възможностите за суфозия по границата между хотелския комплекс и строителния изкоп

Суфозията е процес, свързан с механичното изнасяне на частици, най-вече от несвързани почви, под влияние на филтриращите се през тях подземни води. Нейното възникване на практика се определя от два основни фактора – неблагоприятен зърнометричен състав и свързаната с това порестост на почвите), от една страна и наличие на достатъчно високи скорости (градиенти) на потока на подземните води, от друга. Тяхната взаимна връзка се определя най-често чрез емпирични аналитични или графични зависимости, които за строителната практика у нас не се разглеждат в съответните нормативни документи. Предвид на това, при настоящия анализ ще бъдат използвани известните в практиката зависимости на Замарин (Демирев и др., 1979), Истомина, Избаш (Пенчев и др., 1990) и Козлова (Демирев и др., 1979) за определяне на критичните градиенти на потока в зависимост от пористостта и зърнометричния на почвите в масива.

Съгласно данните от инженерногеоложките проучвания на площадката, разрезът на земната основа включва незакономерно редуване на несвързани почви от едри до чакълести пясъци и дребни чакъли в последователността на тяхното опробване, посочена в табл. 2, където са дадени и основните им зърнаметрични показатели. Този геоложки строеж е установен до дълбочина от около 30 m, до където приемаме, че ще достига зоната на максимално въздействие на строителните и отводнителни работи.

Формула на Замарин

Формулата на Замарин определя критичния градиент за възникване на суфозия в следствие на воден подем, действащ върху частиците на почвата.

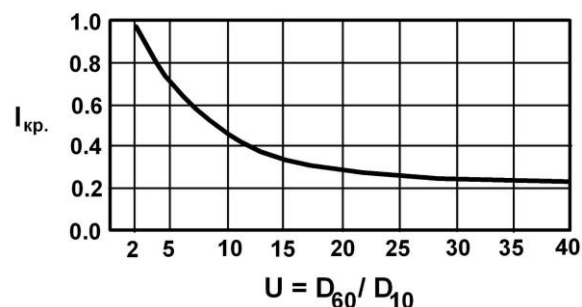
$$I_{кр.} = \frac{(\gamma_s - \gamma_w)(1-n)}{\gamma_w} + 0.5n, \quad (1)$$

където: γ_s и γ_w – съответно специфичното тегло на почвените частици и обемното тегло на водата, n – общата порестост на почвата. В случая е прието, че $\gamma_s = 27.0 \text{ kN/m}^3$ и $\gamma_w = 10.0 \text{ kN/m}^3$. Същевременно, общата порестост за подобен тип несвързани материали е $n = 0.25 \div 0.30$.

Получените по този начин стойности на критичните градиенти възлизат на $I_{кр.} = 1.34 \div 1.40$.

Зависимост на Истомина

Зависимостта на Истомина свързва критичния градиент $I_{кр.}$ с коефициента на разноръзност на почвата $U = D_{60}/D_{10}$ и е представена на фиг. 5. Параметрите на зърнометричния състав на пясъците и чакълите, определени за строителната площадка са дадени в таблица 2.



Фиг. 5. Зависимост на Истомина $I_{кр.} = f(U)$

Таблица 2

Критични скорости и градиенти за суфозионно изнасяне между контактуващите си материали (по Истомина)

Проба лаб. №	Наименование по БДС	D ₆₀ , mm	D ₁₀ , mm	U = D ₆₀ /D ₁₀	I _{кр.}
5604	Едър пясък	0.63	0.19	3.30	≈0.80
5605	Чакълест пясък	1.30	0.34	3.80	≈0.75
5606	Чакълест пясък	1.70	0.16	10.60	≈0.45
5607	Дребен чакъл	3.70	0.16	23.10	≈0.32

В табл. 2 са представени и определените критични градиенти по графиката на Истомина, които са в границите $I_{кр.} \approx 0.32 \div 0.80$.

Формула на Козлова

Формулата на Козлова определя критичната скорост за възникване на контактна суфозия между пластове с различна зърнометрия и проникваемост.

$$v_{кр} = 0.26d_{60}^2 \left[1 + 1000 \left(\frac{d_{60}}{D_{60}} \right)^2 \right], \quad (2)$$

където: d_{60} и D_{60} са диаметрите на частиците от двата пласта, съответстващи на 60% съдържание.

Формула (2) е валидна за стойности на d_{60} от 0.088 mm до 0.5 mm и за D_{60} от 2.0 mm до 5.0 mm. Предвид на посочения по-горе зърнометричен състав на почвите, използването на формулата е допустимо за площадката. В табл. 3 са посочени получените стойности на критичните скорости за суфозионно изнасяне между контактуващите си материали, в последователността на тяхното залягане отгоре надолу. От тях, по закона на Дарси са изчислени и критичните градиенти при среден коефициент на филтрация $k = 80 \text{ m/d}$.

Таблица 3

Критични скорости и градиенти за суфозионно изнасяне между контактуващите си материали (по Козлова)

Проба №	Наименование по БДС	D_{60} , mm	D_{10} , mm	$V_{кр.}$, m/d	$I_{кр.}$
5604	Едър пясък	0.63	0.19	-	-
5605	Чакълест пясък	1.30	0.34	181	2.30
5606	Чакълест пясък	1.70	0.16	1064	13.30
5607	Дребен чакъл	3.70	0.16	16	0.21

Посочените в таблица 3 градиенти се отнасят за границите между отделните пластове. Високите стойности на критичния градиент ($I_{кр.} > 1.0$) на практика съответстват на физически невъзможна суфозия на по-едрозърнест материал към по-дребнозърнест. В този смисъл, основната опасност е възникването на механичен масопренос в зоните на контакт между пясъчливите разновидности и по-едрозърнестите чакълести отложения.

Определяне на максималните прогнозни градиенти в зоната на строителния изкоп

За определянето на максималните градиенти на потока е използвано прогнозираното с математическия 3D модел разпределение на напорите при достигнати максимални понижения в строителния изкоп (фиг. 3 и 4). При тези условия максималните разлики в напорите в района на пилотната стена са $\Delta H = 152.3 - 148.8 = 3.5 \text{ m}$. При кота на долен ръб пилоти 147.0 и диаметър $\Phi 800 \text{ mm}$, за пътя на филтрация под стената ΔL и за градиента на потока I се получават следните стойности:

$$\Delta L = (152.3 - 147.0) + 2.0 + (148.8 - 147.0) = 9.1 \text{ m}$$

$$I = 3.5/9.1 = 0.38$$

Аналогично, за срещуположната стена на изкопа се получава:

$$\Delta H = 152.25 - 150.1 = 2.15 \text{ m}$$

$$\Delta L = (130.5 - 149.5) = 19.0 \text{ m}$$

$$I = 2.15/19 = 0.11.$$

На базата на сравнение на получените стойности за $I_{кр.}$ по отделните методики и действителните градиенти на потока при водопонижение в строителния изкоп, опасността от суфозия е оценена качествено в табл. 4. От нея се вижда, че на такава опасност са изложени главно материалите в зоната на пилотната стена и северния ръб на хотелската сграда на дълбочина над 7-8 m от терена.

Таблица 4

Оценка на опасността от суфозия

Проба №	Наименование по БДС	Опасност от суфозия спрямо $I_{кр.}$		
		Замарин	Истомина	Козлова
5604	Едър пясък	не	не	не
5605	Чакълест пясък	не	не	не
5606	Чакълест пясък	не	не	да
5607	Дребен чакъл	не	да	да

Определяне на слягането на седиментите, изграждащи геоложката основа на хотелски комплекс "Марица"

Влиянието на понижаването на нивата на подземните води в основата на хотелския комплекс е свързано с понижаване на поровото налягане във водонаситените пясъци и чакли, което от своя страна води до повишаване на ефективните натоварвания върху почвения скелет. Тъй като земната основа под хотела в настоящото си състояние отдавна е консолидирала под неговия товар, осушаването на части от нея ще промени напрегнатото състояние под фундаментите, като ефективните нормални напрежения $\Delta \sigma$ ще нараснат с големината на изменението (намалението) на напорите в пласта и допълнителните слягания Δs ще бъдат съответно:

$$\Delta \sigma = \Delta u = \Delta H \cdot \gamma_w, \quad (3)$$

$$\Delta s = \frac{\Delta u}{E_0} \Delta m, \quad (4)$$

където: ΔH – максимално понижение на водните нива под хотела; E_0 – модул на обща линейна деформация на почвените пластове; Δm – слегаемата дебелина на пластовете от земната основа.

Максималното понижение на водните нива се определя от разликата в котата преди водочерпенето и в крайния му етап, т.е.:

$$\Delta H = 155.09 - 152.3 = 2.79 \text{ m}.$$

По данни от проведеното инженерногеоложко проучване стойността на E_0 за материалите от зоната на фундаменти е $E_0 = 20 \text{ MPa}$.

Приема се, че слегаемата дебелина на пластовете от земната основа съвпада с дебелината на силнопроводящите чакъли и пясъци. По архивни данни дебелина им в района на хотела е до 30 m от терена. При кота на нивото на подземните води преди водочерпенето 155.09 m (при кота терен 160.00), слегаемата дебелина на чакълите и пясъците е $\Delta m \approx 25.0 \text{ m}$.

Получената стойност за максималните слягания по формула (4) е:

$$\Delta s = \frac{3.5 \times 10}{20000} \times 25 = 0.035 \text{ m}$$

По аналогичен начин определяме слягането и под южния ръб на хотела:

$$\Delta s = \frac{(155.09 \times 154.00) \times 10}{20000} \times 25 = 0.0136 \text{ m}$$

При ширина на сградата хотела около 50 m, за наклоняването в напречна посока I се получава:

$$I = (0.035 - 0.0136) / 50 = 0.004$$

Предвид на характера на материалите от земната основа се очаква тези слягания да настъпят на практика веднага след постигане на пониженията в нивата.

Съгласно посочените в НППФ-1996 гранично-допустими премествания на фундаменти, получените стойности за слягания и наклоняване няма да са опасни за сградата.

Заклучение

Основно заключение от разглеждания случай е, че насочеността на провежданите обичайни инженерногеоложки и хидрогеоложки проучвания е главно към определяне носимоспособността на земната основа на площадката, което не дава достатъчно подробни изходни данни за комплексна оценка и прогноза за:

- ефективността на отводнителните системи и развитието на депресията във времето и пространството;
- вероятността от възникване, пространствения обхват и интензивност в дълбочина на суфозията;
- свързаните с това процеси на разуплътняване и нарушаване на структурата на несвързаните почви под съществуващите сгради;
- измененията на деформационните и якостни характеристики на почвите от земната основа и тяхното поведение при сложното напрегнато състояние, на което ще са подложени.

В тази връзка, се препоръчва наред с обичайните проучвания за строителство в района и по време на самото строителство и експлоатация на сградите и

съоръженията да се извършват и следните специализирани изследвания и наблюдения:

- (1) Моделна оценка на обхвата на зоната на влияние на строителното и/или експлоатационно водочерпене за осушаване на строителните изкопи, включително и влиянието на съществуващи или проектни сгради и укрепителни съоръжения.
- (2) Систематично и подробно опробване на почвите в зоните на очаквани максимални градиенти на подземните води, с цел определяне на показателите, характеризиращи податливостта им към суфозия.
- (3) In-situ определяне на степента на сбитост, деформационните модули и недренираните якостни характеристики на почвите, главно чрез пенетрационни изследвания (тип SPT и др.).
- (4) Изграждане в застрашените зони на мониторингови сондажи с цел наблюдение на скоростта на развитие на депресията в пространството и времето.
- (5) Постоянно контролиране на дебитите на водочерпене, с оглед осигуряване на плавно и безопасно развитие на депресията.
- (6) Геодезични наблюдения на съществуващите в съседство застрашени сгради и съоръжения с цел установяване на недопустими слягания в основите.

Литература

- Демирев, А., Л. Илиева. 1979. *Грунтознание*. С., Техника, 401 с.
- Еврокод 7: Геотехническо проектиране, юни 1999 г.
- Пенчев, П., С. Борисов, Б. Великов, А. Лаков, К. Спасов. 1999. *Хидрогеология и основи на инженерната геология*. С., Техника, 342 с.
- Пенчев, П., Ч. Гюров, Н. Стоянов, С. Ковачев. 2000. *Съставяне и издаване на "Хидрогеоложка карта на България, М 1:500000" с обяснителна записка (на основата на ГИС)*. ХИДРОКОМП ЕООД.
- Сантурджиян, О. 2000. *Генерални схеми за използване на водите в районите за басейново управление*, БАН и Институт по водни проблеми.
- Стоянов, Н. 2003. *Оценка и прогнозиране на замърсяването на подземните води от депа за твърди битови отпадъци*. Дисертация. С., МГУ "Св. Иван Рилски", 215 с.
- Тодоров, А., В. Карчева. 2006. *Обект: УПИ II – обществено обслужване, хотел от квартал 546, V-та градска част, гр. Пловдив*. Подобект: Водопонижение при изкопни работи.
- Христозов, Х. 2006. *УПИ II – обществено обслужване, хотел от квартал 546, V-та градска част, гр. Пловдив*. Част. Инженерногеоложко проучване.
- Andersen, P. F. 1993. A manual of instructional problems for the MODFLOW model. – In: *Center for Subsurface Modeling Support*. EPA 600/R-93/010.
- McDonald, J. M., A. W. Harbaugh. 1988. A modular three-dimensional finite-difference flow model. – In: *Techniques of Water Resources Investigations of the USGS*. Book 6. 586 p.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Хидрогеология и инженерна геология", ГПФ