

УДК 624.131.6:69.059.2

АНАЛИЗ ПРИЧИН «ТОПОЛИНОЙ» КАТАСТРОФЫ И МЕРЫ, ИСКЛЮЧАЮЩИЕ ПОДОБНЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ (К 20-ЛЕТИЮ КАТАСТРОФЫ) (ЧАСТЬ 1)

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, д. т. н., проф.,
МОТОРНИЙ Н. А.², к. т. н., доц.

¹Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепр, 49600, Украина, тел. +38 (05-62) 745-23-72, e-mail: press.pgasa@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

²Кафедра оснований и фундаментов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепр, 49600, Украина, тел. +38 (05-62) 756-33-43, e-mail: A.motorchik@i.ua

Аннотация. Представлена историческая справка о формировании Днепропетровским городским советом нового микрорайона – Тополь. Выполнен анализ материалов изысканий для строительства новых жилмассивов Тополь-1, Тополь-2, Тополь-3. Проанализированы инженерно-геологические и гидрогеологические условия территории под застройку жилого массива Тополь-1. Даны обоснования предложенных вариантов фундаментов строящихся жилых домов, объектов соцкультбыта, представленных проектной организацией ГПИ «Укрспецстройпроект». Проанализированы проектные решения фундаментов жилого комплекса ЮМЗ вдоль ул. Запорожское шоссе. Раскрыты причины вынужденной замены предложенного варианта свайного фундамента под запроектированный ГПИ «ГИПРОГРАД», жилой комплекс на другой вариант фундаментов на искусственном основании, после перевода площадки строительства из второго типа в первый тип грунтовых условий по просадочности.

Дано краткое обоснование начала проявления подтопленности уже эксплуатируемой жилой застройки при выполнении предварительного замачивания территории под жилой комплекс ЮМЗ. Раскрыта причина проявления запредельных деформаций оснований, фундаментов и конструкций самых легких зданий дошкольных детских учреждений, эксплуатируемых еще до выполнения предварительного замачивания территории жилого комплекса ЮМЗ. Обосновано проявление суффозионных процессов на территории жилого массива Тополь-1, связанных с проявлением разгрузки подземных вод и повышения напорного градиента, разуплотнения и ослабления грунтов второго склона балки Встречная. Раскрыта причина гидравлического прорыва разрушенного второго склона балки Встречная и его последствия. Указаны ошибки при предложении ГП «ДнепроНИИСП» принять в производство вариант предварительного замачивания верхней территории, готовящейся под строительство жилого комплекса ЮМЗ. Приведены материальные и моральный ущербы проявившейся катастрофы жилого массива Тополь-1 и материальные и моральные потери на Приднепровской железной дороге.

Представлены общие выводы экспертной комиссии и отдельное мнение члена экспертной комиссии, автора данной статьи Н. А. Моторного.

Ключевые слова: предварительное замачивание; водонасыщенный грунт; подтопление территории; напорный градиент; разгрузка подземных вод; коэффициент фильтрации; суффозионный процесс; корневая система; ослабленный склон; гидравлический прорыв

АНАЛІЗ ПРИЧИН «ТОПОЛИНОЇ» КАТАСТРОФИ ТА ЗАХОДИ, ЩО ВИКЛЮЧАЮТЬ ПОДІБНІ ЯВИЩА ПІД ЧАС ПРОЕКТУВАННЯ І СПОРУДЖЕННЯ БУДІВЕЛЬ НА ПРОСАДНИХ ГРУНТАХ (ДО 20-РІЧЧЯ КАТАСТРОФИ) (ЧАСТИНА 1)

БОЛЬШАКОВ В. І.¹, д. т. н., проф.,
МОТОРНИЙ М. А.², к. т. н., доц.

¹Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (05-62) 745-23-72, e-mail: press.pgasa@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

²Кафедра основ і фундаментів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (05-62) 756-33-43, e-mail: A.motorchik@i.ua

Анотація. Наведено історичну довідку про формування Дніпропетровською міською радою нового микрорайону – Тополя. Виконано аналіз матеріалів вишукувань для будівництва нових житлових масивів Тополя-1, Тополя-2, Тополя-3. Проаналізовано інженерно-геологічні та гідрогеологічні умови масиву під забудову житлового масиву Тополя-1. Дано обґрунтування запропонованих варіантів фундаментів споруджуваних житлових будинків, об'єктів соціальної інфраструктури, представлених проектною організацією

ДП «Укрспецбудпроект». Проаналізовано проектні рішення фундаментів житлового комплексу «Південмаш» уздовж вул. Запорізьке шосе. Розкрито причини вимушеної заміни запропонованого варіанта пального фундаменту під запроєктований ДП «ДІПРОМІСТО» житловий комплекс на інший варіант фундаментів на штучній основі після переведення майданчика будівництва з другого типу в перший тип ґрунтових умов щодо просідання.

Дано коротке обґрунтування початку прояву підтоплення вже експлуатованої житлової забудови під час виконання попереднього замочування території під житловий комплекс «Південмаш». Розкрито причини прояву позамежних деформацій основ, фундаментів і конструкцій найлегших будівель дошкільних дитячих установ, експлуатованих ще до виконання попереднього замочування території житлового комплексу «Південмаш». Обґрунтовано прояв суфозійних процесів на території житлового масиву Тополя-1, пов'язаних із проявом розвантаження підземних вод і підвищення напірного градієнта, розушільнення і ослаблення ґрунтів другого схилу балки Зустрічна. Розкрито причину гідравлічного прориву зруйнованого другого схилу балки Зустрічна і його наслідки. Зазначено помилки під час пропозиції ДП «ДніпроНДІБВ» прийняти у виробництво варіант попереднього замочування верхньої території, що готується під будівництво житлового комплексу «Південмаш». Наведено матеріальні і моральні збитки від катастрофи житлового масиву Тополя-1 і на Придніпровській залізниці.

Надано загальні висновки експертної комісії та окрему думку її члена, автора даної статті М. А. Моторного.

Ключові слова: попереднє замочування; водонасичений ґрунт; підтоплення території; напірний градієнт; розвантаження підземних вод; коефіцієнт фільтрації; суфозійний процес; коренева система; ослаблений схил; гідравлічний прорив

REASONS ANALYSIS OF THE «TOPOLINA» CATASTROPHE AND ACTIVITIES, EXCLUDING DESIGNING SIMILAR PHENOMENA OF BUILDINGS ON COLLAPSIBLE SOILS (TO THE 20TH ANNIVERSARY OF DISASTER) (PART 1)

BOLSHAKOV V. I.¹, *Dr. Sc., Prof.*,

MOTORNYI N. A.², *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*

¹Department of Materials and Materials Processing, State Higher Educational Establishment “Prydniprov’ska State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, phone: +38 (05-62) 745-23-72, e-mail: press.pgasa@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

²Department of Basements and Foundations, State Higher Educational Establishment “Prydniprov’ska State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, phone: +38 (05-62) 756-33-43, e-mail: A.motorchik@i.ua

Abstract. It is presented historical information about the formation of the Dnepropetrovsk city council a new neighborhood – Topol. The analysis of survey materials for the construction of new residential community Topol-1, Topol-2, Topol-3 was made. Geotechnical and hydrogeological conditions of the area for construction of housing estate Topol-1 were analyzed. The justification of the offered variants of the residential houses foundations under construction, social and cultural objects, submitted by project organization SPI “Ukrspetsstroyproekt” are given. We analyzed the design decisions UMZ residential complex foundations along the Zaporozhskoe shosse street. It was disclosed forced replacement of the proposed variant of pile foundation under the projected SPI “Giprograd”, housing estate on another version of foundations on the artificial basis after the transfer of the construction site from the second type to the first type of ground conditions by subsidence.

It is given a brief justification of the flooding onset of the already exploited residential construction during the preliminary soaking of the territory for the residential complex UMZ. It is also revealed the reason for the occurrence of supranational deformations of the basements, foundations and structures of the lightest buildings of pre-school children's institutions, which are in operation before the preliminary soaking of the UMZ residential complex territory. The suffusion processes occurrence on the territory of the Topol-1 residential area, connected with the unloading occurrence of groundwater and increasing of the pressure gradient, decompaction and weakening of the soils of the second slope of the Vstrechnaya beam is substantiated. The cause of the hydraulic breakthrough of the destroyed second slope of the Vstrechnaya beam and the consequences that follow from this was disclosed. It is shown errors in purpose of SE “DneproNIISP” taking into production version of pre-soaking the upper area preparing for the construction of residential complex UMZ. The material and moral damage of the occurred catastrophe of a housing estate Topol-1 and the existing material and moral losses on the Dnieper railway are presented.

It is presented the general conclusions of the expert committee and a separate opinion of the expert committee member, the author of this article N. A. Motorny.

Keywords: pre-soaking; water saturated soil; flooding areas; the pressure gradient; the groundwater discharge; filtration coefficient; suffusion processes; the root system; weakened slope; hydraulic breakthrough

Введение. В первой части статьи раскрыта история формирования территории жилмассивов Тополь-1, 2, 3, а также первые проектные решения оснований и фундаментов строящихся жилых домов и объектов СКБ согласно действовавшим нормативным документам на период проектирования и строительства. Изложена последовательность формирования территории под строительство жилого комплекса ЮМЗ, выбор возможных вынужденных вариантов оснований и фундаментов будущего жилого комплекса, схема перевода строительной площадки второго типа грунтовых условий по просадочности в первый тип. Раскрыта причина деформаций конструкций детских дошкольных учреждений и отношение к проявившимся деформациям администрации города дальнейшее обводнение территории уже застроенного жилмассива; глобальное обводнение территории застроенной части жилмассива Тополь-1; проявление суффозионных процессов при формировании разгрузки подземных вод у подножья склона.

Во второй части раскрываются причины проявления суффозионных процессов и их влияния на ослабление склона, антропогенные причины ослабления склона, проявления прорыва ослабленного склона и полного разрушения дома № 22 по ул. Паникахи и детских дошкольных учреждений. Изложены результаты работы государственной комиссии по установлению причин разрушительной катастрофы и материальный и моральный ущерб от данной катастрофы.

Начало проявления суффозионных процессов. Превышение инфильтрации утечек из водонесущих коммуникаций над разгрузкой привело к подъему уровня подземных вод (к подтоплению), увеличению напорного градиента, увеличению коэффициента фильтрации и проявлению суффозионных процессов в ослабленном массиве склона балки Встречная. Суффозионные процессы в первую очередь начали проявляться в местах, свободных от дополнительной пригрузки склона гражданскими зданиями и сооружениями, (одно-, двухэтажными зданиями дошкольных детских

учреждений и школ). В этих местах пригрузка склона ($\sigma_{zq} + \sigma_{zp}$) < H – напорного градиента, что привело к вертикальному выносу мелких частиц грунта водой – наружная суффозия, вследствие чего нижняя часть склона (без дополнительной пригрузки $\sigma_{zp} = 0$) и приграничная часть, где $\sigma_{zq} < H$ – район расположения детских дошкольных учреждений и школы – подвергались усиленному суффозионному процессу, повышению пористости грунта, увеличению притока инфильтрационных вод, полному обводнению, снижению прочностных характеристик грунта, образующего склон, и в целом ослаблению склона.

Естественным источником, обеспечивающим устойчивость склона, ослабленного проявляющимися суффозионными процессами, являлась мощная корневая система насаждений декоративных деревьев и одерновка территории многолетними травами и кустарниками, что тоже в какой-то мере компенсировало ослабление склона. В таком природном «равновесии» территория эксплуатировалась до мая – начала июня 1997 года (10 лет после «первого звонка»). За эти 10 лет городские коммунальные службы дополнительных мероприятий по снижению ослабления склона, из-за отсутствия средств, не проводили. Руководство коммунальным хозяйством Бабушкинского района не смогло оценить надвигающуюся катастрофу. Территория жилмассива Тополь-1 оказалась полностью обводнена, а на пониженных участках, например, школьная спортивная площадка и детские дошкольные учреждения, развились суффозионные процессы (вертикальный вынос мелких частиц), сформировавшиеся напором воды.

Толчком для проявления разрушительных процессов на территории склона балки Встречная явился бытовой тампонаж канализационного коллектора, проходящего по устью нижней части склона, в результате которого все сточные воды обратным ходом начали поступать по канализационным трубопроводам в прилегающие к устью склона домам, затапливая подвалы, первые этажи сточными водами. Горводоканалу было дано указание: Срочно отыскать за-

тампонируемый участок коллектора, достать, отрезать этот участок коллектора и вставить новый. Это задание выполнялось по разработанной коммунальщиками Бабушкинского района схеме.

Техническими средствами были полностью уничтожены деревья с мощной корневой системой, которая удерживала склон. Разрушены кустарники и одернованная по-

верхность склона в пределах предполагаемого участка затампонируемого коллектора. Открыт чрезмерно большой котлован по простирацию. Отрезан затампонируемый участок коллектора. Вставлен и приварен новый участок трубопровода.

Это произошло 05.06.1997 г. в 20 часов 30 минут.



Проявления суффозии и гидравлического прорыва склона. Совершенно случайно первые разрушительные процессы увидел житель кооперативного дома № 22, проживавший на 9-м этаже. С торцевой лоджии он увидел трещины, оползни, распространяющиеся от детских садов № 320 и № 356 в направлении к дому № 22. Он тут же позвонил в пожарную часть и сообщил дежурному всё, что увидел в данный момент с высоты «птичьего полета». Через 12–15 минут приехала де-

журная пожарная часть и началась эвакуация жителей дома № 22. К пяти часам утра 06.06.1997 г. эвакуация закончилась (с 9-го до 2-го этажа), первый этаж был не заселен. За счет крена здания дома № 22 входные бронированные двери заклинило, а через металлические решетки на окнах войти или выйти из помещений первого этажа не представлялось возможным. Эвакуированных с их «пожитками» разместили на свободной лужайке недалеко от проезжей ча-

сти ул. Паникахи (с противоположного торца дома № 20).

Тем временем штаб Гражданской обороны под руководством начальника штаба ГО Днепропетровской области полковника Грищенко Григория Кузьмича отключил все инженерные коммуникации жилмассива Тополь-1 (водопровод, водоотвод, горячее водоснабжение, газо-, электроснабжение). Жильцы жилмассива Тополь-1 лишились возможности нормального проживания в квартирах.

Но вернемся к началу катастрофы.

Окончив восстановление коллектора, бригада рабочих, отработав полторы смены без перерыва на обед, в 20:30 уехала по домам. На ослабленном котлованом нижнем склоне балки Встречная в связи со снятием пригрузки от собственного веса грунта котлована, вырубки насаждений и разрушения их корневой системы, кустарников и одерновки, произошло местное ослабление склона (увеличение: суффозионных процессов, пористости грунта, коэффициента фильтрации, снижение прочностных характеристик грунта), в результате чего под напором воды высотой $H = 30$ м, давлением $P = 300$ кПа произошел гидравлический прорыв ослабленного склона.

Скопившаяся вода с большой скоростью выбила «пробку» в ослабленном склоне и начала, интенсивно размывая прорванный участок склона, разрушать «борта» сформированного подземного «тоннеля», перемещаясь от здания детских дошкольных учреждений в направлении к жилому дому № 22, что и зафиксировал житель 9-го этажа дома № 22. Вода размывала и вынесла турбулентным потоком в разлившийся водный бассейн, заполнявший балку Встречная грунт из – под искусственного основания (грунтовой подушки дома № 22). Дом накренился, грунтовая подушка «прогнулась» и разрушилась, а одновременно с разрушением грунтовой подушки по деформационному шву отделилась первая секция дома (жильцов уже эвакуировали) и обрушилась в водный бассейн. Конструкции первой секции дома № 22, подхваченные водным потоком, бы-

ли унесены в сформировавшийся водный бассейн в балку Встречная. Через пять минут такое же участие постигло и секцию № 2.

Из школы № 99, расположенной на расстоянии 50–60 м от разрушенного жилого дома, начали выносить все ценное оборудование.

Собравшиеся специалисты на заказном вертолете два раза облетели не имеющий доступа участок. На втором витке здание школы № 99 со вспомогательные пристройки, и детское дошкольное учреждение № 320.

К 12:30 06 июня из Киева приехал Председатель комитета «Госнадзорхрантруда» Ткачук Станислав Порфирьевич, назначенный Кабинетом Министров Украины Председателем экспертной комиссии по расследованию причин чрезвычайной ситуации. Были сформированы группы для проверки технической документации на построенные и строящиеся жилые и общественные здания и сооружения.

За период работы в экспертной комиссии Н. А. Моторный проанализировал:

1. Инженерно-геологические условия территории жилмассива Тополь-1.

2. Изменение гидрогеологических условий за отдельные этапы эксплуатации и строительства новых (вдоль ул. Запорожское шоссе) жилых зданий и сооружений.

3. Изменение влажностного режима территории жилмассива Тополь-1 в результате перевода площадки из второго типа грунтовых условий по просадочности в первый.

4. Начало проявления разгрузки подземных вод.

5. Влияние разгрузки на изменение физико-механических характеристик обводненных грунтов территории жилмассива Тополь-1.

6. Начало проявления суффозионных процессов.

7. Влияние суффозионных процессов на изменение физических и механических характеристик грунтов территории жилмассива Тополь-1 (изменение пористости

грунта, изменение напорного градиента, фильтрации).

8. Объем воды, скопившейся в результате превышения инфильтрации утечек из водонесущих коммуникаций в грунт над разгрузкой на территории жилмассива Тополь-1.

9. Влияние разгрузки грунтовой толщи от скопившейся в грунтовом массиве воды на эксплуатационную надежность существующих жилых и общественных зданий жилмассива Тополь-1.

10. Возможны ли повторные проявления аналогичных чрезвычайных ситуаций на уцелевшей от гидравлического прорыва территории жилмассива Тополь-1.

11. Назначение первоочередных инженерных мероприятий по приведению жилмассива Тополь-1 в нормальные условия эксплуатации.

Изменение гидрогеологических условий жилмассива Тополь-1 за отдельные этапы эксплуатации и строительства новых жилых зданий и сооружений:

а) За период эксплуатации построенных и эксплуатируемых зданий с 1972 по 1982 год.

Согласно нормативным данным для зоны Украины средний подъем подземных вод составляет 0,3 м/год. За 10 лет эксплуатации подъем уровня подземных вод составит 3,0 м.

б) За период эксплуатации зданий и сооружений жилмассива Тополь-1, с 1982 г. (начало предварительного замачивания строительной площадки под строительство жилищного комплекса ЮМЗ) по март 1987 г. уровень подземных вод поднялся на 12,0 м и составил скорость подтопления $T' = 2,4$ м/год. Это не вписывается ни в какие нормативные документы Госстроя СССР и подтверждает, что за этот пятилетний период началось и продолжалось глобальное подтопление территории жилмассива Тополь-1, причиной которого является предварительное замачивание лессовой просадочной толщи при переводе строительной площадки из второго типа грунтовых условий по просадочности в первый тип, замачивание ниже по склону эксплуатируемой территории под

жилой застройкой, проявление просадки лессовой просадочной толщи под жилыми и гражданскими зданиями и их водонесущими коммуникациями, деформаций водонесущих коммуникаций, инфильтрация утечек воды из продеформированных водонесущих коммуникаций.

За счет повышения уровня подземных вод, увеличения напорного градиента, увеличения коэффициента фильтрации в направлении вниз по склону напор воды преодолел начальный напорный градиент по этому направлению, из-за чего проявилась в полном объеме (растекание профильтрованных утечек воды с выходом ее в подножье склона (в тальвег балки Встречная), откуда и началась разгрузка подземных вод с территории жилмассива Тополь-1.

в) Далее продолжалась инфильтрация утечек из продеформированных водонесущих коммуникаций и подтопления территорий жилмассива Тополь-1 и на начало июня уровень подземных на эксплуатируемой территории жилмассива Тополь-1 поднялся, начиная с 1987 г. по 1997 г. на 15 м, со скоростью подтопления составляющей 1,5 м/год.

Снижение скорости подтопления с 2,4 до 1,5 м/год стало возможным за счет разгрузки подземных вод у подножья (тальвега балки) склона, которая на протяжении всего участка (ул. Джинжарадзе – ул. Паникахи) составляла $\Delta h = 0,9$ м/год. В связи с тем, что поступление утечек из водонесущих коммуникаций в грунт превышало объем разгрузки в среднем на 1,5 м/год, продолжалось подтопление территории. Начались суффозионные явления у подножья склона.

Все эти процессы поочередно и одновременно привели к увеличению разгрузки уже деформированного грунта по территории жилмассива Тополь-1 и снижению разности подтопления территории над ее разгрузкой, что могло бы привести, при соответствующих условиях, к равновесному состоянию инфильтрации утечек из водонесущих коммуникаций в грунт и процесса разгрузки с соответствующим ослаблением (продеформированного грунта)

склона балки Встречная на всем его протяжении от Запорожского шоссе до (подножья) тальвега балки Встречная со всевозможными при этом последствиями. Но, как было указано выше, случай бытовой кольматации канализационного коллектора ускорил разрушение склона с гидравлическим прорывом ослабленного восстановительными работами по возвращению коллектора в рабочее состояние.

Результаты работы экспертной комиссии по выяснению причин проявления техногенной катастрофы с полным разрушением девятиэтажного кооперативного жилого дома по ул. Паникахи, 22 жилмассива Тополь-1 в г. Днепропетровске показали следующее:

1. Эксплуатация жилого фонда жилмассива Тополь-1 началась с 1972 года с приемом в эксплуатацию первого девятиэтажного жилого дома, состоявшимся в канун 55 годовщины Октября.

2. Застройка жилмассива велась от устья балки Встречная (второго склона) в направлении ул. Запорожское шоссе.

3. Генпроектировщиком Госстроем УССР был назначен нынешний ГП ПИ «Днепрогражданпроект», как субподрядные проектные организации привлекались ГПИ «Днепровский проектный институт» (ДПИ), ГПИ «Укрспецстройпроект», «Минмонтажспецстрой», ГПИ «Приднепровский Промстройпроект» Союзметаллургстройпроекта Госстроя СССР и другие.

4. Генподрядной организацией по строительству жилмассива Тополь-1 выступал Комбинат «Днепротяжстрой» Минтяжстроя УССР, со всеми входящими в комбинат ДТС трестами и управлениями.

5. Заказчиком по строительству выступало Управление капитального строительства Горисполкома г. Днепропетровска.

6. До 1982 г. строительство велось согласно Генеральному плану застройки комплекса жилмассива Тополь-1.

Резервная полоса территории вдоль ул. Запорожское шоссе была задействована с 1982 г. и передана ОКСУ Южного машиностроительного завода (ЮМЗ) из расчета выполнить застройку выделенной «поло-

сы» высотными домами улучшенной планировки со сдачей комплекса застройки в эксплуатацию в 1986 г.

Все работы по проектированию комплекса зданий жилого фонда ЮМЗ выполнялись согласно календарному плану, проблем не возникало. ГПИ «Гипроград», согласно графику, выдал техническую документацию наземной части будущего жилого комплекса, ГПИ «Укрспецстройпроект» выдал документацию на устройство подземной части комплекса жилых зданий – свайные фундаменты из забивных железобетонных составных свай из трех секций С_н-12-35, С_с-10-35 и С_в-8-35 с соблюдением требований нормативных документов действующих на период проектирования и строительства.

Первые проблемы к началу строительства жилого комплекса возникли в комбинате «Днепротяжстрой». При расчете объемов строительных конструкций и изделий, необходимых для возведения жилого комплекса, оказалось, что для варианта свайных фундаментов из составных забивных железобетонных свай необходимо 55 000 м³ свай при мощностях строительной индустрии г. Днепропетровск и области, составляющих 5 000 м³ свай в год (для выполнения работ нулевого цикла при условии, что все выпускаемые заводами сваи будут использованы только для жилого комплекса ЮМЗ, потребуется T = 11 лет?! Тогда как сроки ввода в эксплуатацию жилого комплекса ЮМЗ, назначенные Министерством обороны СССР, составляли – 1986 год. Не смогла изменить сложившуюся ситуацию и строительная индустрия региона (Харьковская, Донецкая, Запорожская области) из того же расчета, что конструкции свай, выпускаемые строительной индустрией этих областей, пойдут на строительную площадку жилого комплекса ЮМЗ, при этом на выполнение работ нулевого цикла потребуется не менее трех лет. Поэтому комбинат «Днепротяжстрой» вынужденно пошел на замену варианта фундаментов из забивных составных железобетонных свай на вариант перевода строительной

площадки из второго типа грунтовых условий по просадочности в первый, предложенный Днепропетровским филиалом НИИСП, что явилось грубой ошибкой по принятию этого варианта в сложившейся строительной ситуации, когда внизу по склону построены жилые дома.

Результатом замены варианта и типа фундаментов жилого комплекса ЮМЗ явилась катастрофа, в результате которой на жилмассиве Тополь-1 ежегодно, начиная с 1982 г. по 1997 г., терялось через поврежденные водонесущие коммуникации от 1 500 000 м³ до 2 000 000 м³ воды. За счет этого изменились гидрологические условия; территория жилмассива Тополь-1 подтоплялась со скоростью от 1,5–2,4 м/год с разгрузкой подземных вод со скоростью 0,9 м/год. За счет проявления подтопления через просадочную толщу жилмассива Тополь-1 ежегодно проходило 1 536 000 м³ воды. За 15 лет эксплуатации жилмассива «Тополь-1» потери воды составили 23 04 0000 м³.

Материальные потери за счет проявления «Тополиной» катастрофы составили свыше 153 000 000 долларов при курсе на период катастрофы, составляющем 1 доллар = 1,88 гривни.

Дополнительно к этим потерям следует отнести:

- нарушение целостности железнодорожного тоннеля, проявившегося за счет;

- затопления тоннеля разгрузившимися в процессе гидравлического прорыва склона водами;

- проявления просадочных деформаций бортов котлована под железнодорожные пути, просадки, лессовой толщи под земляным полотном железнодорожных путей, что привело к деформациям балласта железнодорожных путей;

- вертикальных деформаций конструкций тоннеля с уменьшением площади рабочего сечения тоннеля, что в свою очередь на полтора года задержало эксплуатацию тоннеля;

- железнодорожная станция «Встречная» на полтора года вышла из нормальных условий эксплуатации.

Все указанные выше проявления составили материальный ущерб по Приднепровской железнодорожной дороге (ветка Днепропетровск Южный – Лошкаревка) более 100 000 000 долларов.

Экспертная комиссия

по аварии I категории – техногенный оползень, происшедшей 6 июня 1997 г. в 7 часов 05 минут в г. Днепропетровске на жилмассиве Тополь-1 по ул. Паникахи с полным разрушением кооперативного дома № 22, школы № 99 и частичным разрушением – не восстанавливаемых двух детских садов № 323 и № 356 в составе:

Председателя комиссии, председателя комитета Госназдорохрантруда Украины Ткачука Станислава Порфирьевича и членов:

- генерального директора научно-инженерного центра «Протект», кандидата технических наук, заместителя председателя комиссии Гинзбурга Леонида Константиновича;

- доктора технических наук, зав. кафедрой «Тоннели, основания и фундаменты» ДИИТа Тимофеевой Людмилы Михайловны;

- директора института «Приднепровский промстройпроект» Ратушного Георгия Вадимовича;

- главного конструктора института «Приднепровский промстройпроект» Эдельштейна Итамара Иосифовича.

- доцента кафедры оснований и фундаментов Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры Моторного Николая Антоновича;

- главного инженера института «Днепрогражданпроект» Медгауза Бориса Абрамовича и др сделала общие выводы:

Общие выводы. 1. Происшедшая авария является результатом уникального природно-техногенного многофакторного явления, не имеющего аналога в Украине. Основной причиной аварии является мощное региональное природно-техногенное обводнение естественного склона, сложенного пылевато-глинистыми просадочными грунтами, с поднятием уровня грунтовых вод за период застройки и эксплуатации микрорайона до 20 м, которое было неиз-

бежно и интенсифицировалось нарушениями при строительстве и эксплуатации микрорайона.

2. Экстренные инженерные мероприятия, предпринятые непосредственно после аварии, оправданны и целесообразны, однако их практическое осуществление носит локальный характер и не может обеспечить в дальнейшем длительную безопасную эксплуатацию смежных объектов, не решает общую задачу стабилизации оползневых процессов на склоне.

В связи с этим необходима оперативная разработка и экстренное выполнение в ближайший период комплекса защитных и противооползневых инженерных мероприятий. Учитывая высокую социальную, экономическую и техническую ответственность за ликвидацию последствий аварии, состав мер и инженерные решения на стадии проектирования и строительства требуют тщательной экспертизы и научно-инженерного анализа последствий их реализации на уровне Госкомградостроительства Украины.

3. В связи со сложностью природной обстановки и ответственностью при принятии решений по стабилизации оползневого процесса, считаем необходимым привлекать к проектно-изыскательным работам по противооползневым мероприятиям только специализированные организации.

4. Происшедшая авария показала определенные недостатки действующей нормативной базы строительства в Украине.

В частности, отсутствует нормативно-правовой механизм, обуславливающий обязательное выполнение генеральным заказчиком в период застройки жилых районов комплексного водоотвода по микрорайонам в целом, а также комплексной борьбы с обводнением и подъемом уровня грунтовых вод, особенно в сложных инженерно-геологических условиях. Это обстоятельство предопределяет вероятность аналогичных аварий в других микрорайонах г. Днепропетровска.

Кроме того, согласно СНиП, обеспечение авторского надзора определяется по договорной основе и при отсутствии договора не выполняется, вне зависимости от

грунтовых условий и ответственности объектов, что недопустимо.

Необходимо, помимо этого, ввести изменения в соответствующие нормы для обеспечения водосброса при перспективном техногенно-природном подтоплении районов в целом.

5. Авторитетной комиссии детально проанализировать состояние и выдать рекомендации по стабилизации территорий в следующих районах г. Днепропетровск: Тополь-2, Тополь-3, Сокол, ул. Космическая, пр. Кирова – ул. Титова – ул. Нахимова – ул. Вакуленчука, Красноповстанческая балка и другие (по решению этой комиссии).

6. С целью предотвращения в дальнейшем аналогичных аварий комиссия считает необходимым:

– создать при горисполкоме постоянно действующую экспертно-консультативную комиссию по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям из ведущих специалистов для обязательного рассмотрения и экспертизы проектов строительства в сложных инженерно-геологических условиях;

– восстановить в полном объеме мониторинг и организовать инженерную службу мониторинга для обслуживания научно-проектных мероприятий по предотвращению аварий и оперативной оценки инженерной обстановки в сложных районах жилой застройки г. Днепропетровск;

– Госкомградостроительству регулярно рассматривать региональные проблемы инженерной подготовки, застройки и эксплуатации селитебных и промышленных территорий в особо сложных инженерно-геологических условиях городов Украины.

Особое мнение эксперта кафедры ОиФ ПГАСА, члена экспертной комиссии, Николая Анатольевича Моторного. На основании анализа материалов по проектированию и строительству зданий и сооружений жилмассива Тополь-1 следует:

1. На период изысканий, проектирования и строительства первых пусковых зданий территория будущего жилмассива в гидрологическом отношении на выделенной территории в процессе проведения

изысканий, до глубины 30–15 м (по второму склону) подземные воды не обнаружены (район безводный).

2. Площадка строительства жилмассива Тополь-1 в инженерно-геологическом отношении сложена четвертичными отложениями среднечетвертичного возраста, представленными эоловыми супесями и суглинками лессовыми, от палевых, палево-желтых до желтых, твердых с примесями карбонатов, просадочными при замачивании их водой. Территория относится ко второму типу грунтовых условий по просадочности (по первому склону – от ул. Запорожское шоссе до устья балки Встречная и с преобладанием первого типа грунтовых условий по просадочности (по второму склону) от балки Встречная (от устья балки Встречная до подножья склона).

Основным вариантом фундаментов строящегося жилого комплекса ЮМЗ проектная организация «Укрспецстройпроект» предложила и обосновала вариант свайных фундаментов из забивных составных железобетонных свай с полной прорезкой просадочной толщи. Генподрядчик – комбинат «Днепротяжстрой» по стечению обстоятельств вынужденно дал согласие на замену свайных фундаментов на фундаменты неглубокого заложения на искусственном основании, выполненном на предварительно замоченном массиве на всю просадочную толщу (до водоупора).

Строительство жилого комплекса ЮМЗ, в том числе подготовка и устройство основания началась с 1982 г. после того как была застроена нижняя часть верхнего склона балки Встречная. При переводе строительной площадки жилого комплекса ЮМЗ из второго типа грунтовых условий по просадочности в первый тип, для замачивания лессовой просадочной толщи было израсходовано 80 000 м³ воды, которая, замачивая лессовую толщу с формированием куполов по осям скважин, растекаясь вниз по склону (в сторону балки Встречная) замочила лессовую толщу под уже застроенными жилыми и общественными зданиями, что явилось причиной проявления неравномерных проса-

дочных деформаций лессовой толщи и вывода из эксплуатации четырех детских комбинатов и одного высотного жилого дома.

При этом неравномерные просадочные деформации проявились и под наружными водонесущими коммуникациями, а сами водонесущие коммуникации изменили свою расчетную схему и вместо балок на упругом основании, перешли в разряд одно-двухпролетных шарнирно-опертых балок, с увеличением в несколько раз пролетных и опорных моментов, увеличением прогибов «пролетных» строений балок с раскрытием в них трещин, через которые вода под рабочим давлением потекла в грунт и вызвала «цепную реакцию» по обводнению территории верхнего склона с переходом на второй склон балки Встречная, формирования начала разгрузки подземных вод.

По данным расчетов, выполненным автором данной статьи, скорость подтопления территории жилмассива Тополь-1 с 1982 по 1987 составляла 2,4 м/год, с 1987 по 1997 год (с начала проявления разгрузки подземных вод) скорость подтопления составила 1,5 м/год, скорость разгрузки подземных вод – 0,9 м/год.

Сложившаяся ситуация превышения питания подземных вод над разгрузкой привела к увеличению скорости подтопления, увеличению напорного градиента и коэффициента фильтрации и проявлению суффозионных процессов, увеличению пористости грунтов и ослаблению склона, что в конечном счете привело бы к формированию равновесного состояния загрузка-разгрузка, а устойчивость склона обеспечивала мощная корневая система насаждения декоративных деревьев, кустарников и одерновка склона.

Но ситуацию изменила бытовая кольматация канализационного коллектора, проходящего ниже устья второго склона балки Встречная, для восстановления которого ремонтная бригада вырубилась насаждения, разрушила корневую систему, в целом ослабила второй склон балки Встречная, на который передавалось давление воды от 200 до 300 кПа и давление

грунта превышающего более 300 кПа. Суммарное давление $P_w + P_{zp}$ значительно превысило несущую способность обводненного склона, в результате чего произошел *гидравлический прорыв склона* с проявивший разрушительные процессы.

Дальнейшая эксплуатация зданий жилмассива Тополь-1. В результате глобального обводнения территории жилмассива Тополь-1 почти все жилые дома и объекты соцкультбыта (за исключением жилого комплекса ЮМЗ) были отселены, так как попали в опасную зону, обесточены, отключены все водонесущие коммуникации и газоснабжение. Городская администрация дала задание выполнить техническое обследование всех жилых домов и объектов соцкультбыта с выдачей заключения о первоочередных мероприятиях по восстановлению эксплуатационной надежности всех объектов, которые оказались в опасной зоне. Эту работу городская администрация поручила выполнить члену экспертной комиссии Н. А. Моторному с ограничением сроков.

В процессе технического обследования всех зданий и сооружений было обращено особое внимание на конструктивную и расчетную схему зданий и сооружений с фиксацией видимых повреждений несущих и ограждающих конструкций обследуемых зданий и сооружений.

Особенностью сложившейся ситуации является обводненная территория с весьма низкими прочностными и деформационными характеристиками обводненного грунта. До тех пор пока вода зацементирована в порах грунта, грунтовый массив практически несжимаемый от передач на него установившегося давления. Деформация грунтового массива может проявиться только при повышении эффективного давления.

Когда проявился гидравлический прорыв второго склона балки Встречная, вода, скопившаяся в массиве грунта под эксплуатируемыми зданиями, за счет сформированного напорного градиента с большой скоростью (до 20 м/сек) мгновенно осво-

бодила поры грунта, а сам грунт, с довольно низкими деформационными характеристиками ($E < 1,0$ МПа), также мгновенно продеформировался под давлением от зданий, превышающим $P \geq 200$ кПа. В результате этого сформировалась равномерная деформация основания фундаментов эксплуатируемых зданий и сооружений. Поэтому в конструкциях обследуемых зданий не возникло усилий, превышающих несущую способность конструкций зданий, и здания не претерпели чрезмерных деформаций с раскрытием в них трещин. На каждый жилой дом был составлен акт с участием представителя эксплуатируемой организации (ЖЭО) и к первому сентября было выдано решение о возможности заселения и эксплуатации жилого фонда жилмассива Тополь-1.

Таким образом, жилой фонд жилмассива Тополь-1 оказался в самом выгодном положении по сравнению с жилмассивами Тополь-2 и Тополь-3, что было объявлено всем жильцам которые старались избавиться от своих квартир, продавая их за бесценок и переезжая на другие жилмассивы.

Проявившиеся деформации обводненного массива грунта от передачи на него дополнительного давления, от эксплуатируемых зданий уменьшило пористость грунта n , а ушедшая из пор грунта вода – степень водонасыщения S_r и показатель текучести I_L массива грунта, что значительно повысило прочностные и деформационные характеристики эксплуатируемого грунтового массива, потерявшего свои просадочные свойства. Теперь территория жилмассива Тополь-1 превратилась в обычные аллювиально-делювиальные отложения без дополнительных региональных характеристик, что в настоящее время сформировало резерв несущей способности оснований и фундаментов эксплуатируемых зданий и сооружений жилмассива Тополь-1.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Захист від небезпечних геологічних процесів. Будинки і споруди на підроблюваних територіях і просідних ґрунтах : ДБН В. 1.1.-5-2000. – Введ. з 2000-07-01. – Вид. офіц. – Київ, 2000.
Ч. 1 : Будинки і споруди на підроблюваних територіях. – 70 с. ;
Ч. 2 : Будинки і споруди на просідаючих ґрунтах. – 89 с.
2. Основания гидротехнических сооружений. Нормы проектирования : СНиП II-16-76 / Госстрой СССР. – Москва, 1977. – 37 с.
3. Основания гидротехнических сооружений : СНиП 2.02.02-85* (с Изменением № 1) / Госстрой СССР. – Введ. 1987-01-01 ; взамен СНиП II-16-76. – Москва, 2004. – 84 с. – Режим доступа: http://kompaniastroj.ru/sites/default/files/gosts-snips/bezopasnost/snip_2_02_02-85.pdf
4. Сооружения мелиоративных систем. Нормы проектирования : СНиП II-52-74 / Госстрой СССР. – Москва, 1975. – 25 с.
5. Мелиоративные системы и сооружения : СНиП 2.06.03-85 / Госстрой СССР. – Введ. 1 июля 1986 г. ; взамен СНиП II-52-74. – Москва : ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 47 с. – Режим доступа: http://gostbank.metaltorg.ru/data/norms_new/snip/107.pdf.
6. Гидротехнические сооружения речные. Основные положения проектирования : СНиП II-50-74 / Госстрой СССР. – Москва, 1975. – 24 с.
7. Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования : СНиП 2.06.01-86 / Госстрой СССР. – Введ. 1 июля 1987 г. ; взамен СНиП II-50-74, СНиП II-51-74. – Москва, 1987. – 30 с. – Режим доступа: http://kompaniastroj.ru/sites/default/files/gosts-snips/gidto/snip_2.06.01-86.pdf.
8. Об'єкти будівництва та промислової продукції будівельного призначення. Основи та фундаменти будинків і споруд. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування : ДБН В.2.1-10-2009. – Введ. вперше зі скасуванням на території України СНиП 2.02.01-83 ; чинні від 2009-07-01. – Київ : Міністерство регіонального розвитку України, 2009. – 107 с. – (Державні будівельні норми України).
9. Цытович Н. А. Механика грунтов / Н. А. Цытович. – Москва : Госстройиздат, 1963. – 636 с.
10. Флорин В. А. Основы механики грунтов: [в 2 т.] / В. А. Флорин. – Ленинград ; Москва : Госстройиздат, 1959–1961. – 357 с.
11. Мустафаев А. А. Основы механики просадочных грунтов / А. А. Мустафаев. – Москва : Стройиздат, 1978. – 263 с.
12. Мустафаев А. А. Расчет оснований и фундаментов на просадочных грунтах / А. А. Мустафаев. – Москва : Высш. шк., 1979. – 367 с.
13. Иванов П. Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений / П. Л. Иванов. – Москва : Высш. шк., 1985. – 352 с.
14. Крутов В. И. Основания и фундаменты на просадочных грунтах / В. И. Крутов. – Киев : Будівельник, 1982. – 224 с.
15. Роза С. А. Механика грунтов / С. А. Роза. – Москва : Высш. шк., 1962. – 229 с.
16. Соболевский Ю. А. Механика грунтов / Ю. А. Соболевский. – Минск : Вышэйш. шк., 1986. – 176 с.
17. Гавшина З. П. Условия подтопления грунтовыми водами застраиваемых территорий / З. П. Гавшина, Е. С. Дзекцер. – Москва : Стройиздат, 1982. – 116 с.
18. Прогноз подтопления и расчет дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях : [пособие к СНиП 2.06.15-85] / Комплекс. науч.-исслед. и конструктор.-технолог. ин-т водоснабжения, канализации, гидротехн. сооружений и инж. гидрогеологии Госстроя СССР. – Москва : Стройиздат, 1991. – 273 с. – (Справочное пособие к СНиП).
19. Литвинов И. М. Глубинное укрепление и уплотнение просадочных грунтов / И. М. Литвинов. – Киев : Будівельник, 1969. – 183 с.
20. Моторный Н. А. Потенциальная "неподтопляемость" территорий и ее влияние на проектирование оснований и фундаментов на просадочных грунтах среднего Приднепровья / Н. А. Моторный // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ, 2001. – № 6. – С. 35–42.
21. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01.83) / Науч.-исслед. ин-т оснований и подзем. сооружений им. Н.М. Герсеванова Госстроя СССР. – Москва : Стройиздат, 1986. – 415 с.
22. Корн Г. К. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / Г. К. Корн, Т. К. Корн. – Москва : Наука, 1973. – 831 с.

REFERENCES

1. *Zakhyst vid nebezpechnykh geologichnykh protsesiv. Budyanky i sporudy na pidrobliuvanykh terytoriiakh i prosidnykh gruntakh: DBN V. 1.1.-5-2000* [Protection against dangerous geological processes. Buildings and structures on the overbuild territories and on the collapsible grounds: the State Building Codes V. 1.1.-5-2000]. Kyiv, 2000. (in Ukrainian).
2. *Osnovaniya gidrotexnicheskix sooruzhenij. Normy proektirovaniya: SNiP II-16-76* [Bases of hydraulic structures. Design standards: the State Building Codes II-16-76]. Gosstroj SSSR [The National Building of USSR]. Moskva, 1977, 37 p. (in Russian).
3. *Osnovaniya gidrotekhnicheskikh sooruzhenij: SNiP 2.02.02-85* [Bases of hydraulic engineering structures: the State Building Codes 2.02.02-85]. Gosstroj SSSR [The National Building of USSR]. Moskva, 2004, 84 p. Available at: http://kompaniastroy.ru/sites/default/files/gosts-snips/bezopasnost/snip_2_02_02-85.pdf. (in Russian).
4. *Sooruzheniya meliorativnykh sistem. Normy proektirovaniya: SNiP II-52-74* [Facilities of land-reclamation systems. Design standards: the State Buildings Codes II-52-74]. Gosstroj SSSR [The National Building of USSR]. Moskva, 1975, 25 p. (in Russian).
5. *Meliorativnye sistemy i sooruzheniya: SNiP 2.06.03-85* [Land-reclamation systems and facilities: the State Building Codes 2.06.03-85]. Gosstroj SSSR [The National Building of USSR]. Moskva: CITPGosstroja SSSR, 1986, 47 p. Available at: http://gostbank.metaltorg.ru/data/norms_new/snip/107.pdf. (in Russian).
6. *Gidrotexnicheskie sooruzheniya rechnye. Osnovnye polozheniya proektirovaniya: SNiP II-50-74* [The river hydraulic engineering works. Basic design standards: the State Building Codes II-50-74]. Gosstroj SSSR [The National Building of USSR]. Moskva, 1975, 24 p. (in Russian).
7. *Gidrotexnicheskie sooruzheniya. Osnovnye polozheniya proektirovaniya: SNiP 2.06.01-86, vved. 1 iyulya 1987 g.* [Hydraulic engineering facilities. Basic design standards: the State Buildings Codes 2.06.01-86]. Gosstroj SSSR [The National Building of USSR]. Moskva, 1987, 30 p. Available at: http://kompaniastroy.ru/sites/default/files/gosts-snips/gidto/snip_2.06.01-86.pdf. (in Russian).
8. *Obekty budivnitstva ta promyslova produktsiia budivelnoho pryznachennia. Osnovy ta fundamenty budynkiv i sporud. Osnovy ta fundamenty sporud. Osnovni polozhennia proektuvannia: DBN V.2.1-10-2009* [Objects of construction and industrial products for construction purposes. Basements and foundations of houses and structures. Basements and foundations of structures. The main standards: the State Building Codes V.2.1-10-2009]. Kyiv: Minregionbud Ukrainy, 2009, 107 p. (in Ukrainian).
9. Cytovich N.A. *Mekhanika gruntov* [Soil mechanics]. Moskva: Gosstrojizdat, 1963, 636 p. (in Russian).
10. Florin V.A. *Osnovy mekhaniki gruntov: [v 2 t.]* [Basics of the soil mechanics in 2 volumes]. Leningrad, Moskva: Gosstrojizdat, 1959–1961, 357 p. (in Russian).
11. Mustafaev A.A. *Osnovy mekhaniki prosadochnykh gruntov* [Mechanics fundamentals of collapsible grounds]. Moskva: Strojizdat, 1978, 263 p. (in Russian).
12. Mustafaev A.A. *Raschet osnovanij i fundamentov na prosadochnyx gruntax* [Basements and foundations calculation on the collapsible grounds]. Moskva: Vyssh. shk., 1979, 367 p. (in Russian).
13. Ivanov P.L. *Grunt i osnovaniya gidrotekhnicheskikh sooruzhenij* [Grounds and basements of hydraulic engineering works]. Moskva: Vyssh. shk., 1985, 352 p. (in Russian).
14. Krutov V.I. *Osnovaniya i fundamenty na prosadochnyx gruntax* [Basements and foundations on the collapsible grounds]. Kiev: Budivelnik, 1982, 224 p. (in Russian).
15. Roza S.A. *Mekhanika gruntov* [Soil mechanics]. Moskva: Vyssh. shk., 1962, 229 p. (in Russian).
16. Sobolevskij Yu.A. *Mekhanika gruntov* [Soil mechanics]. Minsk: Vyshejsk. shk., 1986, 176 p. (in Russian).
17. Gavshina Z.P. and Dzekcer E.S. *Usloviya podtopleniya gruntovymi vodami zastraivaemykh territorij* [Groundwater underflooding condition of overbuild areas]. Moskva: Strojizdat, 1982, 116 p.
18. *Prognoz podtopleniya i raschet drenaznykh sistem na zastraivaemykh i zastroyenykh territoriyax* [Flooding forecast and drainage systems calculation on the overbuild and built-up areas]. Kompleks. nauch.-issled. i konstruktor.-texnolog. in-t vodosnabzheniya, ka-nalizacii, gidrotexn. sooruzhenij i inzh. gidrogeologii Gosstroja SSSR [Complex Research and Design Institute of Water Supply, Sewerage, Hydraulic Structures and Engineering Hydrogeology of the National Building of the USSR]. Moskva: Strojizdat, 1991, 273 p. (in Russian).
19. Litvinov I.M. *Glubinnoe ukreplenie i uplotnenie prosadochnykh gruntov* [Deep consolidation and consolidation of collapsible grounds]. Kiev: Budivelnik, 1969, 183 p. (in Russian).
20. Motornyj N.A. *Potencial'naya zhepodtoplyaemost' territorij i ee vliyanie na proektirovanie osnovanij i*

fundamentov na prosadochnyx gruntax srednego Pridneprov'ya [Territories potential "non-underfooting" and its influence on the basements and foundations design on the collapsible grounds of the middle Pidneprov'ya]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnictva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnipropetrovsk, 2001, no. 6, pp. 35–42. (in Russian).

21. *Posobie po proektirovaniyu osnovanij zdanij i sooruzhenij (k SNiP 2.02.01.83)* [Manual on the design of buildings foundations and structures (to the State Building Codes 2.02.01.83)]. Nauch.-issled. in-t osnovanij i podzem. sooruzhenij im. N.M. Gersevanova Gosstroya SSSR [Scientific-Research Institute of Basements and Underground Facilities named after N. M. Gerasenov of the National Building of the USSR] Moskva: Strojizdat, 1986, 415 p. (in Russian).
22. Korn G.K. and Korn T.K. *Spravochnik po matematike (dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov)* [A manuel on mathematics (for scientists and engineers)]. Moskva: Nauka, 1973, 831 p. (in Russian).

Рецензент: Савицький М. В. д-р т. н., проф.

Надійшла до редколегії: 12.12.2016 р. Прийнята до друку: 17.12.2016 р.