УДК 624.131.3

Проектные решения в современном фундаментостроении: функция прогноза работы системы «основание–фундамент»

Павел Иванович КАШПЕРЮК, кандидат геолого-минералогических наук, доцент,
e-mail: KashperyukPI@mgsu.ru

Андрей Александрович ЛАВРУСЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, профессор,
e-mail: LavrusevichAA@mgsu.ru

Кристина Владимировна НИКИТИНА, аспирантка, e-mail: k.v.nikitina@gmail.com

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
129337 Москва, Ярославское ш., 26

Вадим Сергеевич КРАШЕНИННИКОВ, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий инженер-геолог,
e-mail: geolog.doc@gmail.com

ООО НПФ «Специальные изыскания для высотного строительства» («СИВС»), 117393 Москва,
ул. Архитектора Власова, 45А

Аннотация. *Экономия дорогостоящих материалов в фундаментостроении заставляет конструкторов проектировать неравные по толщине фундаментные плиты в разнонагруженных частях здания. Возникающая морфометрия подошвы фундаментной плиты может приводить к образованию «ловушек» гидростатического давления при формировании техногенного водоносного горизонта в пределах площади котлована. В статье на конкретном примере строительства рассмотрены инженерно-геологические и гидрогеологические условия, которые приводят к формированию техногенных подземных вод непосредственно под фундаментной плитой при условии локального распространения верховодки в преимущественно глинистых грунтах основания. Предлагаются способы ликвидации всплытия фундаментной плиты и показано, что при составлении проекта необходим учет не только экономических показателей, но и особенностей инженерно-геологических и гидрогеологических условий, свойств грунтов и прогноза их изменений. Отмечено, что при принятии проектных решений по технологии «белая ванна» дополнительно должны разрабатываться мероприятия по ликвидации инфильтрации подземных и поверхностных вод в разуплотненные грунты пазух подземной части зданий и сооружений.*
Ключевые слова: *фундаментная плита, глинистые грунты основания, техногенный горизонт подземных вод, гидростатический напор, инженерно-геологические условия.*

DESIGN SOLUTIONS IN MODERN FOUNDATION ENGINEERING – THE FUNCTION OF FORECASTING THE OPERATION OF THE «SOIL-FOUNDATION» SYSTEM

Pavel I. KASHPERYUK, e-mail: KashperyukPI@mgsu.ru

Andrey A. LAVRUSEVICH, e-mail: LavrusevichAA@mgsu.ru

Kristina V. NIKITINA, e-mail: k.v.nikitina@gmail.com

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation

Vadim S. KRASHENINNIKOV, e-mail: geolog.doc@gmail.com

Research and Production Company “SIVS”, ul. Arhitektora Vlasova, 45A, Moscow 117393, Russian Federation

Abstract. *Saving of expensive materials in foundation construction makes engineers to design foundation slabs of different thickness in differently loaded parts of the building. The resulting morphometry of the base plate sole can lead to the formation of "traps" of hydrostatic pressure when forming the man-made aquifer within the area of the pit. On a concrete example of construction, the article considers the engineering-geological and hydrogeological conditions that lead to the formation of anthropogenic aquifer directly under the foundation slab under the condition of local distribution of the upper water mainly in the clay soils of the base. The methods of elimination of the base plate emersion are proposed and it is shown that when projecting it is required to take into account not only economic indicators, but also the features of engineering-geological and hydrogeological conditions, soil properties and the forecast of their changes. It is noted that when making design decisions according to the "white bath" technology, additional measures should be developed to eliminate infiltration of underground and surface water into the decompressed soils of cavities of the underground part of buildings and structures.*
Key words: *foundation slab, clay soils of the base, anthropogenic aquifer of underground water, hydrostatic pressure, engineering-geological conditions.*

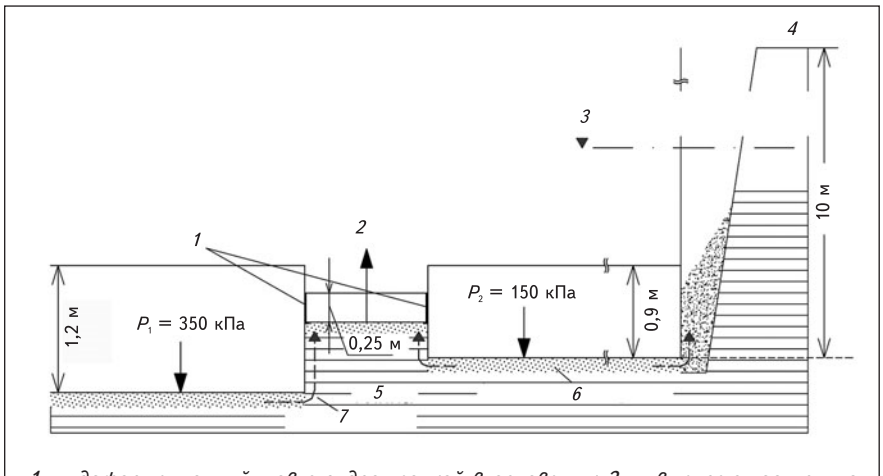
© КАШПЕРЮК П. И., ЛАВРУСЕВИЧ А. А., НИКИТИНА К. В., КРАШЕНИННИКОВ В. С., 2018

Городская застройка представляет собой особую функционально-пространственную систему неразрывно связанных между собой частей города. Геометрические формы, физические параметры различных пространств в городской застройке определяют их функциональные характеристики. Сложные архитектурные решения, характерные для современных зданий городского типа, требуют грамотного функционального зонирования и расширения внутреннего пространства зданий.

Современная градостроительная политика предполагает строительство в мегаполисах многофункциональных комплексов с формированием разноэтажных высотных строений с максимальным использованием подземного пространства. В наиболее крупных городах целесообразно многоуровневое строительство, а также обеспечение гибкости его планировочной структуры [1, 2]. В этой связи невозможно обойтись без применения новейших технологий и современных инновационных строительных материалов.

Получение современных строительных материалов с высокими эстетическими, функциональными, механическими (прочностными) и другими свойствами напрямую связано со стоимостью, а их внедрение приводит к значительному удорожанию строительства. Поэтому в процессе реализации проектных решений, предусматривающих включение современных технологий и дорогостоящих строительных материалов, чаще всего предполагается жесткая оптимизация и максимальная экономия таких материалов [3].

Современные методы гидроизоляции подземных конструкций могут в значительной степени приводить к повышению стоимости строительных работ. В частности, на выбор материала и конструкции гидроизоляционной мембраны влияет трещиностойкость субстрата и возможное наличие в нем деформаций [4]. При этом для устройства гидроизоляционных мембран используют металлические листы, рулонные и листовые органические материалы, составы органического происхождения, наносимые в жидком состоянии, безрулонные материалы на минеральных вяжущих, а также рулонные и безрулонные материалы на основе бентонитовых глин. Нормативная литература по устройству гидроизоляционной мембраны далека от совершенства и сильно устарела [4, 5].



1 — деформационный шов с гидрошпонкой в основании; 2 — выпирающее усилие не менее 150 кПа; 3 — уровень воды в пазухах фундаментов 4 м; 4 — поверхность земли; 5 — глина; 6 — песчаная подушка; 7 — поток воды

Рис. 1. ***Схематический разрез фундаментной плиты («ловушка» гидростатического давления)***

Примером сказанного может служить строительство подземных частей зданий на плитных фундаментах «белая ванна», выполняемых из гидробетона класса B40, марок по водонепроницаемости W16 и морозостойкости F200, без оклеечной гидроизоляции с гидрошпонками в рабочих и деформационных швах. Стоимость 1 м^3 такого бетона сегодня в 1,6 раза выше стоимости куба обычного бетона (B40, W4, F200).

Рассмотрим случай, когда естественное стремление проектной организации сэкономить на дорогостоящем водонепроницаемом гидробетоне при строительстве фундаментной плиты индивидуального жилого дома с подземным гаражом в двух уровнях в ЮЗАО Москвы [1] привело к ее частичному разрушению. Как будет показано далее, это связано с ошибкой проектировщиков при прогнозе изменения инженерно-геологических (гидрогеологических условий) в процессе строительства и эксплуатации здания. Таким образом, цель настоящей работы — установление причин деформации фундаментной плиты на одном из строительных объектов Москвы и предложение возможных решений их устранения.

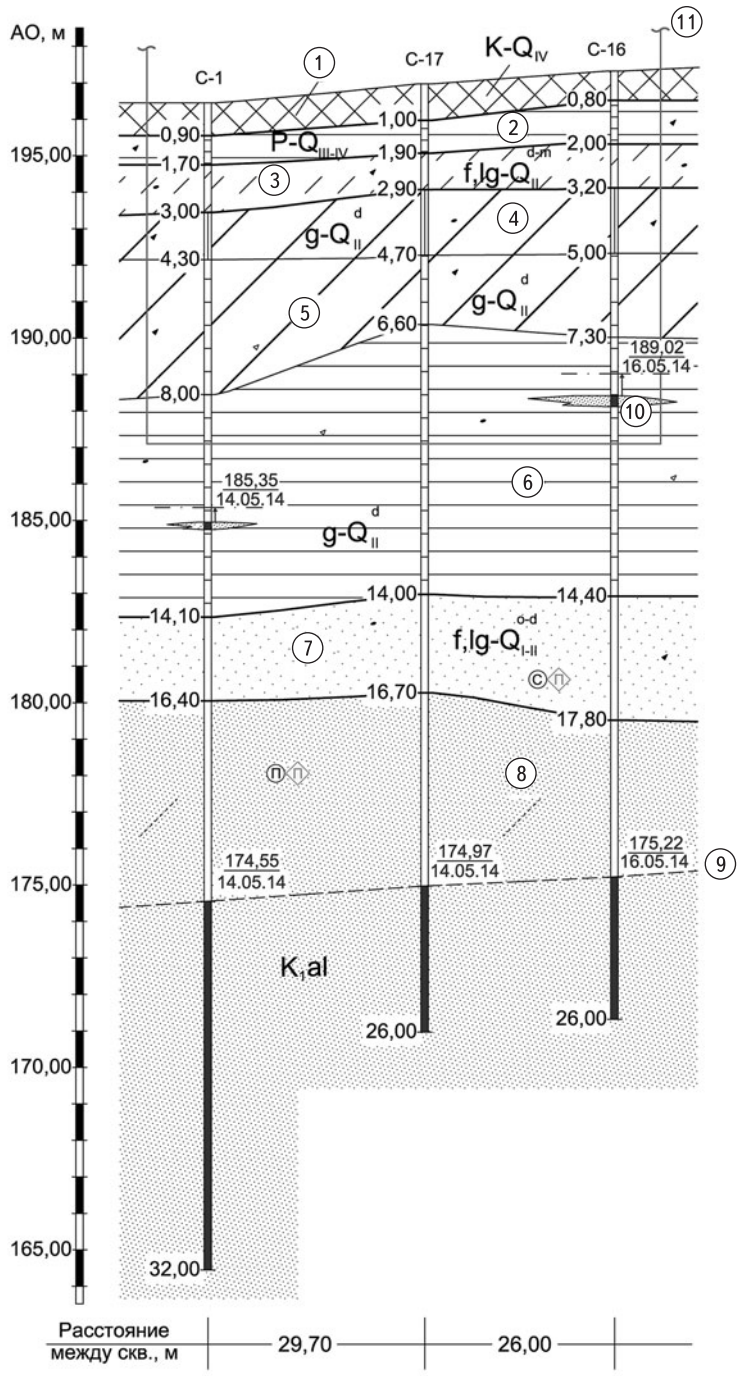
Разноэтажность строящихся многофункциональных комплексов обусловливает неравные нагрузки на фундаментную плиту в разных частях здания. На рассматриваемом объекте максимальные нагрузки до 350 кПа в подошве фундаментной плиты отмечаются под наиболее загруженной высотной (22—25 этажей) частью здания, а минимальные — не более 150 кПа под окружающей корпуса здания сти-

лобатной частью в пределах подземного гаража. В этой связи проектом предусматривалось строительство фундаментной плиты разной толщины.

Под наиболее нагруженной частью толщина плиты должна составлять 1,2 м, а под выступающей за контуры высотных корпусов подземной частью гаража — 0,9 м. За деформационным швом между указанными частями фундаментных плит образовалась полоса незагруженной части плиты шириной 2,5 м и длиной 75 м. Поэтому в целях экономии дорогостоящего бетона проектом было предусмотрено строительство здесь «ненесущей» полосы фундаментной плиты толщиной 0,25 м с двухслойной арматурой диаметром 15 мм, с шагом 150 мм, ограниченной со всех сторон деформационным швом с заложением гидрошпонки [6]. Схематический разрез фундаментной плиты приведен на *рис. 1*.

Спустя три месяца после строительства фундаментной плиты (ноябрь 2017 г.), когда начался монтаж третьего и четвертого этажей высотных корпусов, геодезический мониторинг за осадками фундаментной плиты, а также визуальные наблюдения показали резкую, в течение одних суток, вертикальную неравномерную деформацию незагруженной полосы фундаментной плиты, ее частичное вспучивание на 5—8 см выше проектных отметок, без видимого трещинообразования, преимущественно в средней по длине части.

Следует отметить, что осадка основных несущих частей фундаментной плиты осталась прежней, равномерной, и не превышала 0,5—1,5 мм за 15 дней. Деформации полосы фундаментной плиты прекратились после нарушения герметичности (разрыва) гидрошпонки и начала постоянного интенсивного поступ-



1 — ИГЭ-1, насыпной грунт; 2 — ИГЭ-2, глина легкая пылеватая, твердая с редкими прослойками супеси твердой; 3 — ИГЭ-3, супесь пылеватая, пластичная, местами текучая, с линзами и прослойками песка пылеватого, влажного и водонасыщенного; 4 — ИГЭ-4, суглинок легкий песчанистый тугопластичный; 5 — ИГЭ-5, суглинок легкий песчанистый полутвердый, с линзами (толщиной до 30 см) песка средней крупности, влажного; 6 — ИГЭ-6, перемятый отторженец меловых отложений, представленный глиной легкой песчанистой, полутвердой, зеленовато-серой, слабослюдистой, с линзами (толщиной до 20—30 см) песка средней крупности, влажного, местами водонасыщенного; 7 — ИГЭ-7, песок средней крупности, плотный, влажный, зеленовато-серый, с прослоями и линзами (толщиной до 30 см) песка мелкого, влажного; 8 — ИГЭ-8, песок пылеватый, плотный, водонасыщенный, в верхней части слоя влажный, зеленовато-серый, с прослоями супеси песчанистой пластичной; 9 — уровень безнапорных вод; 10 — пьезометрический уровень напорных вод; 11 — контур подземной части

Рис. 2. ***Инженерно-геологический разрез [6]***

ления подземной воды из деформационного шва в месте максимального вспучивания.

Среди возможных причин деформации облегченной фундаментной плиты можно отметить следующие:

- морозное пучение глинистых грунтов непосредственно основания;
- набухание глинистых грунтов;
- всплытие плиты под действием гидростатического напора подземных вод.

Анализ погодных условий второй половины 2017 г., условий производства монтажных работ, содержания подземной части сооружения, а также подтверждение отсутствия набухающих грунтов в основании показали, что основная причина деформации облегченной части фундаментной плиты — формирование в пределах контура подземной части здания техногенного водоносного горизонта.

Инженерно-геологические условия застраиваемой территории, изученные в 2014 г. ООО НПФ «СИВС», отражены на инженерно-геологическом разрезе (*рис. 2*) [6], на котором показано, что гидрогеологические условия участка характеризуются наличием трех водоносных горизонтов.

Верховодка, вскрытая отдельными скважинами на глубине 1,8—2,8 м (абсолютные отметки 195,33—196,91 м), распространена в озерно-ледниковых супесях и по прослоям пылеватого песка общей мощностью 0,1—0,5 м.

Коэффициент фильтрации водовмещающих грунтов составляет 0,1—0,2 м/сут (слабоводопроницаемые) согласно ГОСТ 25100—2011 «Грунты. Классификация». Нижним водоупором для верховодки служат моренные суглинки.

Следует отметить возможные сезонные колебания уровня верховодки в весенне-осенний период, а также при аварийных утечках из водонесущих коммуникаций. В эти периоды весьма вероятен подъем уровня воды на 0,5—1 м выше установленного до отметок 196,3—197,4 м.

Межпластовые внутриморенные напорно-безнапорные воды распространены эпизодически и вскрыты единичными скважинами. Подземные воды залегают на разных глубинах и приурочены к отдельным линзам и прослоям песков мелких и средней крупности в ледниковых суглинках и глинах, т. е. носят спорадический характер распространения.

Линзы воды вскрыты на глубинах 8,9 и 12 м от поверхности земли на абсолютных отметках 184,95 и 188,42 м соответственно. Пьезометрический уровень зафиксирован на глубине 8,3—11,1 м от поверхности земли, абсолютные отметки — 185,35—189,02 м. Высота напора — 0,2—0,4 м. Мощность водонасыщенных прослоев — 0,2—0,4 м. Верхним и нижним водоупором являются моренные глинистые грунты.

Основной водоносный горизонт межпластовых безнапорных вод распространен повсеместно. Водовмещающие породы — нижнемеловые пылеватые пески с прослоями супесей. Коэффициент фильтрации составляет 0,1—1,3 м/сут. Вскрытая мощность водоносного горизонта превышает 11,6 м. Его глубина залегания от поверхности земли колеблется от 19,5 до 21,4 м, абсолютные отметки — 174,55—177,61 м. Нижним водоупором для данного водоносного горизонта, согласно архивным данным, являются нижнемеловые глинистые отложения. При проведении изысканий нижний водоупор вскрыт не был [6].

Анализ геологического строения, свойств грунтов основания, гидрогеологических условий участка и конструкций фундаментной плиты здания (см. *рис. 1 и 2*) позволяет заключить, что причиной отмеченных деформаций незагруженной полосы фундаментной плиты и ее частичного всплытия под действием гидростатического давления является сформировавшийся техногенный горизонт подземных вод под фундаментной плитой в пределах контура котлована.

Установлено, что в отдельные дождливые периоды 2017 г. уровень воды в пазухах котлована, частично засыпанных песками различной крупности, поднимался местами до глубины 3 м от поверхности земли при глубине котлована 10 м. Наличие на дне котлована слоя выравнивающей песчаной подушки 10 см обеспечивает площадную гидравлическую связь в пределах всего котлована.

Принимая во внимание конструктивные особенности всей фундаментной плиты и отдельных ее частей, их пространственное положение (глубина залегания подошвы различных частей фундаментных плит) и бытовую загруженность, можно заключить, что при формировании локального техногенного водоносного горизонта в пределах котлована и давлении на подошве фундаментов более 62,5 кПа, последняя будет испытывать воздействие на всплытие.

Простые расчеты показывают, что при высоте столба воды в пазухах котлована порядка 6 м (уровень воды должен находиться на глубине 4 м от поверхности земли) незагруженная часть плиты будет практически плавать (см. *рис. 1*).

При условии бытовой загрузки рабочих частей фундаментных плит (P_1 = 350 кПа; P_2 = 150 кПа) полоса незагруженной плиты будет воспринимать выпирающие воздействия не менее 150 кПа за счет образования «ловушки» («поршневого эффекта») ги-

дростатического давления под незагруженной частью фундаментной плиты (см. *рис. 1*).

Учитывая отмеченные инженерно-геологические и гидрогеологические особенности участка строительства и наличие шпунтового ограждения по периметру котлована, проектная организация, без консультаций с изыскателями, посчитала, что после проходки котлована с опережающим зумпфом в глинистых грунтах на глубину 10 м и вскрытия двух низкодебитных локальных водоносных горизонтов, последние будут истощены (осушены) в процессе проходки котлована. Иными словами, произойдет полная сработка подземных вод верховодки и внутриморенных мешков вод второго водоносного горизонта, и приток в котлован подземных вод из них полностью прекратится. Однако в действительности прогноз последнего маловероятен, и вряд ли кто-то возьмется это доказать даже на перспективу 0,5—1 год.

Принятые проектные решения для подземной части здания, не предусматривающие наличия пристенного дренажа или глинистого замка (экрана), препятствующих поступлению атмосферных осадков и высачивающихся подземных вод из бортов котлована в насыпные пески пазух и песчаного слоя 10 см под бетонной подготовкой фундаментной плиты, способствовали формированию в пределах всей площади котлована нового техногенного водоносного горизонта с гидростатическим и поровым давлением 150—350 кПа под основной фундаментной плитой. Для того чтобы в рассматриваемом случае облегченная фундаментная плита не всплывала, необходима удерживающая ее от всплытия сила, равная 287,5 кПа, или ликвидация сформировавшегося локального техногенного водоносного горизонта [7, 8].

В сложившейся ситуации авторами настоящей статьи были предложены следующие рекомендации. В случае, если гидрошпонки в деформационных швах способны выдерживать давление до 350 кПа, восстановленную «ненесущую» полосу фундаментной плиты следует заанкерить в глинах основания с помощью винтовых анкеров, не обращая внимания на сформировавшийся техногенный горизонт подземных вод.

Кроме того, необходимо восстановить нарушенную полосу «ненесущей» фундаментной плиты, при этом:

- исключить инфильтрацию атмосферных осадков и высачивающихся в бортах котлована подземных вод в подфундаментную песчаную подушку методом заложения глубокого пристенного дренажа с принудительной откачкой воды из приемного колодца на весь период эксплуатации здания;
- до производства планировочных работ осуществить выемку из пазух насыпного песчаного грунта вплоть до глин непосредственного основания и выполнить со дна засыпку пазух бентонитовой глиной для формирования водонепроницаемого экрана мощностью 1—1,5 м.

Если имеющиеся деформации полосы фундаментной плиты не будут влиять на дальнейшую ее эксплуатацию, то наиболее рациональное решение — выбуривание по всей длине полосы фундаментной плиты четырех-пяти отверстий диаметром не более 100 мм на всю толщину плиты, включая бетонную подготовку, и соединение их (закладных труб) единым неглубоким желобом с необходимым уклоном в сторону бетонного приямка объемом не менее 0,5 м^3, из которого периодически вести откачку накапливающейся воды.

Выводы

1. Принятие проектных и конкретных конструктивных решений в работе системы «основание—фундамент» не может зависеть только от технологий и качества материалов, применяемых в строительстве. Решающими здесь должны быть свойства грунтов основания и прогноз изменения этих свойств, обусловленный инженерно-геологическими и гидрогеологическими процессами, протекающими при строительстве и эксплуатации проектируемого сооружения.

2. Наличие верховодки в насыпных грунтах и локальных подземных вод в песчаных или супесчаных линзах и мешках озерно-ледниковых и ледниковых отложений, преимущественно четвертичных глинистых толщ, должно всегда указывать на возможность попадания этих вод в песчаные пазухи подземной части сооружений в процессе их эксплуатации и формирование под фундаментной плитой горизонта техногенных вод.

3. В случае возможности формирования техногенного водоносного горизонта в пределах площади фундаментной плиты, в проектных решениях не должна допускаться разноуровенность ее подошвы, и тем более образование «ловушек» гидростатического давления, без конкретных решений, направленных на компенсацию усилий на всплытие.

4. Проектирование подземной части зданий по технологии «белая ванна» не должно освобождать конструкторов от принятия решений по недопущению поступления поверхностных и подземных вод верховодки в недоуплотненные (фильтрующие) грунты пазух подземной части зданий и сооружений.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Каменецкий М. И., Осташко В. Я.* Жилищное строительство: производственно-экономические проблемы посткризисного развития // Экономика строительства. 2011. № 3. С. 40–49.
2. *Олейник П. П.* Основы организации и управления в строительстве. М. : АСВ, 2014. 200 с.
3. *Уварова С. С., Беляева С. В., Канхва В. С.* Экономическая устойчивость строительных предприятий и проектов. М. : МГСУ, 2011. 155 с.
4. *Шилин А. А., Зайцев М. В., Золотарев И. А., Ляпидевская О. Б.* Гидроизоляция подземных и заглубленных сооружений при строительстве и ремонте. Тверь : Русская торговая марка, 2003. 400 с.
5. *Кашперюк П. И., Юлин А. Н.* Качество инженерных изысканий как фактор формирования устойчивых природно-техногенных систем // Вестник МГСУ. 2014. № 1. С. 83–89.
6. Технический отчет об инженерно-геологических изысканиях под строительство жилого дома с подземным гаражом в двух уровнях по адресу: г. Москва, ЮЗАО. М . : ООО НПФ «СИВС», 2014. 301 с.
7. *Кашперюк П. И., Кашперюк А. А., Коршунова Н. Н.* Особенности инженерно-геологических изысканий при застройке городских кварталов и крупных загородных территорий // Вестник МГСУ. 2013. № 12. С. 64–72.
8. *Кашперюк П. И., Кашперюк А. А.* Специфика инженерно-геологических изысканий на ранее освоенных и повторно используемых городских территориях для нового строительства // Инженерные изыскания. 2014. № 13-14. С. 53–57.

R E F E R E N C E S

1. Kamenetskij M. I., Ostashko V.Ya. Housing construction: production and economic problems of post-crisis development. *Ekonomika stroitel'stva*, 2011, no. 3, pp. 40–49. (In Russian).
2. Olejnik P. P. *Osnovy organizatsii i upravleniya v stroitel'stve* [Basics of organization and management in construction]. Moscow, ASV Publ., 2014. 200 p. (In Russian).
3. Uvarova S. S., Belyaeva S. V., Kankhva V. S. *Ekonomicheskaya ustojchivost' stroitel'nykh predpriyatij i proektov* [Economic sustainability of construction enterprises and projects]. Moscow, MGSU Publ., 2011. 155 p. (In Russian).
4. Shilin A. A., Zajtsev M. V., Zolotarev I. A., Lyapidevskaya O. B. *Gidroizolyatsiya podzemnykh i zaglublennykh sooruzhenij pri stroitel'stve i remonte* [Waterproofing of underground and buried structures during construction and repair]. Tver, Russkaya torgovaya marka Publ., 2003. 400 p. (In Russian).
5. Kashperyuk P. I., Yulin A. N. The quality of engineering surveys as a factor in the formation of sustainable natural and man-made systems. *Vestnik MGSU*, 2014, no. 1, pp. 83–89. (In Russian).
6. *Tekhnicheskij otchet ob inzhenerno-geologicheskikh izyskaniyakh pod stroitel'stvo zhilogo doma s podzemnym garazhom v 2-kh urovnyakh po adresu: Moskva, YUZAO* [Technical report on engineering-geological surveys for the construction of a residential building with an underground garage in 2 levels at the address: Moscow, South-Western administrative district]. Moscow, LLC «SIVS», 2014. 301 p. (In Russian).
7. Kashperyuk P. I., Kashperyuk A. A., Korshunova N. N. Features of engineering and geological surveys in the construction of urban neighborhoods and large suburban areas. *Vestnik MGSU*, 2013, no. 12, pp. 64–72. (In Russian).
8. Kashperyuk P. I., Kashperyuk A. A. Specificity of engineering and geological surveys in previously developed and reused urban areas for new construction. *Inzhenernye izyskaniya*, 2014, no. 13-14, pp. 53–57. (In Russian).

Для цитирования: *Кашперюк П. И., Лаврусевич А. А., Никитина К. В., Крашенинников В. С.* Проектные решения в современном фундаментостроении: функция прогноза работы системы «основание—фундамент» // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 12. С. 49—54.

For citation: Kashperyuk P. I., Lavrusevich A. A., Nikitina K. V., Krasheninnikov V. S. Design Solutions in Modern Foundation Engineering — The Function of Forecasting the Operation of the «Soil-Foundation» System. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2018, no. 12, pp. 49—54. (In Russian).

В Н И М А Н И Е !

С 5 октября 2018 г. редакция находится по адресу:

127434 Москва, Дмитровское ш., 9, стр. 2, офис 337. Телефон **(499) 609-02-39**

Схема проезда показана на нашем сайте: **www.pgs1923.ru**