

УДК 624.152.6

**Мирсаяпов И.Т.** – доктор технических наук, профессор

E-mail: [mirsayapov1@mail.ru](mailto:mirsayapov1@mail.ru)

**Хасанов Р.Р.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [rubis.hasanov@yandex.ru](mailto:rubis.hasanov@yandex.ru)

**Сафин Д.Р.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [d.safin@list.ru](mailto:d.safin@list.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

### **Исследование ограждающей конструкции котлована подземного пристроя при реконструкции Шамовской больницы г. Казани**

#### **Аннотация**

В статье освещены мероприятия и технические решения, использованные при проектировании ограждающей конструкции котлована под вновь возводимый подземный пристрой к Шамовской больнице г. Казани, возведенный в котловане глубиной порядка 20 м. Особенностью проектирования является то, что пристрой возводится в непосредственной близости от существующего здания бывшей Шамовской больницы. При проектировании ограждающих конструкций в таких условиях основной задачей является решение проблем, связанных с обеспечением их устойчивости на время разработки грунта, а также совместной работы с несущими конструкциями подземного сооружения.

**Ключевые слова:** глубокий котлован, ограждающая конструкция котлована, стена в грунте, буроинъекционные сваи, высоконапорная цементация, буронабивные сваи, распорная система, глубокий сдвиг, грунтовая берма, устойчивость.

Здание Шамовской больницы было построено в 1907-1910 гг. в г. Казани на деньги купца Я.Ф. Шамова и названо его именем. Проект здания был разработан казанским архитектором К.С. Олешкевич совместно с врачами. Выполненное в стиле модерн трехэтажное здание стало архитектурным памятником города. В плане здание симметричной Ш-образной формы, с одноэтажными пристройками, выложено из красного кирпича. С 2009 года здание Шамовской больницы закрыто на реконструкцию.

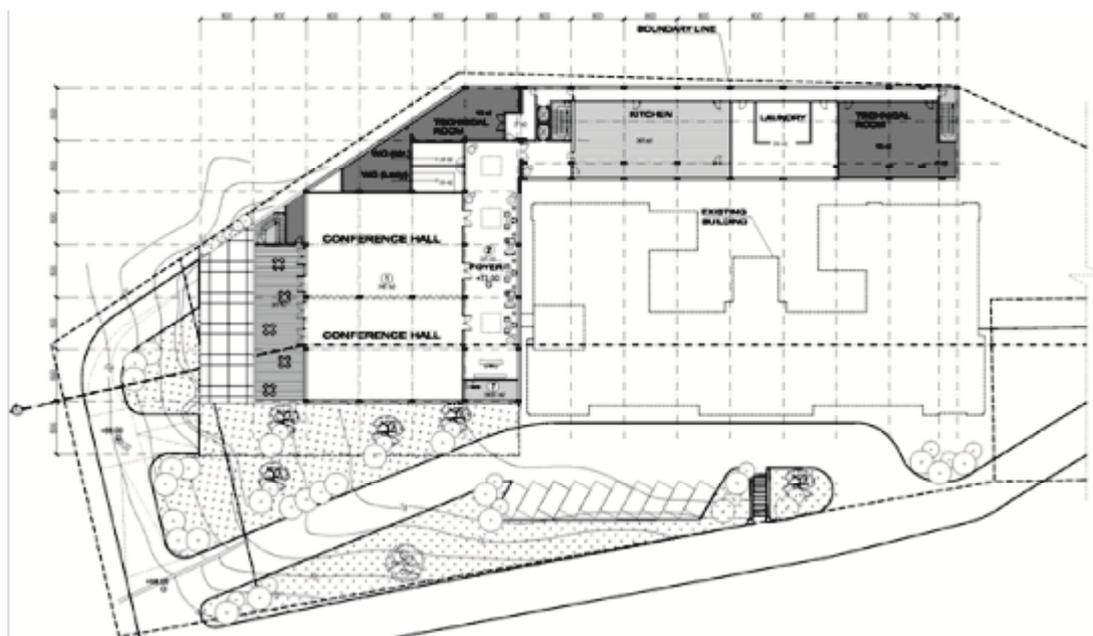


Рис. 1. Схематический план -1 этажа подземного пристроя к зданию Шамовской больницы

Архитектурный замысел реконструкции здания предполагает переоборудование здания под пятизвездочный отель, в котором будут размещены конференц-зал, спа-комплекс, парковка, рестораны и магазины (рис. 1). Реконструкция здания предполагает строительство 4-х этажного пристроя к существующему зданию в подземном исполнении (рис. 2). При этом прежний облик Шамовской больницы будет сохранен [1].

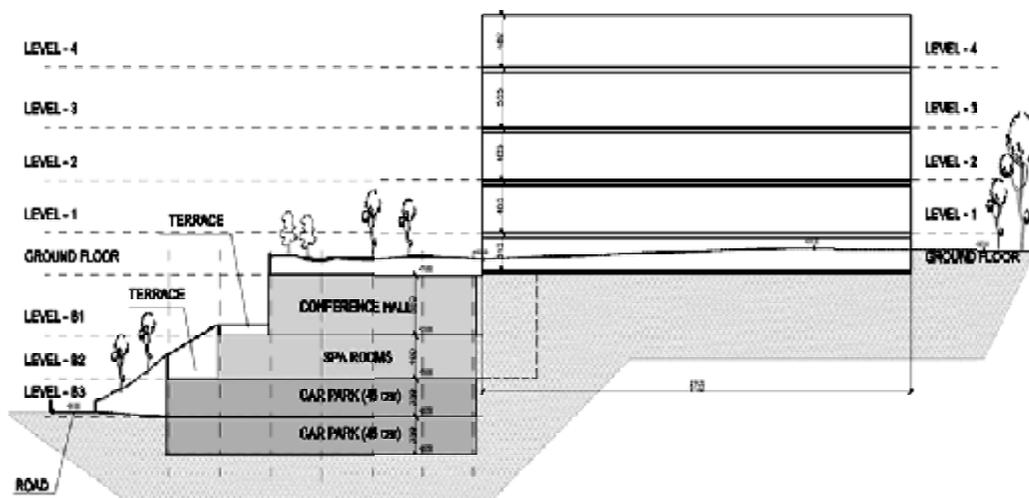


Рис. 2. Схематический разрез по зданию

В геоморфологическом отношении территория здания расположена на аллювиальной среднелепистоценовой четвертой левобережной террасе долины р. Волги ( $df^4Q_{II}$ ), осложненной в районе изысканий эрозионными формами рельефа (овражно-балочная сеть). По данным проходки разведочных скважин (рис. 3) в сфере взаимодействия реконструируемых и проектируемых зданий и сооружений с геологической средой принимают участие четвертичные аллювиально-делювиальные отложения ( $ad^4Q_{II}$ ), перекрытые сверху современными техногенными грунтами ( $t_{IV}$ ). Максимальная мощность техногенного слоя составляет 2,2 м. Техногенные грунты распространены с поверхности и представлены, в основном, хаотичной смесью суглинка, супеси, песка, почвы, строительных отходов, древесных и растительных остатков. Под насыпными грунтами залегают четвертичные аллювиально-делювиальные суглинки и пески. Суглинки различные по числу пластичности (от легких до тяжелых) и показателю текучести (от твердых до мягкопластичных), участками известковистые, ожежененные, с прослойками и линзами песка и супеси. Пески, преимущественно, мелкие, в средней части разреза средней крупности, полимиктовые, реже кварцевые, участками с прослойками суглинка и супеси. В пределах исследуемой площадки отмечается наличие просадочных суглинистых грунтов (ИГЭ № 3) мощностью 0,6-5,6 м. Суглинки полутвердые и твердые, залегающие в активной зоне деформирования грунтов, обладают при замачивании неравномерными просадочными свойствами. Начальное просадочное давление колеблется в пределах 0,103-0,205 МПа [2].

При реализации предложенных архитектурных решений возникает ряд проблем, одна из которых состоит в том, что по результатам обследования технического состояния строительных конструкций здания, несущая способность грунтов основания недостаточна для восприятия эксплуатационных нагрузок, возникающих после реконструкции. К тому же, в кирпичных стенах уже имеются магистральные трещины, происхождение которых вероятно связано также и с близким расположением бровки оврага. Все это требует укрепления грунтов основания здания, при проектировании которого необходимо также учесть и наличие в пределах сжимаемой толщи основания слоя просадочных грунтов ИГЭ № 3.

Вторая, более сложная задача, заключается в том, что 4-х этажный подземный пристрой к существующему зданию, проектируемый в котловане глубиной порядка 20 м, будет находиться в непосредственной близости (на расстоянии 0,5 м) от фундамента торцевой стены здания по оси «1». В связи с этим возникают вопросы сохранения

устойчивости основания фундаментов и самого здания Шамовской больницы как в процессе строительства и реконструкции, так и при ее дальнейшей эксплуатации.

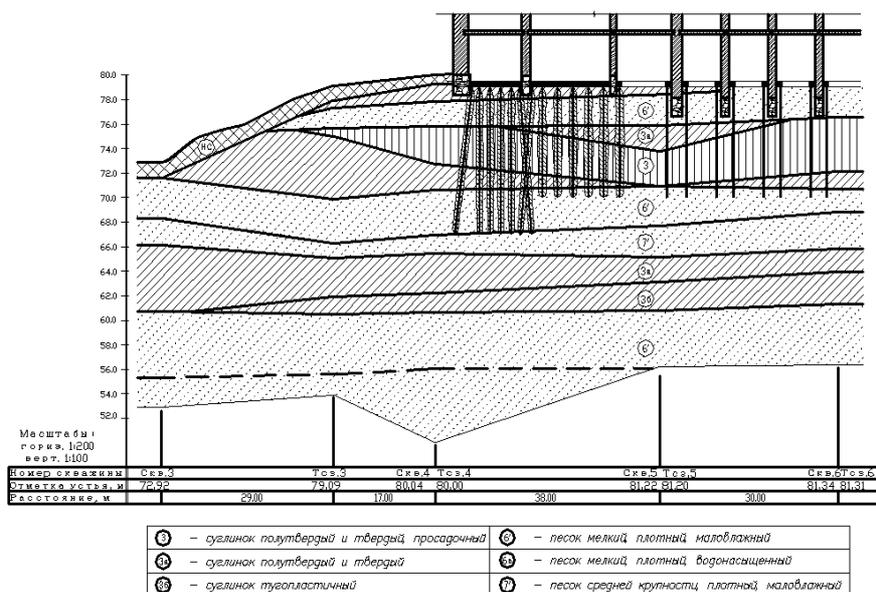


Рис. 3. Инженерно-геологический разрез и усиление существующих фундаментов

Авторами статьи были предложены технические решения усиления оснований и фундаментов существующего здания Шамовской больницы, а также конструкция подпорной стены между существующим зданием и вновь возводимым подземным пристроем в глубоком котловане. Предложенные решения необходимо рассматривать как единый комплекс мероприятий, призванных обеспечить несущую способность и устойчивость оснований, фундаментов и здания Шамовской больницы в целом на время реконструкции и дальнейшей эксплуатации, а также обеспечивающих безопасные условия производства работ при строительстве подземного пристроя.

В рамках выполненного рабочего проекта авторами были решены следующие задачи:

- разработка технического решения по усилению оснований и фундаментов существующего здания Шамовской больницы;
- разработка конструктивного решения ограждающей конструкции котлована;
- разработка мероприятий, обеспечивающих устойчивость ограждения на время разработки грунта в котловане и при дальнейшей эксплуатации;
- разработка технологической последовательности устройства ограждения и разработки грунта в котловане.

Технические решения по усилению оснований фундаментов существующего здания Шамовской больницы позволяют комплексно решать следующие задачи:

1. Пересадить часть здания в осях «1-4» на новый фундамент и тем самым минимизировать влияние технологических процессов по устройству глубокого котлована в непосредственной близости от фундамента стены по оси 1 на техническое состояние несущих и ограждающих конструкций.

2. Уменьшить перемещения стены в грунте, т.к. элементы усиления оснований фундаментов играют роль гравитационного анкера и ограничивают перемещения верхней точки стены в грунте при экскавации грунта из котлована.

3. Уменьшить боковое давление грунта основания существующего здания на ограждающую конструкцию глубокого котлована до 25 % вследствие изменения напряженно-деформированного состояния грунта в пределах призмы обрушения за счет передачи части усилий на армирующие элементы.

4. Разгрузить просадочную толщу грунтов основания фундаментов существующего здания в случае прогнозного замачивания грунтов всего массива склона, на котором располагается площадка строительства.

В целях оптимизации затрат на выполнение работ по усилению оснований и фундаментов существующее здание в плане условно было разбито на 2 части, где были использованы разные конструктивные решения усиления оснований и фундаментов.

Так, на участке в осях «4-14» усиление оснований и фундаментов было решено производить путем частичной передачи нагрузки на вертикальные буроинъекционные сваи  $\varnothing 150$  мм длиной 9 м. Длина свай принята исходя из необходимости полной прорезки ими слоя просадочного грунта ИГЭ № 3 и передачи нагрузки на мелкие плотные пески (ИГЭ № 6). Сваи объединяются между собой монолитным железобетонным ленточным ростверком сечением  $500 \times 500$  мм, а передача на них нагрузок от стен здания осуществляется посредством сквозных металлических прокатных балок, обетонированных в бутовой кладке фундаментов.

На участке здания в осях «1-4» было решено пересадить существующие фундаменты здания на железобетонную монолитную фундаментную плиту толщиной 500 мм на укрепленном искусственном основании. Для укрепления грунтов выбрана технология высоконапорной инъекции в грунт цементного раствора в проектном количестве через специальные инъекторы из труб  $\varnothing 57$  мм, расположенных с определенным шагом как под всей вновь устраиваемой фундаментной плитой, так и под существующими бутовыми фундаментами. Неизвлекаемые трубы-инъекторы, принятые длиной 9 м и 12 м, работают в качестве армирующих элементов. Данный метод укрепления грунтов позволяет создавать в грунте жестко-армированный массив, обладающий малой сжимаемостью, т.к. цементный раствор после твердения становится практически несжимаемым, а грунт вокруг инъектора в процессе нагнетания раствора под большим давлением также уплотняется. Кроме того, наличие армирующих элементов в грунте будет способствовать снижению бокового давления грунта оснований существующего здания на ограждающую конструкцию котлована.

В качестве основных несущих элементов ограждающей конструкции котлована были приняты буронабивные сваи  $\varnothing 1000$  мм и длиной порядка 33 м, объединенные по верху ленточным ростверком, который соединяется через сквозные арматурные стержни с фундаментной плитой усиления существующего здания. В таком случае при расчете ограждающей конструкции на боковое давление грунта верх стены можно считать закрепленным на уровне фундаментной плиты усиления.

Как отмечалось, глубина котлована достигает 20 м, что диктует необходимость устройства многоярусного крепления подпорной стены по высоте. На данном этапе из двух рассмотренных способов крепления (распорное, анкерное) было выбрано распорное крепление, как наиболее надежное и поддающееся контролю качества выполнения работ.

По причине того, что котлован не имеет противоположной стенки, отсутствовала возможность передачи на нее распорного усилия, поэтому в качестве опорной конструкции было решено использовать частично возведенный в котловане монолитный железобетонный каркас нового здания. Для обеспечения устойчивости ограждающей конструкции до момента установки распорной системы предполагается использовать пассивное давление пригрузочной грунтовой бермы вдоль стены по оси «1» (рис. 4).

Таким образом, в целях обеспечения возможности безопасного возведения подземного пристроя к зданию Шамовской больницы, была предложена следующая технологическая последовательность проведения работ:

- устройство ограждения котлована из буронабивных свай  $\varnothing 1000$  мм и объединяющего ростверка по верху свай с обеспечением анкеровки с плитным фундаментом усиления здания;
- разработка грунта откоса до отметки подошвы фундамента вновь строящегося здания до отм. -24.900 с оставлением грунтовых берм вдоль стены в грунте (рис. 4);
- частичное (в пределах 4-х пролетов) возведение монолитного ж/б каркаса подземного пристроя;
- поярусная разработка грунта берм в котловане и установка распорной системы крепления ограждающей стенки с передачей усилия от распорок на перекрытия каркаса на отм. -10.750, -15.700, -19.750;
- устройство плитных фундаментов монолитного каркаса подземного пристроя;
- поярусный демонтаж распорной системы с параллельным бетонированием плит перекрытий (рис. 5).

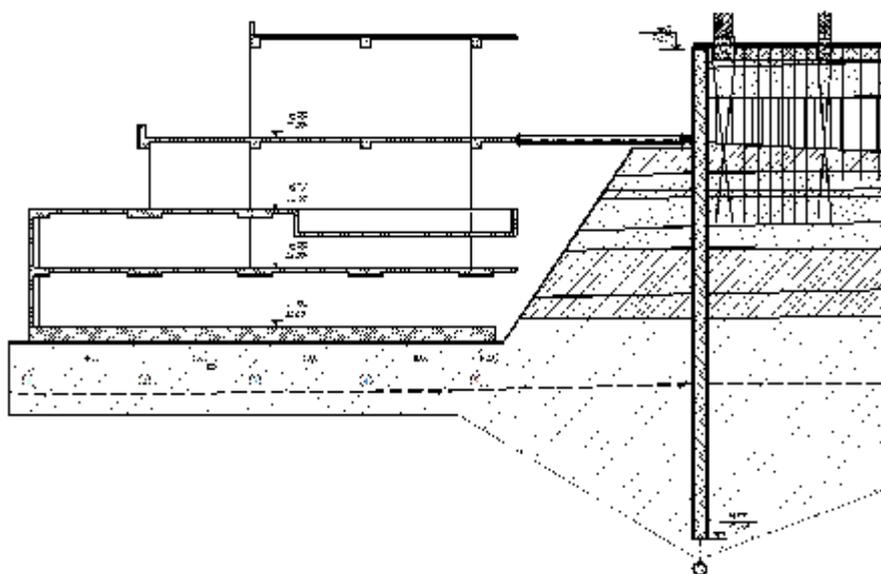


Рис. 4. Установка первого яруса распорной системы с опиранием на монолитный каркас, разрез грунтовой бермы

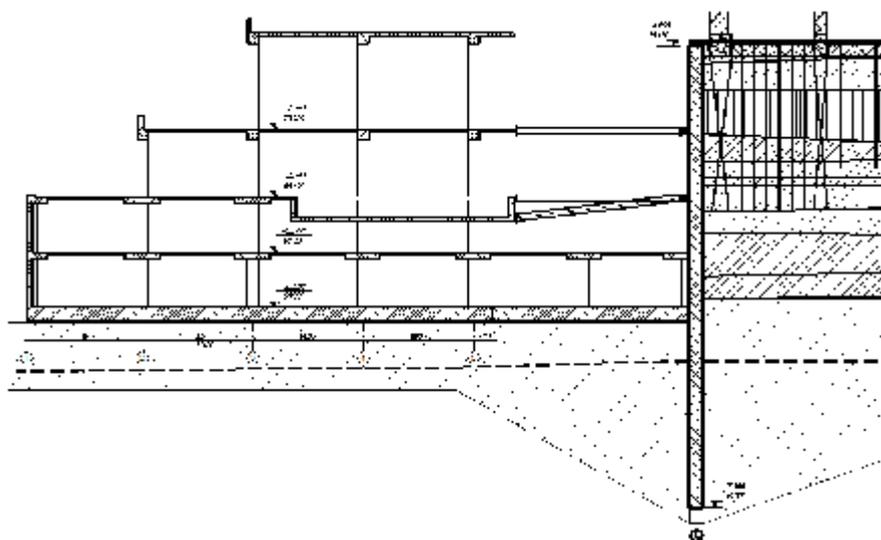


Рис. 5. Демонтаж распорной системы и бетонирование оставшейся части монолитного каркаса

Расчет ограждения котлована из буронабивных свай выполнен в программном комплексе Лира 9.4 для поэтапной (в 4 этапа) разработки грунта в котловане.

Основываясь на опыте проектирования подобных сооружений, глубина заделки стены ниже дна котлована предварительно принята 13 м, при этом общая высота проектируемого ограждения котлована составила 33 м.

Для выполнения расчета ограждающей конструкции были построены эпюры активного  $\sigma_a$  и дополнительных давлений  $\sigma_q$  на ограждение котлована, определяемые по формулам [3]:

$$s_a = g \lambda_a - \frac{c}{tgj} [1 - l_a], \tag{1}$$

$$s_q = q \lambda_a, \tag{2}$$

где  $\lambda_a$  – коэффициент активного давления грунтов, определяемый по формуле:

$$l_a = \frac{\frac{e}{\sigma_1} \frac{e}{\sigma_1} \cos j}{\frac{e}{\sigma_1} \frac{e}{\sigma_1} + \sqrt{\frac{\sin(j+d)\sin j}{\cos d}}} \frac{c^2}{c^2}, \tag{3}$$

здесь  $\varphi$  – угол внутреннего трения грунта,  $\delta$  – угол трения грунта на контакте со стенкой.

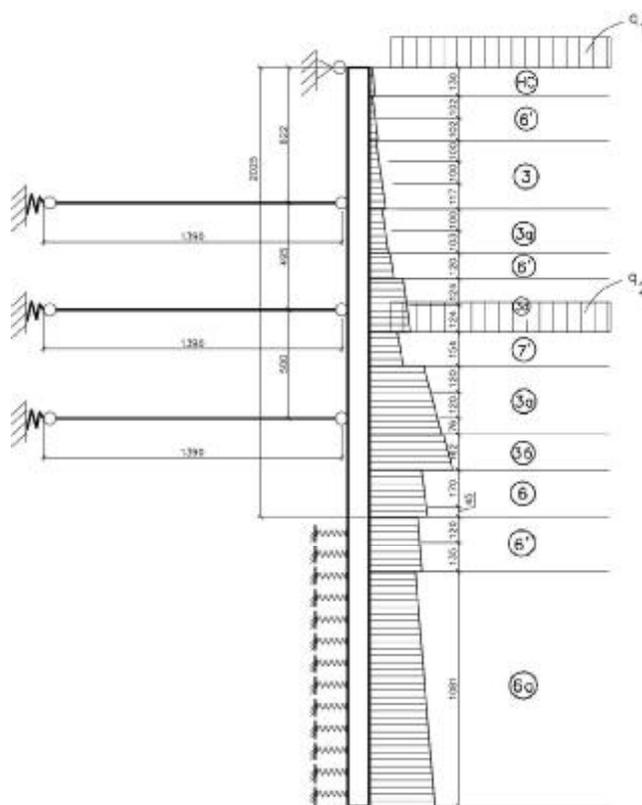


Рис. 6. Расчетная схема ограждающей конструкции на 4 этапе разработки грунта

Дополнительное давление на грунт, передаваемое от фундаментов существующего здания, расположенного в непосредственной близости, принято в виде сплошной равномерно распределенной нагрузки на глубине 12 м (на уровне низа инъекторов усиления существующего здания) интенсивностью  $q = 108$  кПа (рис. 6).

На каждом этапе разработки грунта нижняя часть ограждения котлована, находящаяся ниже промежуточного дна котлована, моделировалась как балка на упругом основании, с использованием соответствующих коэффициентов постели в зависимости от вида грунта и глубины расположения слоя. Распорки из стальных труб передают усилие на монолитный каркас конечной жесткости, поэтому в расчетной схеме опоры приняты податливыми, характеристики которых приняты исходя из податливости железобетонного каркаса на горизонтальную нагрузку (рис. 7).

В результате расчетов получены эпюры внутренних усилий в сечениях ограждающей конструкций котлована, определены усилия в распорках на всех этапах разработки грунта.

Как показали расчеты, качественная и количественная картина изгибающих моментов и усилий в распорках изменяется на каждом этапе. Так, по мере разработки грунта усилия в верхних распорках уменьшаются от 3 до 8 раз. Причем наибольшая концентрация усилий наблюдается всегда в самом нижнем ярусе для любого этапа разработки грунта.

Изгибающие моменты, в свою очередь, при установке очередного яруса распорок меняют свой знак, растянутые и сжатые зоны бетона оказываются то с одной, то с другой стороны ограждающей конструкции котлована. Однако абсолютные значения изгибающих моментов при этом кардинально не изменяются, максимальные значения моментов на каждом этапе отличаются в пределах 1,5-2 раз.

Требуемое армирование ограждающей конструкции из буронабивных свай и сечения распорок из стальных труб подобраны по максимальным значениям внутренних усилий.

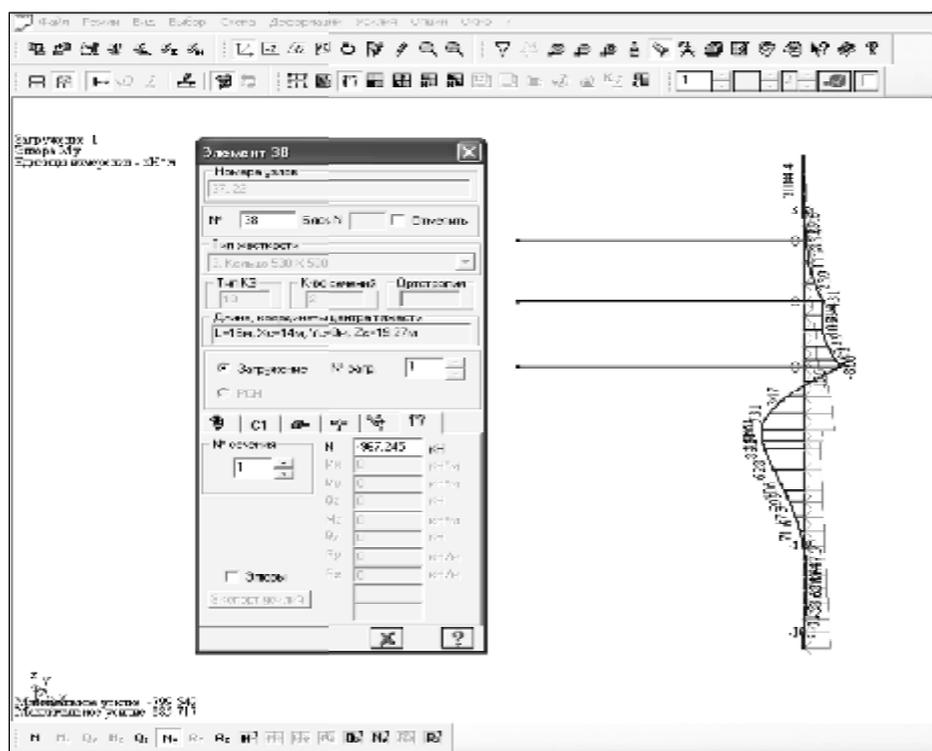


Рис. 7. Эпюра изгибающих моментов в ограждающей конструкции на 4 этапе разработки грунта

Как известно, круглые сечения в условиях изгиба работают неэффективно, т.к. при равномерном расположении арматуры по периметру сечения стержни, находящиеся около нейтральной линии, практически не участвуют в восприятии изгибающего момента. Поэтому для полученного по результатам расчета значения максимального изгибающего момента на 1 п.м. ограждения для 4-го этапа разработки грунта  $M_{\max}=885,7$  кН·м потребовалась установка 20 стержней  $\varnothing 28$  мм арматуры класса А400.

Распорки запроектированы в 3 яруса с шагом двух верхних ярусов 3 м, для нижнего яруса 2 м при диаметре стальных труб 530 мм. В местах передачи распорного усилия на плиты перекрытия по линии технологического шва бетонирования плит предусмотрена установка закладных элементов в виде двух стальных пластин соединенных прокатным швеллером № 22 для удобства крепления распорок и исключения смятия бетона плит перекрытия от сосредоточенного распорного усилия.

Максимальное смещение стены от прогиба ограждения, сжатия распорок и деформации монолитного каркаса и грунта в зоне заделки по результатам расчетов составило 19 мм, что не превышает допустимое значение.

Достаточность предварительно принятой заделки ограждающей конструкции ниже дна котлована была проверена расчетом устойчивости пригруженного весом здания грунтового массива на глубокий сдвиг, для чего был использован метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения. Коэффициент устойчивости грунтового массива составил 1,9 при минимально допустимом 1,3.

### Заключение

1. Разработана технологическая последовательность проведения работ в целях обеспечения возможности безопасного возведения подземного пристроя к существующему зданию.

2. Выполнены расчеты несущей способности и устойчивости ограждающей конструкции котлована на всех этапах разработки грунта. Установлены значения перемещений ограждения котлована, требуемое армирование, и разработана конструкция армокаркаса буронабивных свай.

3. Выполнена проверка грунтового массива, ограниченного стеной из

буронабивных свай и пригруженного близко расположенным существующим зданием на потерю устойчивости по круглоцилиндрической поверхности скольжения.

4. Для проведения наблюдения за поведением вновь строящегося и существующего здания, своевременного выявления дефектов, предупреждения и устранения имеющихся отклонений, а также оценки правильности принятых методов расчета и проектных решений необходимо установить геотехнический мониторинг за состоянием строящегося и существующего зданий.

#### Список библиографических ссылок

1. Проект реконструкции объекта: «Здание Шамовской больницы г. Казани 1908 г., архитектор К.С. Олешкевич». Раздел АС. ООО «НПФ «Рекон+». – Казань, 2015.
2. Технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий, выполненных на объекте: «Реконструкция и строительство зданий и сооружений на территории Шамовской больницы по ул. Калинина, 5/24 в г. Казани РТ», Предприятие «МарийскТИСИЗ». – Йошкар-Ола, 2015.
3. Основания, фундаменты и подземные сооружения / Под общ. ред. Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с.
4. Мирсаяпов И.Т., Хасанов Р.Р. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния гибких ограждений с распоркой в процессе поэтапной разработки грунта // Известия КГАСУ, 2011, № 2 (16). – С. 129-135.
5. Мирсаяпов И.Т., Сафин Д.Р. Экспериментальные исследования НДС грунтового массива при совместном деформировании с ограждающей конструкцией консольного типа в процессе поэтапной разработки котлована // Известия КГАСУ, 2011, № 3 (17). – С. 79-84.
6. Мирсаяпов И.Т., Хасанов Р.Р., Сафин Д.Р. Проектирование ограждения глубокого котлована жилого комплекса в условиях стесненной городской застройки // Известия КГАСУ, 2015, № 1 (32). – С. 183-191.
7. Мирсаяпов И.Т., Хасанов Р.Р., Сафин Д.Р. Ограждающая конструкция котлована и конструкции, обеспечивающие устойчивость ограждения здания Шамовской больницы (1908 г., арх. К.С. Олешкевич) РТ, г. Казань, ул. Калинина, д. 5/24. Пояснительная записка к проекту. – Казань, 2015. – 68 с.
8. Мирсаяпов И.Т., Королева И.В. Прогнозирование деформаций оснований фундаментов с учетом длительного нелинейного деформирования грунтов // Основания, фундаменты и механика грунтов, 2011, № 4. – С. 16-23.
9. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Bearing capacity and deformation of the base of deep foundations' ground bases // Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground: Proc. intern. symp., Seoul, Korea, 25-27 August 2014. – Lieden: Balkema, 2014. – P. 401-404.

**Mirsayapov I.T.** – doctor of technical sciences, professor

E-mail: [mirsayapov1@mail.ru](mailto:mirsayapov1@mail.ru)

**Khasanov R.R.** – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [rubis.hasanov@yandex.ru](mailto:rubis.hasanov@yandex.ru)

**Safin D.R.** – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [d.safin@list.ru](mailto:d.safin@list.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

#### Research of foundation pit enclosing structure of subterranean additional building during reconstruction of the Shamovskiy Hospital in Kazan

##### Resume

The article presents the technical solutions for the reconstruction of the Shamovskiy hospital building – an architectural monument, built in 1907-1910 in Kazan. Reconstruction

involves the construction of a fourstoreyed additional building to the existing building in the underground design. With implementation of the proposed architectural solutions, a number of issues related to the sustainability of the base foundations in the development of a deep excavation in the vicinity of the building take place.

The authors proposed solutions to strengthen the bases and foundations of the existing building of the Shamovskiy hospital – the construction of retaining wall. As part of the detailed design, the authors have solved the following problems:

- development of technological solutions to strengthen the bases and foundations of the existing Shamovskiy hospital building;
- development of a constructive solution of foundation pit enclosing structure;
- developing measures to ensure the stability of enclosing structure at the time of excavation of soil in the foundation pit and further exploitation;
- development of technological sequence of fencing and excavation of soil in the foundation pit.

In order to strengthen the base and the foundations of the existing building it is recommended to apply the CFA piles and high-pressure injection of grout into the ground base. Stability of enclosing structure from bored piles is provided by combined system of a dirt berm and a multi-tiered system of the spacer.

**Keywords:** deep foundation pit, foundation pit enclosing structure, CFA piles, high-pressure grouting, bored piles, spacer system, a profound shift, a soil berm, stability.

### Reference list

1. The project of reconstruction of the object: «The building of the Shamovskiy Hospital of Kazan 1908, Arch. K.S. Oleshkevich» Section QOL. Ltd «NPF «Recon +». – Kazan, 2015.
2. Technical report on the geotechnical surveys on the subject: «Reconstruction and construction of buildings and structures on the territory of Shamovskiy Hospital in Kazan, RT», Enterprise «MariyskTISIz». – Kazan, 2015.
3. Bases, foundations and underground structures / Under the general editorship of E.A. Sorochan and Y.G. Trofimenkov. – M.: Stroyizdat, 1985. – 480 p.
4. Mirsayapov I.T., Khasanov R.R. Experimental studies of stress-strain state of flexible barriering design with bracing in the process of the phased excavation of the soil // *Izvestiya KGASU*, 2011, № 2 (16). – P. 129-135.
5. Mirsayapov I.T., Safin D.R. Experimental surveys of deflected state of soil body consistent with rabbit in the process of graded excavation of ditch // *Izvestiya KGASU*, 2011, № 3 (17). – P. 79-84.
6. Mirsayapov I.T., Khasanov R.R., Safin D.R. Design fence of deep foundation pit of the residential complex in a congested urban area // *Izvestiya KGASU*, 2015, № 1 (32). – P. 183-191.
7. Mirsayapov I.T., Khasanov R.R., Safin D.R. Walling excavation and construction of the sustainability of the building fences Shamovskoy Hospital (1908, Arch. K.S. Oleshkevich) RT, Kazan, ul. Kalinina, d. 5/24. The explanatory note to the project. – Kazan, 2015. – 60 p.
8. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Prediction of deformation of the foundation with the long-term non-linear deformation of soil // *Osnovaniya, Fundamenty i Mekhanika Gruntov*, 2011, № 4. – P. 16-23.
9. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Bearing capacity and deformation of the base of deep foundations' ground bases // *Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground: Proc. intern. symp., Seoul, Korea, 25-27 August 2014.* – Lieden: Balkema, 2014. – P. 401-404.