

*д.т.н. Солодянкин А.В.,
к.т.н. Выгодин М.А.,
Андронович Е.В.,
Рубан Н.Н.,*

(Государственный ВУЗ «НГУ», г. Днепропетровск, Украина

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЕКТИРУЕМОГО ЗДАНИЯ С УЧЕТОМ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ФУНДАМЕНТОВ

Наведені результати численних досліджень зміни напружено-деформованого стану ґрунтової основи при взаємному впливі фундаментів близько розташованих будівель. Обґрунтована максимальна висота будівлі, що проектується, при використанні плитного фундаменту.

Ключові слова: *реконструкція будівель, напружено-деформований стан, взаємний вплив фундаментів.*

Приведены результаты численных исследований изменения напряженно-деформированного состояния грунтового основания при взаимном влиянии фундаментов близкорасположенных зданий. Обоснована максимальная высота проектируемого здания при применении плитного фундамента.

Ключевые слова: *реконструкция зданий, напряженно-деформированное состояние, взаимное влияние фундаментов.*

Введение. Дальнейшее развитие городов предполагает увеличение площади застройки с повышением эффективности их использования. Строительство зданий в пригородных, удаленных от центра районах, приводит к значительным затратам земельных ресурсов, потере природных зеленых зон, росту затрат на транспортные и инженерные коммуникации.

Поэтому учреждения и инвесторы заинтересованы в поиске территорий в пределах существующей застройки центральной части города. Однако в настоящее время практически все центральные районы крупных городов плотно застроены. Между тем, по оценкам специалистов, масштабная урбанизация требует увеличения полезной площади административных помещений на 150% [1].

Один из путей разрешения этой проблемы заключается в повышении эффективности эксплуатации застроенных площадей путем реконструкции, надстройки, уплотнения существующей застройки, много-

этажного строительства, а также использования подземного пространства городов.

Характерным для настоящего времени является появление проектов реконструкции как отдельных зданий, так и целых их комплексов и кварталов. В качестве примеров можно привести проект реконструкции Уральского геологического музея [2], Национальной академии наук Украины [3], строительство бизнес центра «Леонардо» [4] и др.

Строительство новых многоэтажных зданий многофункционального назначения, подземных комплексов и паркингов в сложившихся исторических центрах городов требует устройства массивных фундаментов вблизи соседних зданий и исторических памятников архитектуры. Пристройка вызывает определенные сложности, связанные с сохранением состояния существующих зданий и основы под ними.

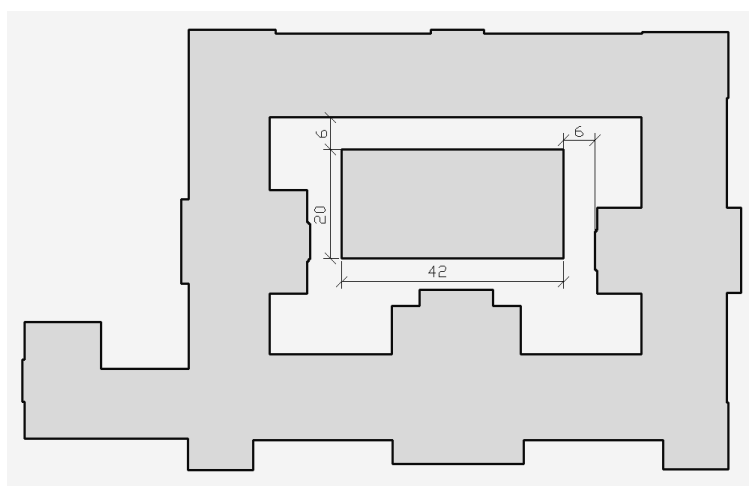
Многие из существующих сооружений, рядом с которыми ведется строительство, имеют фундаменты неглубокого заложения. Устройство новых фундаментов, котлованов, использование подземного пространства под паркинги и другие объекты нарушают равновесное напряженно-деформированное состояние грунтового основания и, в большинстве случаев, негативно влияют на существующие конструкции зданий.

В этих условиях важную роль играет инженерное обоснование конструкции объектов и технологии их строительства, которые должны обеспечить минимальные изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) основания и фундамента.

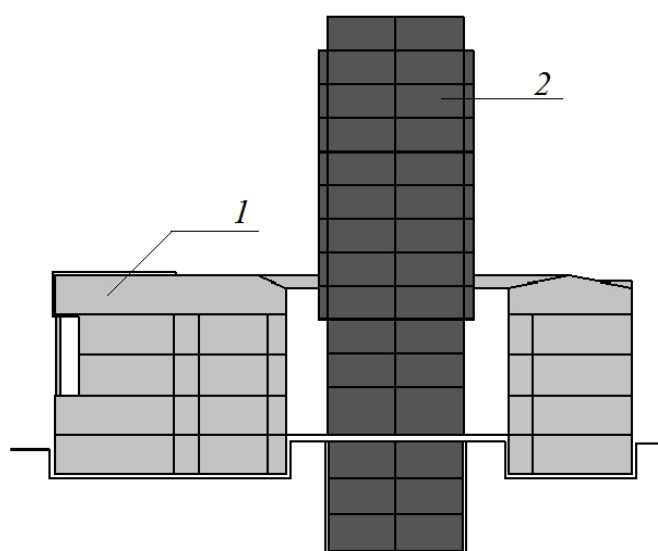
Существующие нормы и эмпирические зависимости, при оценке влияния нового строительства на существующие конструкции, в основном построены на упрощенной расчетной схеме и, как следствие, имеют существенные погрешности в расчетах, что не позволяет учитывать многих параметров, как самого фундамента, так и окружающего грунта.

Возможность обеспечения надежного и экономичного решения дает анализ взаимодействия системы «существующее здание-основание-пристраиваемая конструкция», который эффективно проводить с применением методов численного моделирования.

В настоящее время на кафедре строительства и геомеханики Национального горного университета рассматривается проект реконструкции территории и зданий НГУ. Проект включает в себя строительство подземного гаража, подземного аудиторно-лабораторного комплекса, а также высотного здания (рисунок 1). Новое здание вписывается внутрь существующего главного корпуса университета и имеет подземную часть, где предполагается размещение помещений книгохранилища, архива, технических служб и других, не требующих постоянного присутствия людей.



а)



б)

Рисунок 1 – Проект реконструкции главного корпуса Национального горного университета: а – план зданий, б – схема расположения и конструкция старого (1) и нового (2) зданий

Новое здание проектируется достаточно близко к существующему и его строительство не должно привести к деформациям основания и повлиять на целостность соседнего. При этом необходимо учесть конкретные геологические и гидрогеологические условия строительства.

Целью исследований, изложенных в данной статье, является определение параметров проектируемого здания в рассматриваемых горно – геологических и гидрогеологических условиях строительства с учетом взаимного влияния фундаментов.

Исходные данные для проведения численных исследований.

Проектируемое здание представляет собой каркасно-монолитную железобетонную конструкцию на плитном фундаменте. Подземная часть здания составляет 3 этажа. Между зданиями предусматривается устройство атриумного пространства.

Главный корпус Национального горного университета – трехэтажное здание с подвалом, построенное в 1904-1924 годах. Несущие стены выполнены из кирпича, кровля – из кровельного железа на деревянных стропилах, перекрытия – железобетонные монолитные, фундамент – ленточный бутобетонный. Состояние конструкций здания хорошее. Геологический разрез места строительства показан на рисунке 2.

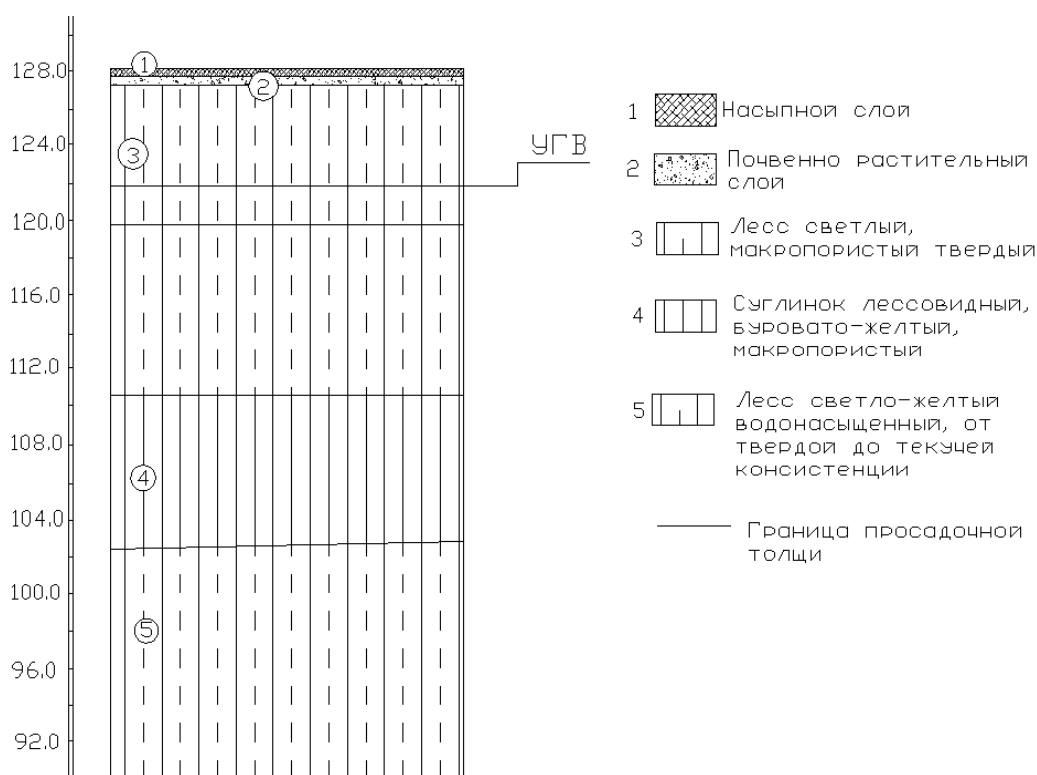


Рисунок 2 – Геологический разрез места строительства здания

На основании результатов выполненных инженерно-геологических, лабораторных и опытных работ в отношении условий строительства сделаны следующие выводы:

- исследуемая площадка представлена комплексом эолово-делювиальных отложений четвертичного возраста;

- грунты слоев № 1 – насыпной и № 2 – почвенно-растительный, вследствие своей неоднородности, разрыхленности, остатков корней и растений, не могут быть использованы естественным основанием здания. Суммарная мощность нестроительных грунтов 0,5-0,8 м;

- в качестве естественного основания проектируемого сооружения могут служить грунты слоев № 3, 4 и 5 ниже глубины 8,0 м от поверхности земли, т.е. ниже подошвы просадочного слоя до глубины 12,0 м;

- исследуемая толща лессовых грунтов в пределах исследуемой площадки проявляет просадочные свойства от замачивания под нагрузкой $2,5 \text{ кг/см}^2$. Суммарная величина просадки под нагрузкой $2,5 \text{ кг/см}^2$ составляет 54,06 см. Исследуемая площадка по грунтовым условиям относится к первому типу просадочности, т.к. при замачивании под нагрузкой собственного веса исследуемые грунты просадочных свойств не проявляют;

- уровень грунтовых вод находится на глубине 12 м от поверхности;

- по данным химического анализа водная среда не обладает агрессивными свойствами по отношению к бетонам.

Учитывая вышеизложенное, для проектируемого здания принимается монолитный плитный фундамент, подошва которого находится на глубине 10 м от поверхности.

Одним из определяющих факторов влияющим на обоснование проектов по пристройке и реконструкции является техническое состояние существующего здания. В результате проведенного обследования состояние главного корпуса оценивается как нормальное, т.е. фактические усилия в элементах и сечениях не превышают допустимых, отсутствуют дефекты и повреждения, которые препятствуют нормальной эксплуатации, или снижают несущую способность или долговечность здания.

Конструкция главного корпуса НГУ и его техническое состояние, согласно инструкций и классификации, разработанных в СПбГАСУ, здание относится к первой категории. Для данной категории предельно допустимая величина дополнительных осадок составляет 4 см, предельно допустимый перекося на участке примыкания 0,003, предельный дополнительный крен 0,004 [5].

Для построения модели элементов зданий и исследования НДС основания были определены нагрузки, передаваемые зданиями на грунтовое основание. Сбор нагрузок на основание существующего здания первого корпуса НГУ выполнен в соответствии со схемой, представленной на рисунке 3 – для наиболее нагруженного участка периметра, граничащего с проектируемым зданием. Сбор нагрузок на плитный фундамент от проектируемого здания выполнен в соответствии со схемой, представленной на рисунке 4.

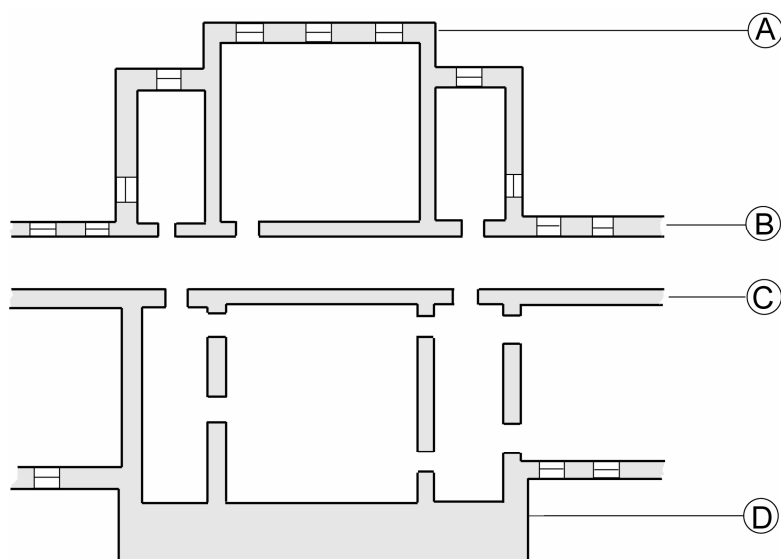


Рисунок 3 – Эскиз площади сбора нагрузок для главного корпуса НГУ

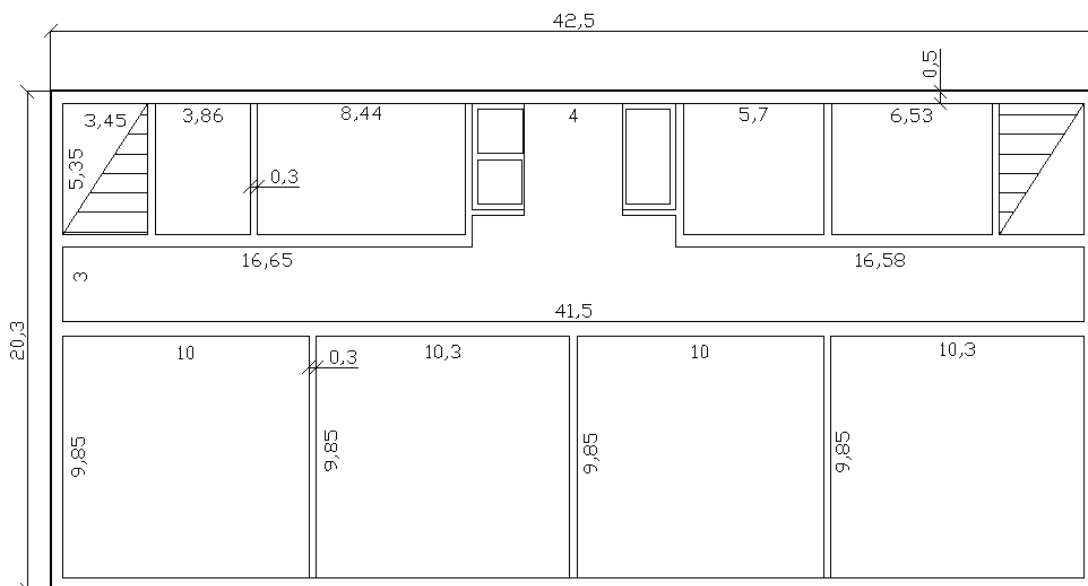


Рисунок 4 – План этажа проектируемого здания

Исследование напряженно-деформированного состояния основания главного корпуса НГУ при пристройке к нему нового здания. Для исследования НДС грунтового основания зданий от нагрузки на фундамент существующего и пристраиваемого, принята расчетная схема, показанная на рисунке 5.

Исходными данными для построения модели являлись: физико-механические параметры слоев основания, параметры фундаментов зданий, нагрузки передаваемые фундаментами на основание.

Согласно принятой математической модели, основание представлено весомой линейно-деформируемой средой. Все напряжения и деформации определяются как для линейно-деформируемого полупро-

странства. Деформационные свойства среды определены модулем деформации и коэффициентом Пуассона слоев грунта.

Так как давление под подошвой фундаментов должно быть меньше расчетного сопротивления грунта, то развитие пластических деформаций не учитывается. Решение проводится по «упругой схеме» [6].

Фундаменты представлены как абсолютно жесткие тела, нагруженные нормальной равномерно распределенной нагрузкой.

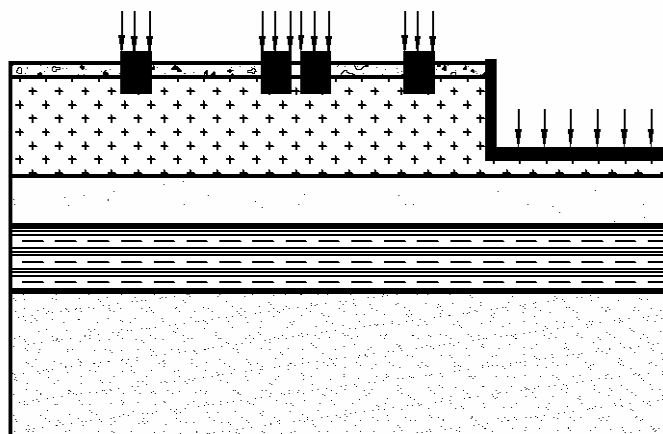
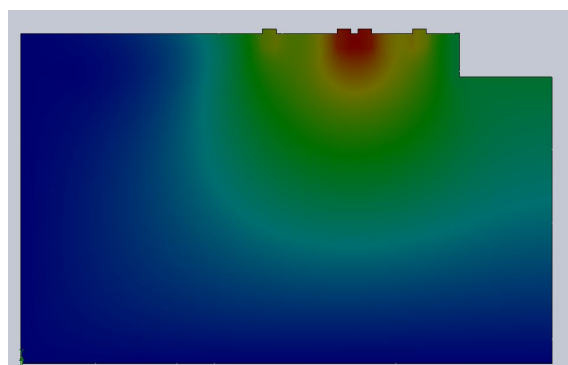


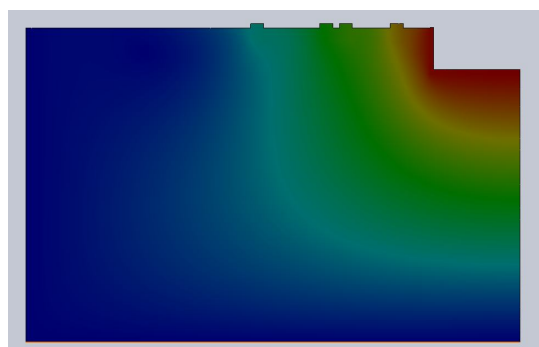
Рисунок 5 – Расчетная схема участка с наиболее неблагоприятным влиянием фундаментов

Для решения задачи использовался метод конечных элементов. Исследуемая область аппроксимировалась треугольными элементами. Для решения задачи выполнялся последовательный расчет вариантов, в каждом из которых изменялась нагрузка на плитный фундамент. Шаг изменения нагрузки пропорционален нагрузке от одного этажа.

Для получения величины дополнительной осадки, на каждом этапе определялось перемещение в узлах подошвы ленточного фундамента (рисунок 6).



а)



б)

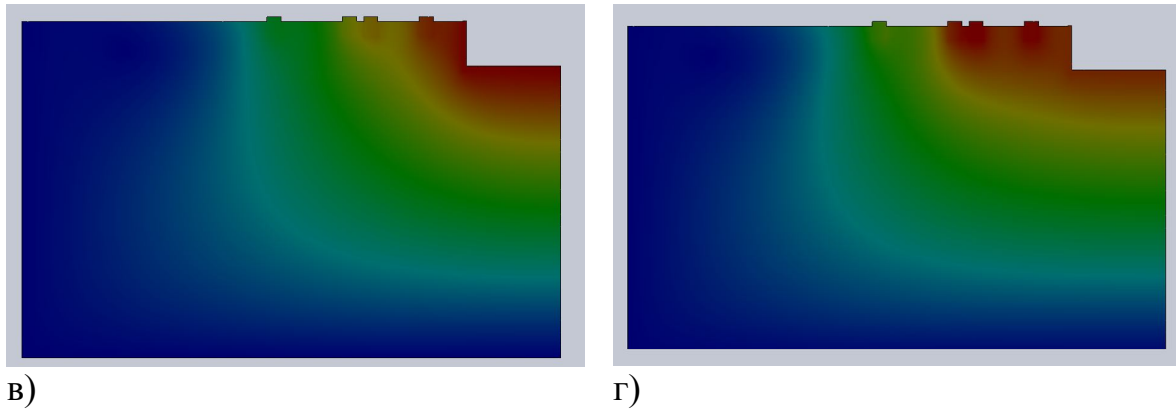


Рисунок 6 – Изменение перемещений при увеличении нагрузки на плитный фундамент:

а – $N=0$; б – $N=0.5 \text{ кг/см}^2$; в – $N=1 \text{ кг/см}^2$; г – $N=2 \text{ кг/см}^2$.

На основании результатов пошагового моделирования, были получены данные, позволяющие определить зависимость величины дополнительных осадок ленточного фундамента существующего здания $S_{дон}$ от нагрузки P на плитный фундамент нового здания (рисунок 7).

Эта зависимость описывается уравнением:

$$S_{дон} = 0.137P + 2.248 \quad (1)$$

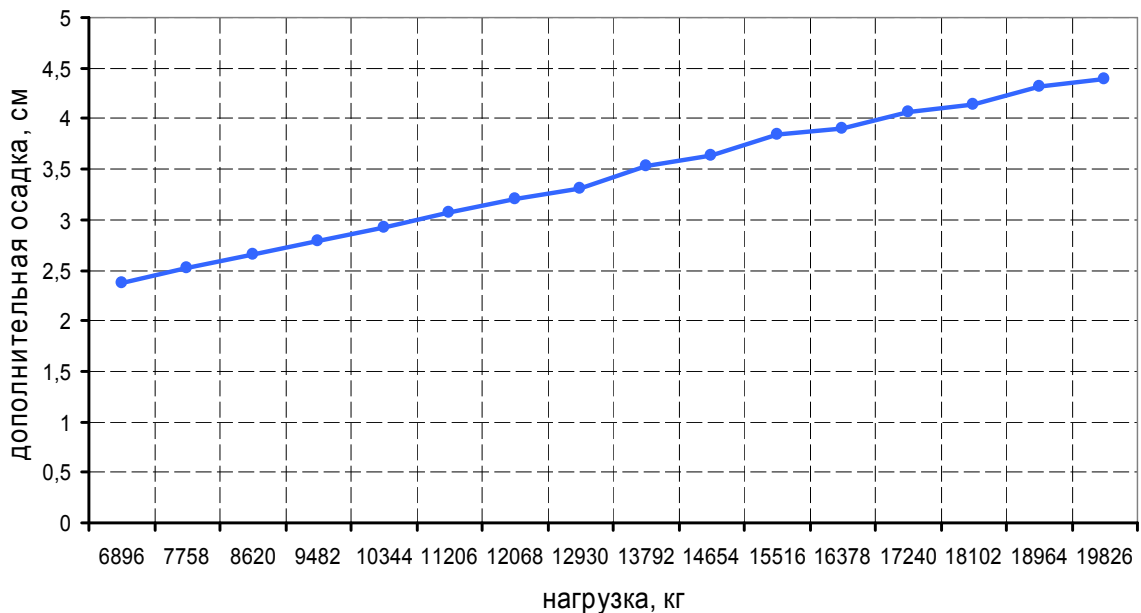


Рисунок 7 – Зависимость величины дополнительных осадок ленточного фундамента от нагрузки на плитный

Выполненные расчеты показывают, что при высоте пристраиваемого здания в 17 этажей, дополнительная осадка превысит максимально допустимую. Для данных условий высота здания может быть принята в 14 этажей, при этом выполняется условие:

$$S_{\text{дон}} \leq S_{\text{дон.max}}, \quad (2)$$

где $S_{\text{дон}}$ – дополнительная осадка (3,63 см); $S_{\text{дон.max}}$ – максимальная дополнительная осадка (4 см).

Одним из основных критериев, определяющим пригодность здания к эксплуатации является крен. Предельный дополнительный крен для данного типа здания, составляет $i_{\text{дон.max}} = 0,004$ [5].

$$i_{\text{дон}} = \frac{s_1 - s_2}{L}; \quad (3)$$

$$i_{\text{дон}} = \frac{6,89 - 4,19}{4240} = 0,001,$$

где s_1, s_2 – осадки крайних точек фундамента; L – расстояние между крайними точками.

Таким образом, выполняется условие:

$$i_{\text{дон}} \leq i_{\text{дон.max}}. \quad (4)$$

Из вышеизложенного следует, что здание первого корпуса получит дополнительные осадки и крен в пределах допустимых значений.

Проверка грунта по условию прочности. Основное требование расчета оснований и фундаментов по условию прочности заключается в том, чтобы усилия и напряжения, возникающие в основаниях и фундаментах, а также их деформации и перемещения были близки к установленным предельным значениям, но не превышали их.

В данном случае в качестве критерия выбрано условие [7]:

$$k_3 \geq \frac{R_c \cdot k_c}{\sigma_e}; \quad k_3 = \frac{5 \cdot 0,6}{1,9} = 1,58, \quad (5)$$

где R_c – предел прочности грунта на одноосное сжатие; k_c – коэффициент структурного ослабления, учитывающий неоднородность массива грунта и содержание в нем случайно расположенных микро- и макродефектов; σ_e – некоторое эквивалентное одноосному состоянию напряжение, определяемое по критерию прочности Мизеса:

$$\sigma_e = \frac{(\psi - 1)(\sigma_1 + \sigma_3) + \sqrt{(\psi - 1)^2(\sigma_1 + \sigma_3)^2 + 4\psi(\sigma_1 - \sigma_3)^2}}{2\psi}, \quad (6)$$

где, σ_1, σ_3 – нормальные напряжения; ψ – коэффициент хрупкости; $\psi = \frac{R_p}{R_c}$, R_p - предел прочности грунта на одноосное растяжение.

Величина k_3 представляет собой запас прочности элементарного объема среды.

В данном случае $k_3 \geq 1$, следовательно, предельных напряжений не возникает, при данных параметрах здания обеспечивается достаточный запас прочность грунта.

Таким образом величина дополнительных осадок основания существующего здания от пристраиваемого описывается линейной зависимостью и при нагрузке $1,68 \text{ кг/см}^2$ не превышает допустимых значений, запас прочности основания при этом составляет $k_3 = 1,58$, что позволяет обосновать максимальную высоту нового здания при применении плитного фундамента и без проведения дополнительных мероприятий по укреплению грунтового основания.

Выводы.

1. Анализ опыта развития современных городов показал, что в условиях плотной городской застройки центральных районов, поиск новых площадей будет связан с реконструкцией и уплотнением существующей застройки, многоэтажным строительством, а также с освоением подземного пространства. Одним из главных вопросов в этом случае является обоснование параметров конструкции и технологии строительства зданий с учетом взаимного влияния фундаментов.

2. В рамках обоснования проекта реконструкции главного корпуса Национального горного университета выполнены численные исследования напряженно-деформированного состояния грунтового основания при взаимном влиянии фундаментов близкорасположенных зданий.

3. Результаты исследований показали, что величина дополнительных осадок основания существующего здания от пристраиваемого описывается линейной зависимостью и при нагрузке $1,68 \text{ кг/см}^2$ не превышает допустимых значений, запас прочности основания при этом составляет $k_3 = 1,58$, что позволяет обосновать максимальную высоту нового здания при применении плитного фундамента без проведения дополнительных мероприятий по укреплению грунтового основания.

Библиографический список

1. *Комплексное использование подземного пространства* // <http://tutpostroim.ru/dom/personala>.

2. Краев Ю.К. Освоение подземного пространства – перспектива развития Уральского геологического музея/ Ю.К. Краев, Ю.А. Поленов // Известия вузов. Горный журнал. – 1994. – № 9-10. – С. 89-119.

3. Национальная академия наук Украины решила реконструировать целый квартал Киева! // <http://www.kanzas.ua>.

4. Строительство бизнес центра «Леонардо» // *The Architect*. – 2008. – № 5. – С. 22-27.

5. Далматов Б.И. Проектирование фундаментов зданий и подземных сооружений/ Б.И. Далматов.- СПб.: СПбГАСУ, 2001. – 440 с.

6. Фундаменты промышленных, гражданских и транспортных сооружений на слоистых грунтовых основаниях / [Швец В.Б., Шаповал В.Г., Петренко В.Д., Андреев В.С., Селихова Т.А., Тютюкин А.Л.] – Днепрпетровск.: Новая идеология, 2008. – 274 с.

7. Шашенко А.Н. Механика грунтов / А.Н. Шашенко, В.П. Пустовойтенко, Н.В. Хозяйкина. – Киев.: Новый друк, 2008. – 125 с.

Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Должиковым П.Н.