

## ВЛИЯНИЕ МОЩНОСТИ ИСКУССТВЕННОГО ОСНОВАНИЯ НА ВЕЛИЧИНУ ОСАДКИ ФУНДАМЕНТА

*П. С. Пойта<sup>1</sup>, Н. Н. Шалобыта<sup>2</sup>, Т. П. Шалобыта<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Д. т. н., профессор кафедры геотехники и транспортных коммуникаций УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: ppsbrest@mail.ru*

<sup>2</sup>*К. т. н., проректор по научной работе УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: nnshalobyta@mail.ru*

<sup>3</sup>*К. т. н., доцент кафедры технологии бетона и строительных материалов УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: t\_shalobyta@mail.ru*

### Реферат

Осадка фундаментов является одной из ключевых проблем в строительстве, особенно в условиях слабых грунтов. Для повышения несущей способности оснований и снижения осадки широко применяются искусственные основания, такие как песчаные подушки, грунтовые сваи, геосинтетические материалы и другие методы укрепления. Однако до сих пор недостаточно изучено влияние мощности искусственного основания на величину осадки фундамента. В статье рассмотрены вопросы, связанные с определением осадки плитного фундамента, расположенного на искусственном основании большой мощности, выполненном из песчано-гравийной смеси. Установлено влияние деформируемости этого слоя на общую осадку фундамента, определены пределы значений модуля деформации и давления с учетом и без учета давления от песчано-гравийной смеси на величину безопасной осадки плитного фундамента.

**Ключевые слова:** фундаменты, осадки фундаментов, напряженно-деформированное состояние, искусственное основание, модуль деформации.

### Введение

Среди большого количества задач, которые необходимо решить при проектировании фундаментов зданий и сооружений, важнейшей является уменьшение и даже исключение осадок, в том числе и неравномерных, влияющих на величину напряжений и деформаций в надземных конструкциях здания или сооружения [1–3].

Естественно, для решения этой задачи немаловажное значение имеет характер залегания слоев грунта, используемых в качестве оснований фундаментов. В этом аспекте большой интерес представляют собой инженерно-геологические условия строительных площадок Юго-Западного микрорайона № 1 (ЮЗМР – 1) г. Бреста. Территория микрорайона представлена значительным числом генетических типов отложений: почвенными образованиями (*siv*), аллювиальными и озерно-болотными (*a, l, b IV*) и озерно-аллювиальными отложениями (*l, a, III P<sub>2</sub>*). Особенностью геологического строения рассматриваемой территории является

наличие слабых грунтов непосредственно у поверхности мощностью до 1 м, а также их присутствие на более значительной глубине (6–7 м) от поверхности мощностью 0,2–2,0 м. Наличие слабых грунтов у дневной поверхности особых проблем не вызывает, т. к. они легко удаляются либо уплотняются. При их удалении возникает необходимость устройства значительной по мощности песчано-гравийной подушки. Для ее устройства использованы песчано-гравийные смеси (ПГС), гранулометрический состав которых приведен в таблице 1.

**Таблица 1** – Гранулометрический состав песчано-гравийной подушки

Наименование смеси	Размеры частиц, мм					
	Содержание фракций, %					
Песок гравелистый	> 5,0	5,0–2,0	2,0–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	< 0,1
	11,94	18,48	35,02	20,86	10,91	2,79

### Методы и результаты исследований

В соответствии с классификацией по ГОСТ 25100-2020 [4], исследуемые смеси относятся к гравелистым пескам. Параметр максимальной неоднородности получен равным  $U_{max} = 76,8$ . Это означает, что данные грунты повышенной неоднородности. Следовательно, при оптимальной влажности данные грунты должны хорошо уплотняться. Однако, при реальном проектировании фундаментов, плотность песчано-гравийной смеси принята  $\rho = 1,6 \text{ т/м}^3$ . Угол внутреннего трения  $\varphi = 37^\circ$ . Наши испытания по определению прочности, плотности смесей при коэффициенте уплотнения  $k_{com} = 0,95$  показали, что  $\varphi = 29^\circ$  и  $\rho = 1,92 \text{ т/м}^3$ . Угол естественного откоса получен в пределах  $29...31^\circ$ . Следует отметить, что при  $\rho = 1,6 \text{ т/м}^3$ , смеси по плотности сложения относятся к рыхлым и тогда сомнительно значение модуля деформации, равное 20,0 МПа. Как видно, характеристики песчано-гравийной смеси, принятые при проектировании фундаментов зданий и сооружений весьма значительно расходятся с опытными данными, что, очевидно, требует детального анализа деформируемости под нагрузкой этого искусственного слоя. Предварительные расчеты показали, что до 54 % общей осадки фундамента приходится именно на осадку за счет деформаций песчано-гравийной подушки.

Отсюда следует, что влияние мощности искусственного слоя на осадку плитного фундамента весьма значительно в обеспечении надежности и долговечности сооружений. Вместе с тем, анализ факторов, влияющих на осадку фундамента, должен быть основан на комплексном подходе, учитывающем все особенности совместной работы системы «основание – фундамент – сооружение», в том числе и конкретные условия строительной площадки.

С учетом этого расчетная схема основания принята в виде линейно-деформируемого полупространства [5], с осредненным в пределах сжимаемого слоя  $H$  коэффициентом Пуассона и модуля деформации грунта основания  $E_{пр}$  с корректирующим множителем  $m_E$ , равным

$$m_E = \frac{\omega'_{cp}}{\omega_{cp}}, \quad (1)$$

где  $\omega_{cp}$  – коэффициент, определяемый в зависимости от отношения сторон фундамента  $n = l/b$  и толщины сжимаемого слоя основания  $H$  к полуширине фундамента  $b$

$$m' = \frac{2H}{b}, \quad (2)$$

$\omega_{cp}'$  – коэффициент, определяемый по таблицам для  $m' = \infty$  в зависимости от отношения сторон фундамента  $n = l/b$ .

Данная расчетная схема используется для определения внутренних усилий в фундаментной плите и последующего ее армирования.

Как показали расчеты, среднее давление на грунт оснований меньше расчетного сопротивления грунта, то есть условие  $P < R$  выполняется.

Мощность сжимаемой толщи определена в соответствии с [4] при  $5,0 < b \leq 20,0$  м путем линейной интерполяции значений

$$\sigma_{zp} = 0,5P_{zq} \text{ и } \sigma_{zp} = 0,2P_{zq}, \quad (3)$$

где  $\sigma_{zp}$  – дополнительное вертикальное нормальное напряжение на глубине  $H$ ;

$P_{zq}$  – вертикальное давление от собственного веса грунта.

Модуль деформации грунтов основания  $E_{np}$  в пределах сжимаемой толщи находили из выражения

$$E_{np} = \frac{\sum h_i \sigma_i}{\sum (h_i \sigma_i / E_i)}, \quad (4)$$

где  $h_i$  – толщина  $i$ -го слоя грунта;

$E_i$  – модуль деформации данного слоя;

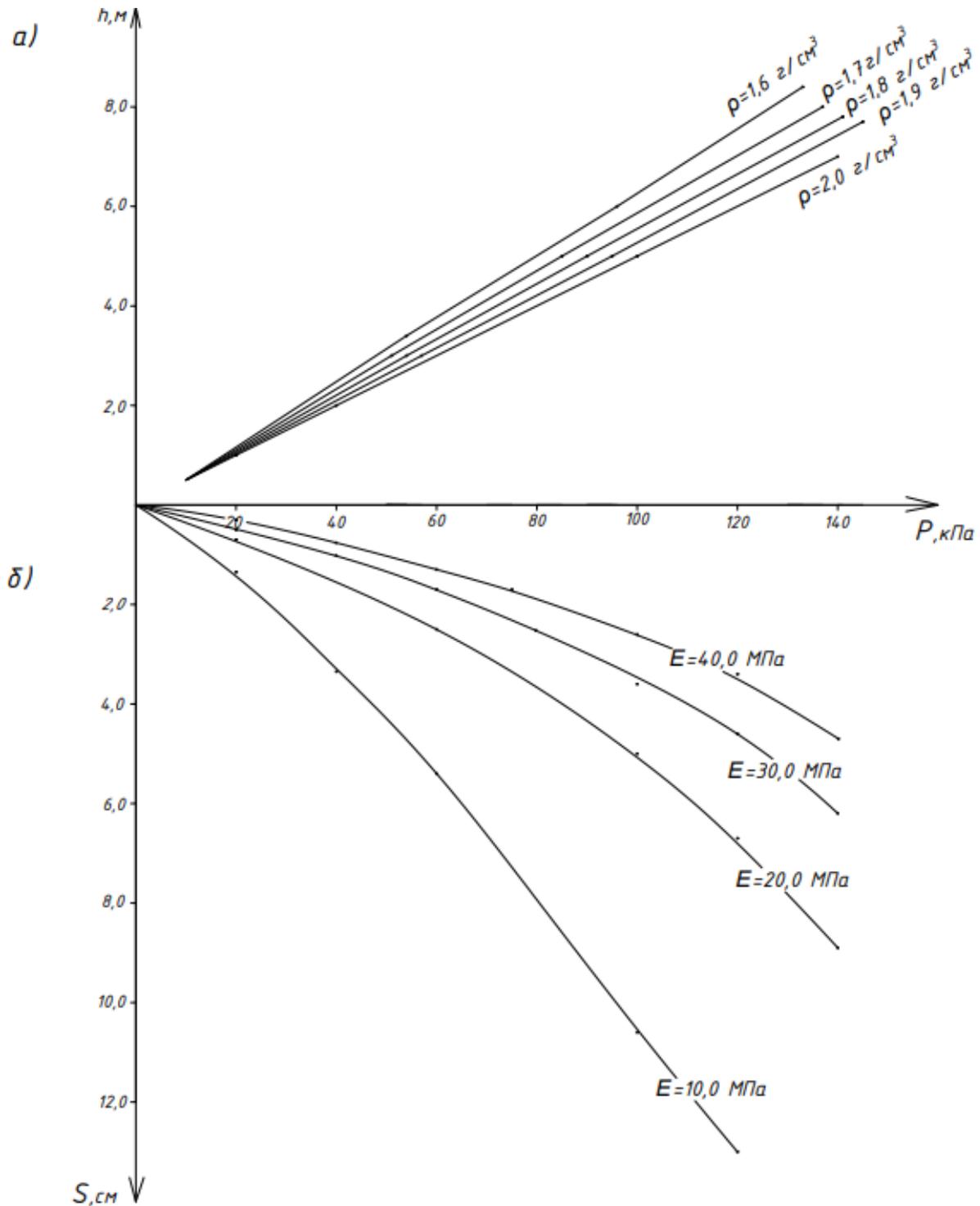
$\sigma_i$  – среднее значение нормальных напряжений для данного слоя.

Следует отметить, что с целью выполнения численного анализа  $E_{np}$  в расчетах принято 10,0; 20,0; 30,0 МПа. Расчеты осадки были выполнены при давлении на грунт основания 100 кПа; 200 кПа; 300 кПа. При этом мощность песчано-гравийной подушки принималась равной от 1,0 до 6,0 м при  $E = 10,0; 20,0$  и 30,0 МПа. Изменение плотности песчано-гравийной смеси принято от 1,6 т/м<sup>3</sup> до 2,0 т/м<sup>3</sup>. Зная толщину проектируемой подушки из ПГС и ее плотность, легко определить давление на основание (рисунок 1а). Учет деформаций основания от действия давления от песчано-гравийной подушки является важным, так как основание пригружено искусственным слоем значительной мощности.

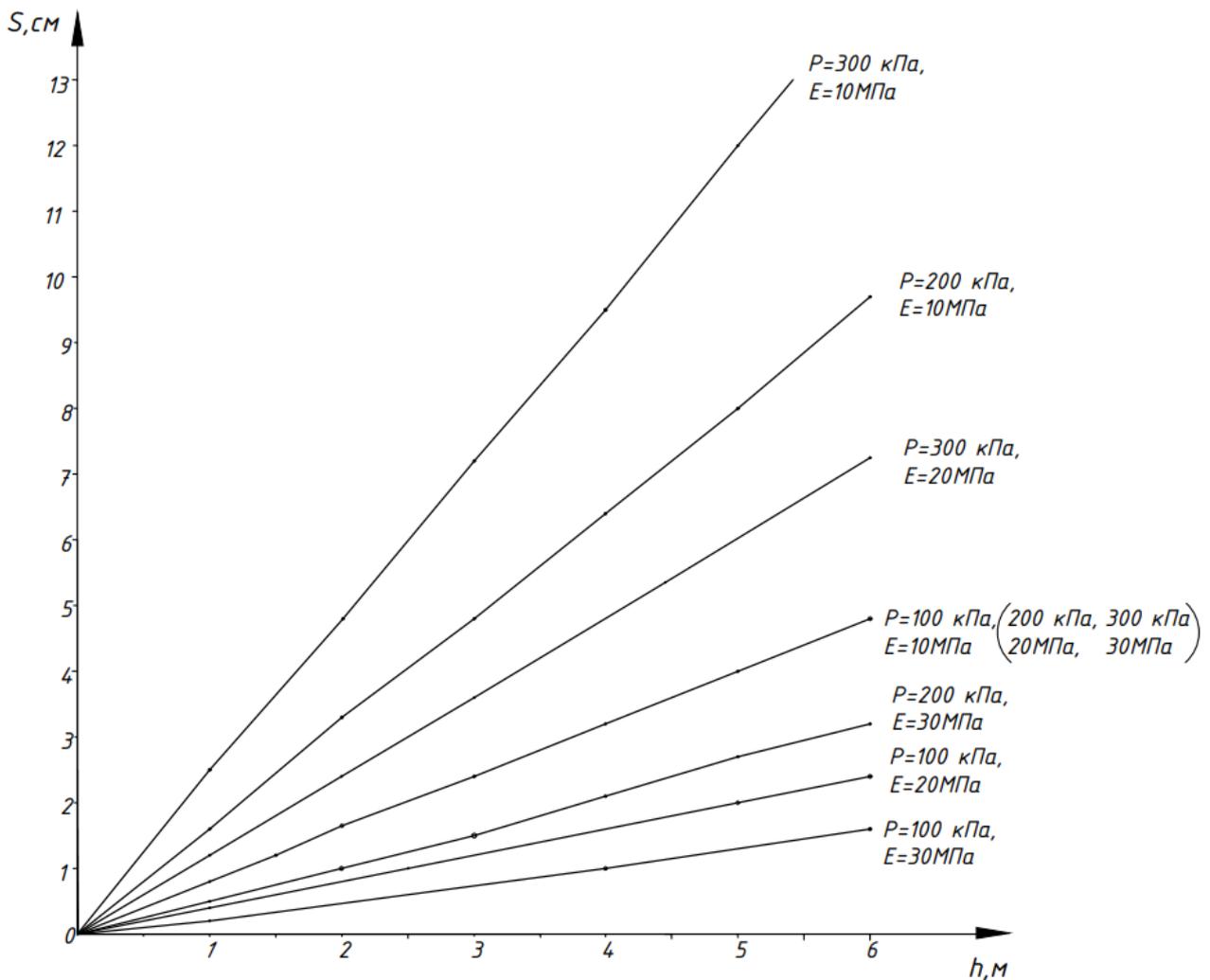
На рисунке 1б показаны графики зависимости  $S = f(P)$  при различных значениях модуля деформации основания. По графикам можно определить осадку основания от действия насыпи определенной плотности и мощности. К примеру, под фундаменты домов 9А и 9Б по ул. Грибоедова в г. Бресте выполнено искусственное основание из ПГС мощностью 3,4 м и плотностью 1,6 т/м<sup>3</sup>. По графикам (рисунок 1) находим, что давление выполненной подушки на основание составляет 54,0 кПа. Осадка основания при  $P = 54,0$  кПа и соответствующем значении  $E_{np}$  (к примеру 20,0 МПа) составляет 2,3 см. Если  $E_{np}$  имеет значение, отличное от значений, для которых построены графики, осадка принимается по интерполяции между соседними приведенными значениями. Осадку слоя песчано-гравийной смеси можно определить, пользуясь графиками, представленными на рисунке 2 либо по формуле

$$S = \beta \frac{Ph}{E_1}, \quad (5)$$

где  $\beta = 0,8$ , коэффициент, корректирующий упрощенную схему расчета;  
 $P$  – давление на грунт;  
 $h$  – мощность слоя песчаной подушки;  
 $E_1$  – модуль деформации подушки.



**Рисунок 1** – Влияние толщины песчано-гравийной подушки на величину давления (а) и осадки основания (б)



**Рисунок 2** – Осадки песчано-гравийной подушки различной мощности при давлении  $P = 100 \dots 300$  кПа и  $E = 10 \dots 30$  МПа

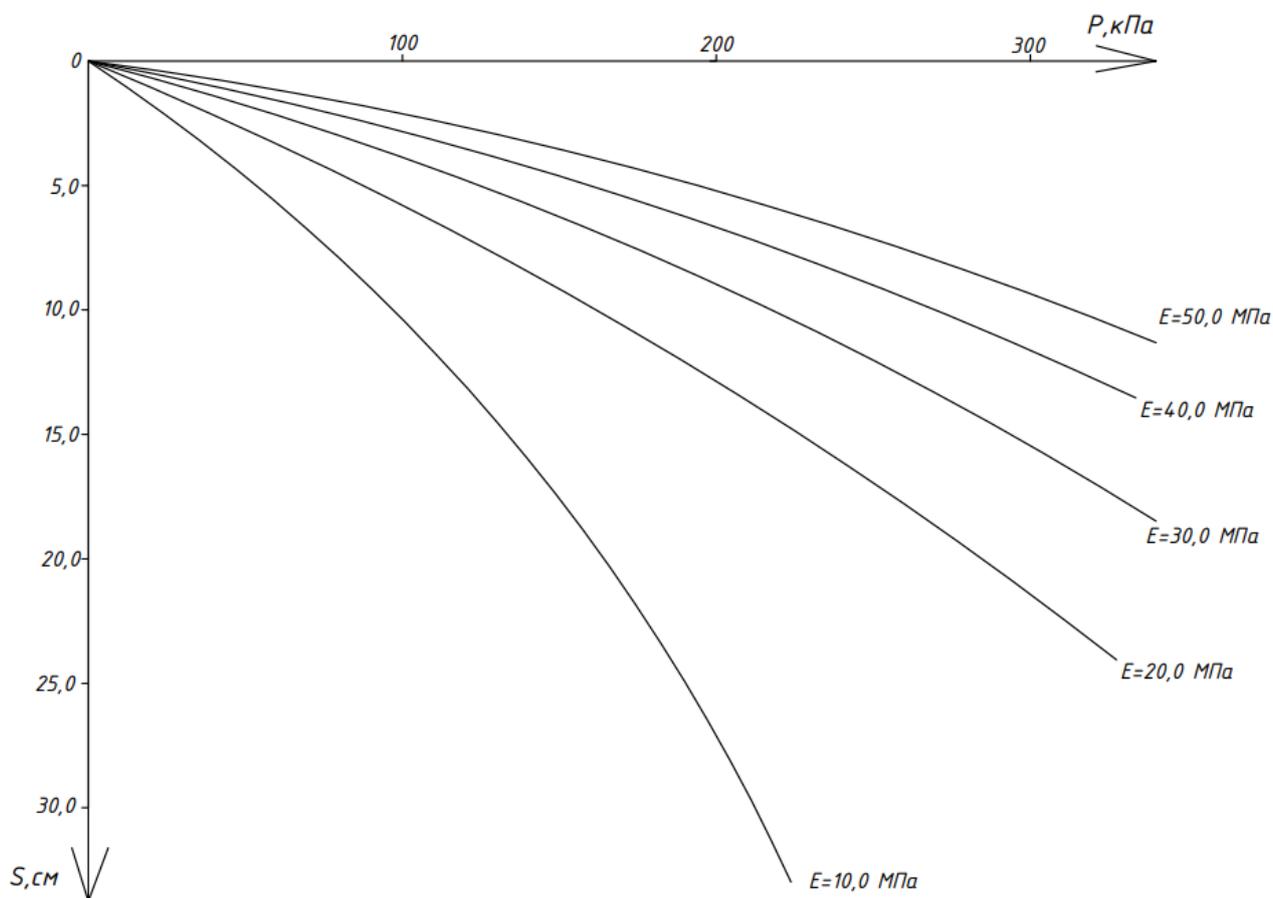
Видим, что осадка слоя ПГС при его мощности, равной 3,4 м, и давлении  $P = 54,0$  кПа, составляет 32,2 %. При увеличении плотности ПГС осадка основания также будет возрастать. Достоинством рассмотренных графиков является то, что осадку основания и осадку слоя песчано-гравийной смеси можно определить при различных значениях  $E$ , т. е. когда модуль деформации ПГС имеет одно значение, а модуль грунтов основания – другое, отличное от значений для ПГС.

Зависимость осадки от давления на грунт по подошве фундамента при различной деформируемости оснований показана на рисунке 3. Очевидно, что на величину осадки основания оказывает влияние давление от песчано-гравийной подушки. Пределы влияния этих давлений показаны на рисунке 1. Так, для искусственного основания мощностью 5 м при плотности его укладки  $2,0$  т/м<sup>3</sup> давление на грунт составляет 100 кПа. Осадка основания равна 5,2 см. Такая же осадка при принятых значениях  $P$  и  $E$  получена и от нагрузки от здания. Суммарная осадка равна 10,4 см, что превышает предельное значение для крупнопанельных зданий [1]. Таким образом, учет осадки от искусственного основания в суммарной осадке даже при сравнительно небольших изменениях мощно-

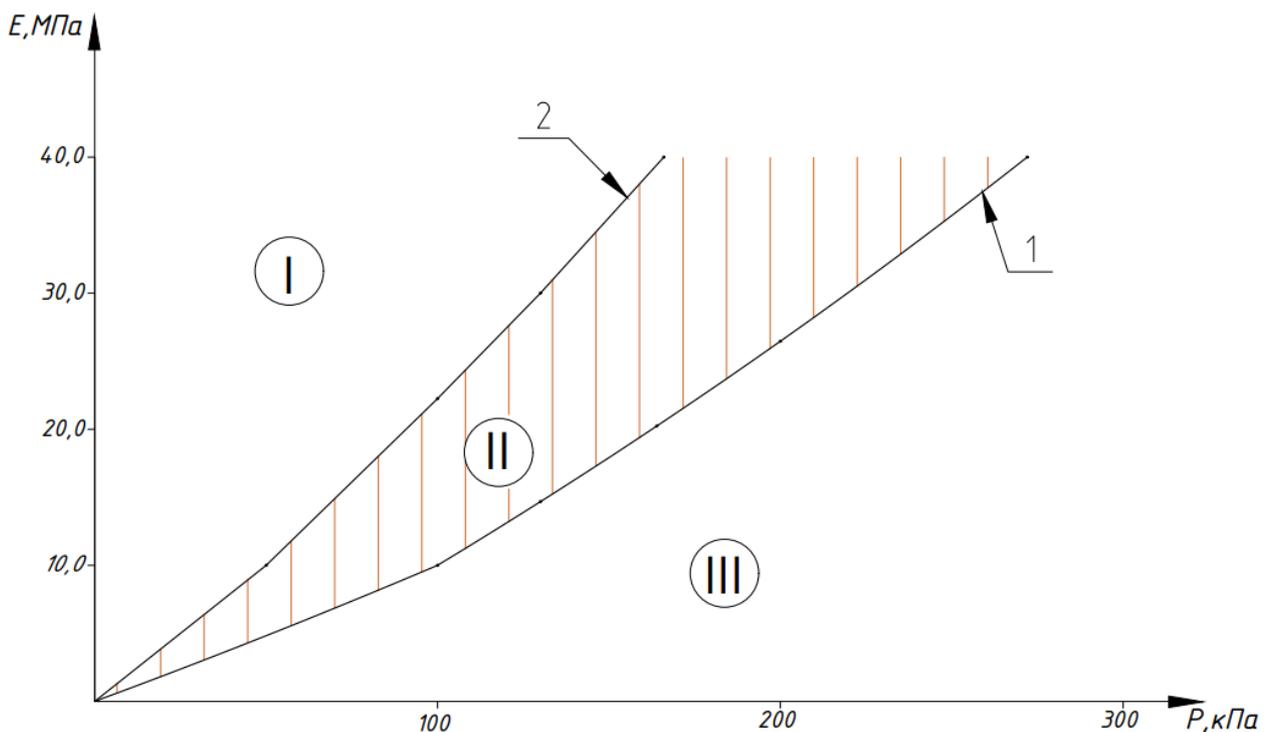
сти искусственного слоя весьма значительно влияет на общую осадку здания. На рисунке 4 показаны кривые предельных осадок, построенные без учета давления от песчано-гравийной подушки (кривая 1) и с ее учетом (кривая 2). Анализ полученных графиков показывает, что учет давления от ПГС резко увеличивает осадку здания.

Это важно учитывать при проектировании и строительстве зданий, особенно при изменении мощности искусственного слоя. Учет осадки от этого слоя поможет более точно предсказывать и контролировать осадку здания, что в свою очередь может снизить и даже исключить возможные повреждения и проблемы, связанные с осадкой, и особенно неравномерной [6].

При увеличении временного разрыва между окончанием возведения подушки и началом строительства здания величина суммарной осадки будет уменьшаться ввиду затухания осадки от давления ПГС. Пользуясь графиками (рисунки 1 и 3), можно определить суммарную осадку при любом значении  $P$  и  $E$ . На рисунке 4 выделим три зоны, различающиеся тем, что в зоне I в любой точке при соответствующих значениях  $P$  и  $E$  осадка будет всегда меньше предельной. В зоне II суммарные осадки зависят от мощности песчано-гравийной подушки и ее параметров. В зоне III влияние давления от песчано-гравийной подушки на осадку здания отсутствует.



**Рисунок 3** – Осадки оснований плитных фундаментов в зависимости от давления при различных значениях  $E$



1 – изменение предельной осадки без учета давления от песчано-гравийной смеси;  
 2 – изменение предельной осадки с учетом давления от песчано-гравийной смеси

**Рисунок 4** – Влияние модуля деформации и давления на характер изменения предельной осадки

Из рисунка 4 видно, что предельная величина осадки для крупнопанельного здания при наличии подушки из песчано-гравийной смеси мощностью 6,0 м при учете деформаций основания от подушки и от здания будет достигнута при  $P = 50,0$  кПа и  $E = 20,0$  МПа; без учета осадки от подушки – при  $P = 100,0$  кПа. Если суммарное давление от здания и подушки мощностью 6,0 м равно 100,0 кПа, то предельная осадка основания будет достигнута уже при  $E = 22,5$  МПа; без учета осадки от подушки – при  $P = 177,0$  кПа. При уменьшении толщины песчано-гравийной подушки при неизменном модуле деформации основания влияние суммарного давления на основание снижается. Таким образом, наличие песчано-гравийной подушки увеличивает общую осадку проектируемых зданий и чем больше ее мощность, тем суммарная осадка больше.

### Выводы

1. Наличие искусственного слоя грунта под подошвой фундамента и пригружающего естественное основание существенным образом влияет на величину общей осадки. Следовательно, необходим учет деформаций естественного слоя от действия пригрузки, образованной искусственным слоем.

2. Чем больше мощность и плотность искусственного слоя в верхней части сжимаемой толщи, тем больше величина суммарной осадки здания.

### Список использованных источников

1. Общие положения по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений : СП 5.01.01-2023 / Строительные правила Республики Беларусь. – Минск : Минстройархитектуры РБ, 2023. – 150 с.
2. Влияние отдельных факторов на величину осадки проектируемых фундаментов / П. С. Пойта, П. В. Шведовский, Д. И. Клебанюк, А. А. Четырбок // Вестник БрГТУ. – 2021. – № 2 (125). – С. 24–26.
3. Пойта, П. С. Оценка влияния глубины заложения и ширины подошвы фундамента на его осадку / П. С. Пойта, Т. П. Шалобыта, А. А. Четырбок // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров : сборник научных статей XXII Междунар. науч.-метод. семинара; Брест 29–30 сентября 2022 г. / БрГТУ; редкол.: С. М. Семенюк [и др.]. – Брест: БрГТУ, 2022. – С. 157–166.
4. Грунты. Классификация : ГОСТ 25100-2020. – М. : Стандартинформ, 2020. – 38 с.
5. Руководство по проектированию фундаментных плит каркасных зданий. – М. : Стройиздат, 1978. – 128 с.
6. Фундаменты плитные : ТКП 45-5.01-67-2007 (02250) / Правила проектирования. – Минск : Минстройархитектуры, 2008. – 137 с.

УДК 624.15+624.139

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ОСАДОК ФУНДАМЕНТОВ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ

*П. С. Пойта<sup>1</sup>, Н. Н. Шалобыта<sup>2</sup>, Д. И. Клебанюк<sup>3</sup>, С. Н. Кандыбо<sup>4</sup>,  
П. В. Шведовский<sup>5</sup>*

*<sup>1</sup> Д. т. н., профессор, профессор кафедры геотехники и транспортных коммуникаций УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: ppsbrest@mail.ru*

*<sup>2</sup> К. т. н., доцент, доцент кафедры геотехники и транспортных коммуникаций УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: nnshalobyta@mail.ru*

*<sup>3</sup> Магистр технических наук, старший преподаватель кафедры геотехники и транспортных коммуникаций УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: klebanyuk.dmitri@yandex.ru*

*<sup>4</sup> К. т. н., доцент, заведующий кафедрой геотехники и транспортных коммуникаций УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: svkandybo@yandex.com*

*<sup>5</sup> К. т. н., профессор, профессор кафедры геотехники и транспортных коммуникаций УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: ofig@bstu.by*