

пространстве, найденный из соотношения (2), принимает значение  $\delta_p = 0,98 \cdot 10^{-4}$  г/м·ч·Па.

Результаты вычислений, полученные при таких исходных данных, показаны на рисунках 3 и 4.

Из рис. 3 видно, что распределение влаги по высоте столба зерна  $h=5, 10$  и  $15$  см, установленное в результате лабораторного эксперимента и с помощью компьютерной имитации к моменту окончания процесса изотермического увлажнения ( $t=77$  дней для образцов типа А и  $t=247$  дней для образцов типа В и С) практически совпадают. На этой основе можно утверждать, что и для других моментов времени указанное распределение влаги, найденное с помощью компьютерного моделирования, не будет существенно отличаться от действительного. Следовательно, с практической точки зрения функция  $u(x,t)$  определяется достаточно точно.

Из рисунка 4 видно, что значения изменения массы зерна в процессе его изотермического увлажнения для всех типов образцов при одномерном потоке водяного пара, найденные в лабораторном эксперименте и вычисленные по формуле (9), не отличаются существенно друг от друга. Некоторые отклонения расчетных кривых от опытных данных можно объяснить незначительными колебаниями температуры воздуха в лаборатории, а также погрешностями, которые могли возникнуть при задании значений исходных параметров, использованных при расчете. Как правило, эти параметры имеют случайный характер и их значения могут колебаться довольно в широком диапазоне. Как показали вычислительные эксперименты путем небольшого (до 10%) изменения значений таких параметров, как сопротивление паропроницанию  $R_e$ , коэффициент диффузии водяного пара в воздухе  $\delta_0$ , относительный объем межзернового пространства в единице насыпного объема зерна  $P$  можно добиться более точного предсказания опытных данных.

Из рис. 3 и 4 следует, что во всех случаях (образцы типа А, В, С) процесс изотермического увлажнения не завершен. Равновесного состояния достиг лишь нижний слой зерна толщиной примерно 1 см, имеющий открытую поверхность. Потребуется еще не мало времени для того, чтобы по всей высоте столба зерна  $h$  была одинаковая влажность, соответствующая относительной влажности воздуха  $\phi=0,97$ . Анализ кривых  $u(x,t)$  на рисунке 3 показывает, что значение влагосодержания образцов типа А по всей высоте зерна  $h=5$  см превысят критическую величину ( $u_{кр}=15\%$ ) после 20 дней увлажнения, при  $h=10$  см после 100 дней, а при  $h=15$  см после 247 дней. В наружном слое толщиной 1 см это произойдет уже к концу первых суток. Такого рода информация может быть использована при разработке рекомендаций по хранению и переработке зерна.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты выполненного исследования свидетельствуют о том, что в нормальных условиях хранения зерна злаковых

УДК 624.131

Лях Ю.В.

## РАЦИОНАЛЬНЫЕ ТИПЫ ФУНДАМЕНТОВ НА УПЛОТНЕННЫХ ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНЫХ ПОДУШКАХ

Одной из актуальных проблем в области строительства является снижение материалоемкости строительных конструкций, в том числе конструкций фундаментов, на основе использования в качестве оснований искусственно подготовленных песчано-гравийных подушек, обладающих большой несущей способностью и малой деформируемостью. Очевидно, что при наличии весьма прочных оснований представля-

ется возможным использовать в качестве фундаментов узкие подушки. Их применение позволяет улучшить условия работы фундамента, а следовательно, снизить расход бетона и арматуры. Нами были выполнены исследования, позволившие установить рациональную область применения узких сборных ленточных фундаментов на уплотненных песчано-гравийных подушках.

Предложенная математическая модель может быть использована для оценки влажностного состояния зерна злаковых культур, хранимого в силосах и на складах, при этом исходные параметры, необходимые при выполнении компьютерного моделирования следует принимать с учетом реальных условий.

*Работа выполнена в рамках договора о сотрудничестве между Политехникой Белостокой и Брестским государственным техническим университетом, а также темой № W/ПВ/5/04, финансируемой КВН.*

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Horabik J., Molenda M. Właściwości fizyczne sypkich surowców spożywczych istotne w procesach magazynowania i przetwarzania. Wydział XII Konferencji Naukowo-Technicznej "Żelbetowe i sprzężone zbitniki na materiały sypkie i ciecze". – Kraków, 2003. – S. 89-96.
2. Казаков Е.Д., Кретович В.Л. Биохимия зерна и продуктов его переработки. – М.: Агропромиздат, 1989. – 368 с.
3. Лыков А.В. Тепломассообмен. – М.: Энергия, 1978. – 480 с.
4. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. – М.: Стройиздат, 1973. – 287 с.
5. Wygwał J., Świrski J. Problemy zawilgocenia przegród budowlanych. Studia z zakresu inżynierii, №44, PAN KILiW IPPT. – Warszawa, 1998. – 109 s.
6. Лебедев В.Б. Промышленная обработка и хранение смеси. – М.: Агропромиздат, 1991. – 255 с.
7. Gawin D. Modelowanie sprzężonych zjawisk cieplno-wilgotnościowych w materiałach i elementach budowlanych. Zeszyty Naukowe nr. 853, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej. – Łódź, 2000. – 303 s.
8. Афонин А.В., Никитин В.И. Вычисление паропроницаемости капиллярно-пористых материалов с учетом течения сорбционных пленок // Вестник БГТУ. Строительство и архитектура. – 2003. – №1(19). – С. 34-40.
9. Афонин А.В. Расчет паропроницаемости пористых материалов методом аналогии. Материалы Международной научно-практической конференции «Напрягающие цемента, бетоны и самонапряженные конструкции». – Брест, 2000. – С. 151-155.
10. Лыков А.В. Теоретические основы строительной теплофизики. – Мн.: Изд-во АН БССР, 1961. – 520 с.
11. Никитин В.И., Ракецкий В.М., Лапко А., Прусел И.А. Имитация тепло- и влагопереноса в теплоизоляционных материалах // Вестник БГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, экология. – 2001. – №2(8). – С. 56-60.

Таблица 1. Величины отказа трамбовок при их различной массе

Вид грунта	Масса трамбовки, кН	Диаметр трамбовки, м	Высота сбрасывания трамбовки, м	Удельная энергия удара, кН*м/м <sup>2</sup>	Величина отказа на 5 сбрасываний трамбовки, см
песчано-гравийная смесь	50	1,6	5	199	0,3
	70	1,6	5	279	1,0
	100	1,6	5	398	3,0
пески крупные	50	1,6	5	199	0,5
	70	1,6	5	279	2,0
	100	1,6	5	398	4,0
пески средней крупности	50	1,6	5	199	0,7
	70	1,6	5	279	3,0
	100	1,6	5	398	5,0

С этой целью нами согласно таблице 1 приложения I СНиП 2.02.01 [1] установлены корреляционные связи изменения удельного сцепления  $C$  и угла  $\Phi$  внутреннего трения песков гравелистых и крупных в зависимости от коэффициента пористости, а именно:

$$C = 35,781856 \cdot e^2 - 105,128205 \cdot e + 78,865579 \cdot e^3, (1)$$

$$\varphi = 304,164596 \cdot e - 656,228447 \cdot e^2 + 428,117335 \cdot e^3, (2)$$

где  $e$  – коэффициент пористости песчано-гравийной подушки.

При минимальном уплотнении песчано-гравийной подушки из песка гравелистого или крупного, т.е. при коэффициенте пористости  $e = 40$ , по формулам (1) и (2) получаем  $C = 2,54$  кПа,  $\varphi = 44^\circ$ .

Тогда при нагрузке на фундамент 420 кН/м и ширине фундамента 0,36 м по формуле (В.1) СНБ 5.01.01-99 [2] применительно к схеме зданий с подвалом при усредненных значениях физико-механических характеристик песков гравелистых и крупных расчетное сопротивление такой подушки имеет вид:

$$R = \gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2} / \kappa^x [m_\gamma \cdot \kappa_z \cdot b \cdot \gamma_{II} + m_q \cdot d_1 \cdot \gamma'_{II} + (m_q - 1) d_b \cdot \gamma'_{II} + m_c \cdot c_{II}] = 1,53 [3,38 \cdot 0,36 \cdot 19 + 14,5 \cdot 0,72 \cdot 19 + 13,5 \cdot 2 \cdot 19 + 13,98 \cdot 2,54] = 1178,1 \text{ кПа}. (3)$$

При коэффициенте пористости песка гравелистого и крупного  $e = 0,40$  и плотности сухого грунта  $\rho_d = 1,93 \text{ г/см}^3$

Следовательно, расчетное сопротивление уплотненной подушки можно принимать в пределах 1100-1200 кПа. Следует отметить, что необходимым условием является экспериментальная проверка качества уплотнения методом статического или динамического зондирования.

Имеющийся опыт уплотнения не только песчаных, но и моренных суглинков тяжелыми трамбовками показывает, что грунт можно уплотнить до плотности сухого грунта  $\rho_d = 2,02 \text{ г/см}^3$  и коэффициента пористости  $e = 0,34$  [3].

Для определения несущей способности песчано-гравийных подушек нами также использовались имеющиеся материалы по уплотнению песчаных грунтов в полевых условиях. Эти экспериментальные материалы представлены в таблице 1.

Анализируя таблицу 1 можно сделать вывод, что при уплотнении песчаных грунтов тяжелыми трамбовками массой 50 кН величина отказа находится в пределах 0,5-0,7 см и соответствует практически упругой стадии работы грунтов.

Уплотнять песчаные грунты следует трамбовкой с массой не менее 70 кН. В этом случае отказ трамбовки составляет не менее 1 см и это практически можно зафиксировать. Лучшие результаты получаются при уплотнении песчаных грунтов трамбовкой массой 100 кН, т.к. в этом случае отказ составляет 3-5 см.

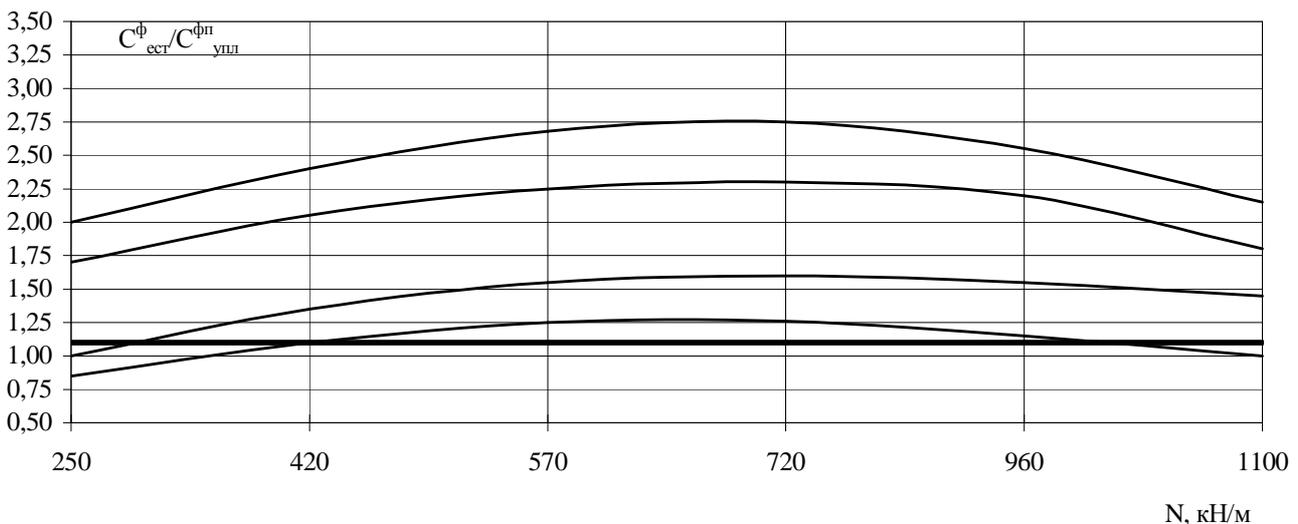


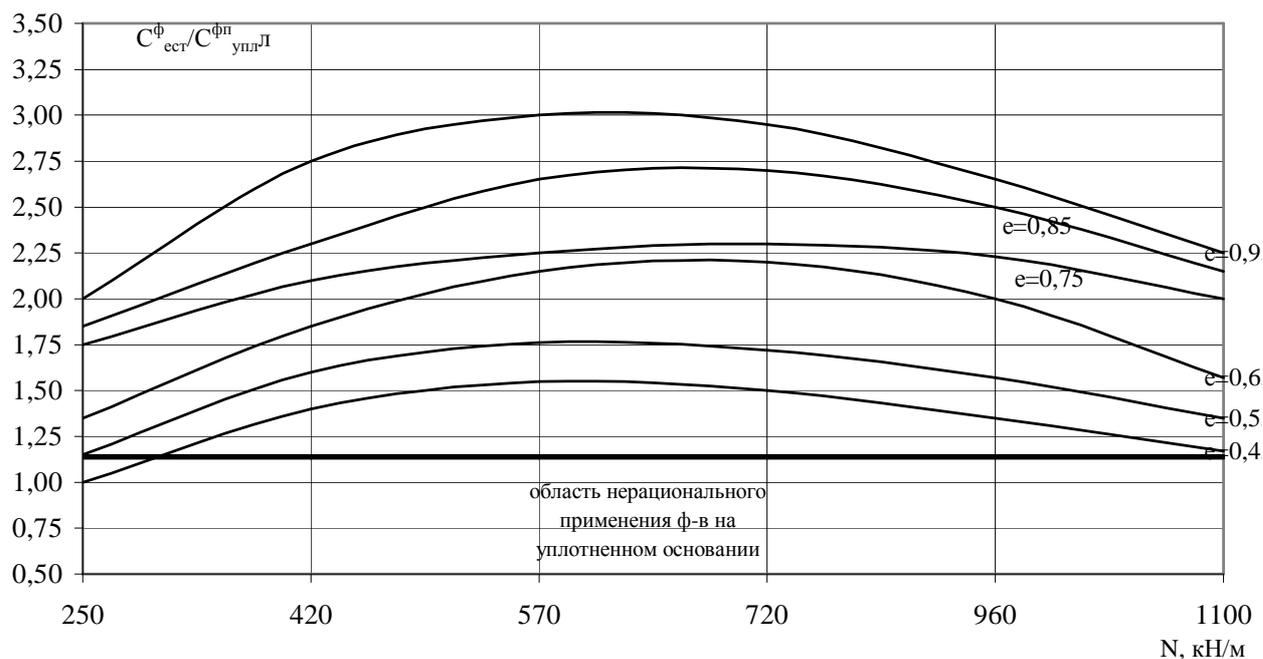
Рис. 1. Экономический эффект при возведении узких ленточных фундаментов на уплотненных песчано-гравийных подушках, подстилаемых песками мелкими по сравнению с фундаментами на естественных основаниях,

где  $C^{\text{фн}}_{\text{улл}}$  – стоимость узких фундаментов, включая стоимость подушки;

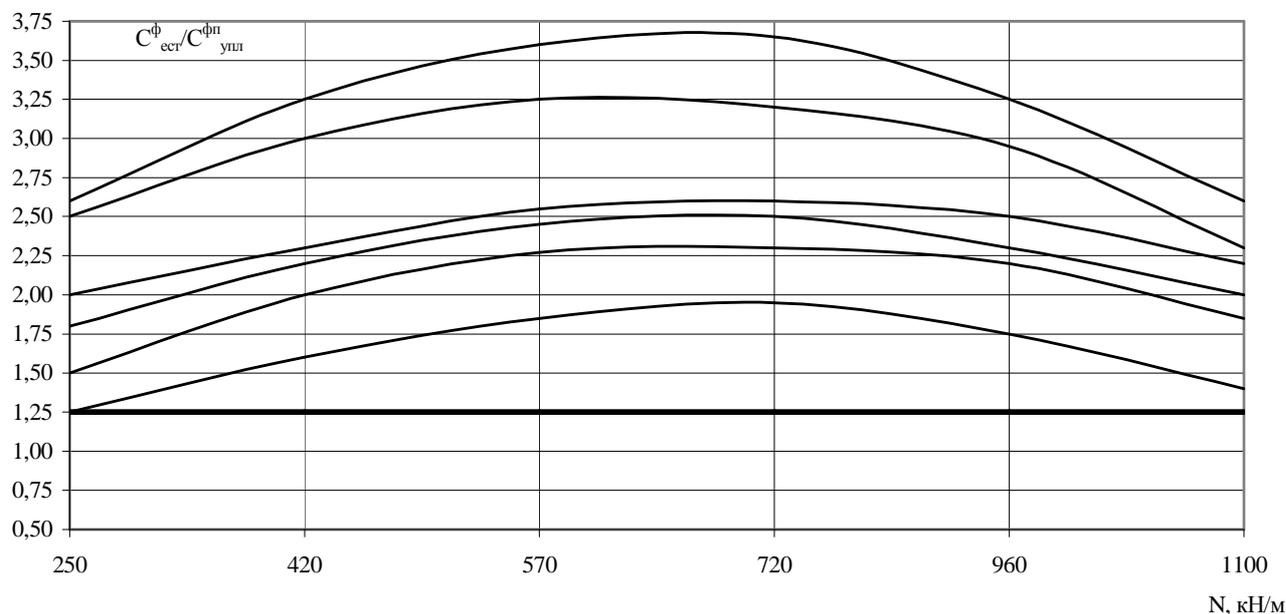
$C^{\text{ф}}_{\text{ест}}$  – стоимость фундаментов на естественных основаниях;

$e$  – коэффициент пористости грунта;

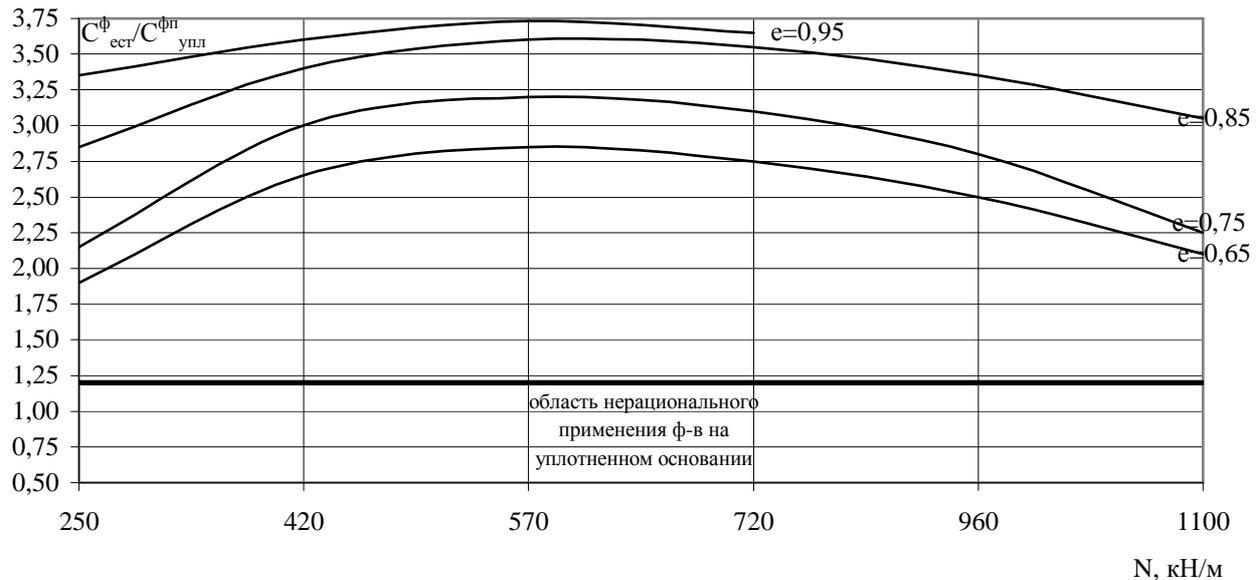
$N$  – нагрузка на ленточный фундамент.



**Рис. 2.** Экономический эффект при возведении узких ленточных фундаментов на уплотненных песчано-гравийных подушках, подстилаемых суглинками с показателем текучести  $0 \leq J_L \leq 0,25$  по сравнению с фундаментами на естественных основаниях, где  $C^{\phi}_{упл}$  – стоимость узких фундаментов, включая стоимость подушки;  
 $C^{\phi}_{ест}$  – стоимость фундаментов на естественных основаниях;  
 $e$  – коэффициент пористости грунта;  
 $N$  – нагрузка на ленточный фундамент.



**Рис. 3.** Экономический эффект при возведении узких ленточных фундаментов на уплотненных песчано-гравийных подушках, подстилаемых суглинками с показателем текучести  $0,25 \leq J_L \leq 0,5$  по сравнению с фундаментами на естественных основаниях, где  $C^{\phi}_{упл}$  – стоимость узких фундаментов, включая стоимость подушки;  
 $C^{\phi}_{ест}$  – стоимость фундаментов на естественных основаниях;  
 $e$  – коэффициент пористости грунта;  
 $N$  – нагрузка на ленточный фундамент.



**Рис. 4.** Экономический эффект при возведении узких ленточных фундаментов на уплотненных песчано-гравийных подушках, подстилаемых суглинками с показателем текучести  $0,5 \leq J_L \leq 0,75$  по сравнению с фундаментами на естественных основаниях,

где  $C_{упл}^{\text{фн}}$  – стоимость узких фундаментов, включая стоимость подушки;

$C_{ест}^{\text{ф}}$  – стоимость фундаментов на естественных основаниях;

$e$  – коэффициент пористости грунта;

$N$  – нагрузка на ленточный фундамент.

Гравелистые и крупные пески имеют сравнительно ограниченное распространение на территории Республики Беларусь и более повсеместно залегают пески средней крупности. Поэтому возникает практическая задача о возможности использования песков средней крупности как материала для уплотненных песчано-гравийных подушек.

Анализируя результаты испытаний, приведенные в таблице 1, можно сделать вывод о том, что пески средней крупности могут применяться в качестве материала для уплотненных песчано-гравийных подушек. Но, чтобы они по своей несущей способности были бы эквивалентны пескам гравелистым и крупным, их необходимо уплотнять тяжелыми трамбовками весом от 70 кН и выше при обязательном контроле качества уплотненных песчано-гравийных подушек статическим или динамическим зондированием.

Для определения рациональной области применения узких сборных ленточных фундаментов на уплотненных песчано-гравийных подушках при оптимальном режиме уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками и в зависимости от вида грунтов оснований и их физико-механических характеристик, нами разработана номенклатура узких сборных ленточных фундаментов на уплотненных песчано-гравийных подушках в сопоставлении со сборными ленточными плитами фундаментов на естественных основаниях. В номенклатуре рассматриваются 276 вариантов фундаментов на уплотненных песчано-гравийных подушках и 276 вариантов фундаментов на естественных грунтовых основаниях. Для этих вариантов составлены сметы стоимости возведения фундаментов на 1 пог.м. и разработаны номограммы, некоторые из которых приведены на рис. 1–4.

Анализируя в целом составленные номограммы по характеру изменения стоимости узких сборных ленточных фундаментов на уплотненных песчано-гравийных подушках по сравнению со сборными ленточными плитами фундаментов на естественных основаниях, можно сделать вывод, что все зависимости на номограммах имеют волнообразный вид.

Минимальная эффективность по стоимости ленточных фундаментов имеет место при наименьшей нагрузке на фун-

даменты. По мере повышения нагрузки на фундаменты и при использовании в качестве фундаментных плит стеновых фундаментных блоков ФБС, материал которых работает только на сжатие, эффективность узких ленточных фундаментов на уплотненных песчано-гравийных подушках повышается по сравнению с ленточными плитами фундаментов на естественных основаниях.

При нагрузках на ленточные фундаменты порядка 960 кН/м и 1100 кН/м ширина фундаментов превышает 0,6 м и материал фундаментов начинает работать не только на сжатие, но и на изгиб. Поэтому фундаменты нужно армировать. Объем бетона и плитных фундаментов возрастает и вследствие этого снижается эффективность по стоимости узких фундаментов на уплотненных песчано-гравийных подушках по сравнению с плитами фундаментов на естественных основаниях.

В заключении следует отметить, что разработанные нами номограммы позволяют не только оценить эффективность использования узких сборных ленточных фундаментов на уплотненных песчано-гравийных подушках по сравнению со стоимостью сборных ленточных плит фундаментов на естественных основаниях, но могут быть использованы при выборе рациональных строительных площадок для возведения зданий и сооружений, а также для выбора типов и видов зданий и сооружений, рекомендуемых к возведению на конкретных строительных площадках.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СНиП 2.02.01-83 «Основания зданий и сооружений».
2. СНБ 5.01.01-99 «Основания и фундаменты зданий и сооружений».
3. Вуцель В.И., Зарецкий Ю.К., Гарицелов М.Ю. Интенсивное динамическое уплотнение грунта // Энергетическое строительство за рубежом. 1983. - №3 – С. 39-43.
4. Пособие П-97 к СНиП 2.02.01-83 «Проектирование и уплотнение грунтов оснований зданий и сооружений тяжелыми трамбовками». – Мн.: Министерство архитектуры и строительства, 1997. – 35 с.