

**ПАРАДОКСЫ НОРМАТИВНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ И НОВЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННЫХ СВАЙНЫХ И ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ**

В случае применения крупноразмерных комбинированных плитных и свайных фундаментов для многоэтажных и высотных зданий требования современного нормативного документа [1] нарушают закон диалектики: отсутствует единство, а происходит только борьба противоположностей между удовлетворением условия по предельной допустимой нагрузке на одиночную сваю  $F_u$  и значительными допустимыми деформациями  $S_u$  для зданий и сооружений:

$$F_u \Leftrightarrow S_u \cdot$$

Это происходит потому, что алгоритм расчета и проектирования свайного фундамента идет от частного к общему – от определения несущей способности одиночной сваи по грунту  $F_u$  с различными коэффициентами надежности ( $\gamma_g$  и  $\gamma_k$ ) [1,2] к проектированию свайного поля с ограничением минимального расстояния между сваями  $3d$  при недопущении превышения расчетной нагрузки на сваю  $N$ :

$$N \leq \frac{F_u}{\gamma_g \cdot \gamma_k}, \tag{1}$$

и осадки  $S$  условного фундамента:

$$S \leq S_u, \tag{2}$$

при этом, требуется формальное удовлетворение условию расчета осадки при использовании модели линейно-деформируемой среды с ограничением давления  $p$  в уровне подошвы свай величиной расчетного сопротивления грунта  $R$ , которое и для плитного варианта крупноразмерного фундамента без свай всегда выполняется:

$$p \leq R. \tag{3}$$

Согласно нормативного документа ДСТУ [2], прототипом которого является соответствующий раздел советского СНиП [3], осадка  $S$  свайного фундамента составит

$$S = \xi \cdot \Delta, \tag{4}$$

где  $\Delta$  - осадка одиночной сваи при статических испытаниях, см;  $\xi = \frac{1}{\zeta}$  - коэффициент перехода к значению средней осадки фундамента здания  $S$  от величины осадки одиночной сваи, полученной при статических испытаниях с условной стабилизацией деформаций, равный 5 – для ленточной формы (нормативная величина); 4 – прямоугольной [4]; 3 – кустов свай [5]. Интересно отметить, что данный коэффициент перехода впервые был введен в советские нормы в 1968 году [6] и равнялся  $\xi = 10$  с возможностью его уточнения по результатам натурных наблюдений, на основании которых уже в следующей редакции норм 1979 года был уменьшен в 2 раза и принят до сегодняшнего времени равным  $\xi = 5$ .

Поэтому, расчетная максимальная нормативная осадка основания фундамента не превысит значения, полученного на основании испытаний одиночной сваи, и будет равна

$$S_{max}^{норм} \cong \xi_{max} \cdot \Delta_u = 0,25 \cdot d, \tag{5}$$

где  $\Delta_u \approx 0,05d$  - величина предельной осадки (деформации при «срыве») одиночной сваи, полученная на основании многочисленных испытаний свай, проведенных нами и другими геотехниками, см;  $d$  – диаметр (сторона) сечения сваи, см;  $\xi_{max}$  - нормативный коэффициент перехода, равный 5.

Видно, что формула (5) включает в себя «масштабный фактор» перехода от деформации одиночной сваи при потере ее устойчивости по грунту к максимальной расчетной осадке крупноразмерного свайно-плитного фундамента, равный - 0,25. Это, действительно, дает возможность оценивать максимальные деформации свайного поля  $S$  при относительно близких расстояниях между сваями ( $3 \div 5d$ )

с принятой расчетной нагрузкой  $N = F_u$  и проверять нормативное условие (2). Однако, например, при прочих равных условиях и предельно допустимой осадке здания  $S_u=20\text{см}$ , диаметр свай должен быть равен  $d=0,8\text{м}$ , то есть при меньших диаметрах свай, определяемая по формуле (5) реальная максимальная осадка здания, будет меньше нормируемой:

$$S_{max}^{норм} < S_u,$$

и более того, при реальном проектировании и диаметре свай  $d=0,8\text{м}$ , осадка все равно будет меньше за счет введения коэффициентов надежности (см. формулу 1) и уменьшения нагрузки на сваи по сравнению с предельной как минимум в 1,2 раза:  $N < F_u$ .

С другой стороны, можно теоретически показать эффективность применения

свай именно меньшего диаметра, если принять за критерий отношение:

$$\bar{A} = \frac{A}{V} = \frac{l}{l} + \frac{4}{d}, \quad (6)$$

где  $A = \frac{\pi d^2}{4} + \pi dl$  - площади контакта свай

с грунтом,  $\text{м}^2$ ;  $V = \frac{\pi d^2}{4} l$  - объем бетона свай,  $\text{м}^3$ ;  $l$  - длина свай, м, которая практически не влияет на величину  $\bar{A}$ .

Тогда из графика рис. 1 видно, что с уменьшением диаметра это соотношение растет, и особенно резко при малых диаметрах, что показывает эффективное использование площади контакта свай с основанием, а значит и относительно большую несущую способность одиночных свай по грунту.

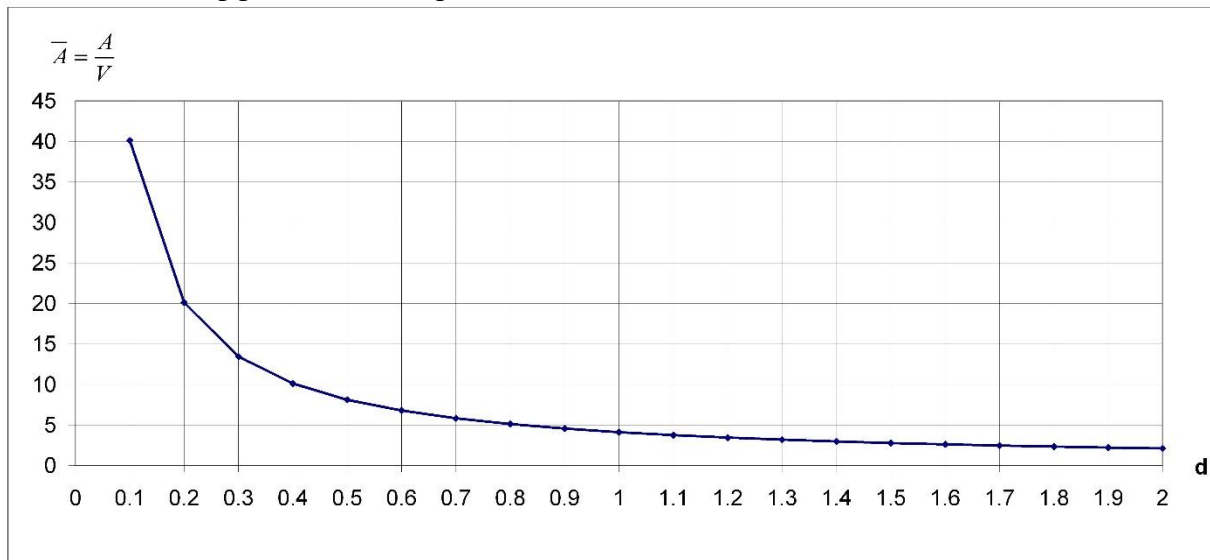


Рис. 1. График зависимости величины  $\bar{A}$  от диаметра свай  $d$

По аналогии с методикой определения осадок (5) осуществляется нормативный переход от предельной несущей способности одиночной сваи  $F_u$  к величине несущей способности свайного фундамента, зависящей от количества свай  $n$  с условным коэффициентом перехода равным единице:

$$F_{max}^{норм} = 1 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{F_u}{\gamma_g \cdot \gamma_k}, \quad (6)$$

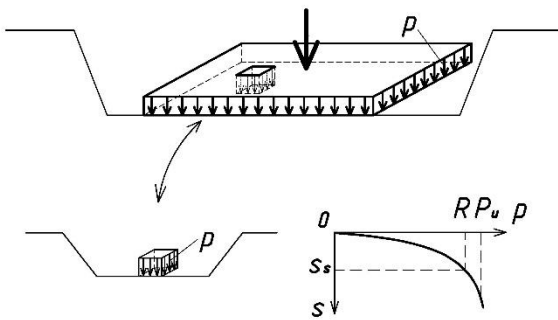
при ограничении минимального расстояния в осях между сваями –  $3d$ . Здесь стоит отметить, что минимальная величина  $2 \div 3d$

была введена в первые советские нормы по проектированию именно забивных деревянных и железобетонных свай еще в 1961 году [7], и основывалась на производственном опыте, т.к. при меньших расстояниях из-за переуплотнения около сваи массива грунта рядом расположенные сваи при забивке имели выход вверх, что сегодня учитывается актуализированной редакцией российских норм [8]. Однако, для других видов висячих свай постоянного поперечного сечения нормативная величина  $3d$  до сих пор остается неизменной, более того - не зависит ни от

длины свай, ни от механических свойств грунтов, что не обосновано.

Поэтому, при нормативном подходе проектирования свайных фундаментов не наблюдается переход количества в качество. То есть для выполнения условия (1) по недопущению превышения расчетной нагрузки  $N$  на сваи увеличивают их количество, что ведет, как правило, только к «перенасыщению» сваями условного фундамента при неизменной осадке здания и, как следствие, к завышению капитальных вложений в стоимость работ нулевого цикла. Последнее утверждение о неизменной осадке при увеличении количества свай и прочих равных условиях подтверждают многочисленные экспериментальные исследования, начатые еще с 60-х годов прошлого столетия [9-10].

а) плитный



б) свайный

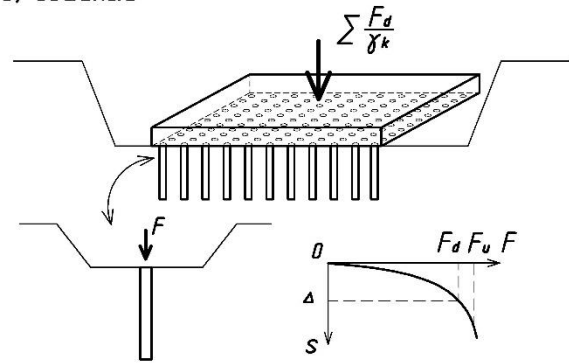


Рис. 2. Неверные подходы к проектированию крупноразмерных плитных и свайных фундаментов

Как видно из схемы на рис. 2 для плитных фундаментов не применяется такой подход к проектированию, тогда как для свайных – является нормативным, что приводит к неэффективным конструктивным решениям фундаментов при выполнении основных нормативных ограничений (1) и (2).

В этой связи, для оптимизации проектных решений фундаментов появляются новые методики расчета комбинированных свайно-плитных фундаментов [8, 11-21], где, в основном, учитывается работа плиты для уменьшения количества свай, что достаточно условно в связи с общими деформациями плитно-свайно-грунтового массива, или рациональная схема их расположения.

Для оценки эффективности комбинированного фундамента проф. Р. Катценбахом [22] предложена область эффективных значений, представленная на графике рис. 3.

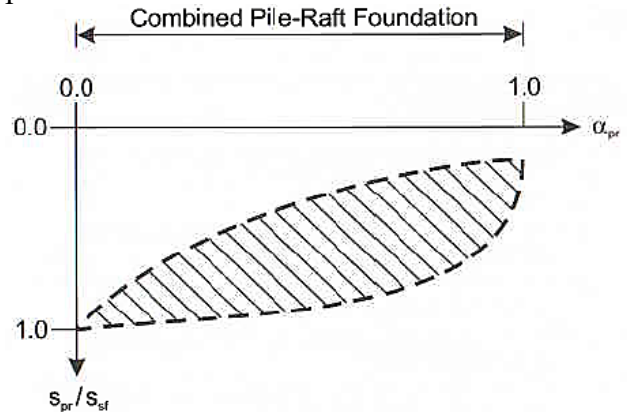


Рис. 3. Область эффективного применения комбинированного свайно-плитного фундамента

где  $\alpha_{pr} = \frac{\sum R_{pile}}{R_{tot}}$ ;  $\sum R_{pile}$  - суммарная реакция всех свай, кН;  $R_{tot}$  - общая нагрузка на плиту, кН;  $S_{pr}$  - осадка комбинированного свайно-плитного фундамента, см;  $S_{sf}$  - осадка плитного фундамента, см.

Однако, получить величины  $\sum R_{pile}$  и  $S_{pr}$  для оценки эффективности решения фундамента согласно рис. 3 можно только на основании численных методов расчета с использованием мощных расчетных комплексов или сложных инженерных вычислений, и только итерационно добиваться «попадания» в область эффективности.

В наших последних публикациях [23-26] предложены инженерные методики расчета и проектирования эффективных конструкций как свайно-плитных, так и плитно-свайных фундаментов по предельно допустимым деформациям  $S_u$ , где параметры фундаментов определяются по простым формулам без итераций.

Ниже в табл. 1 приведены основные формулы определения параметров комбинированных свайных и плитных фундаментов исходя из предельно допустимых осадок  $S_u$  зданий и сооружений шириной  $B \geq 20$  м.

Для частного случая расчета свайно-плитного фундамента (см. табл. 1) при длине свай  $l < 0$  принимается конструкция плитного фундамента, поэтому критерии проф. Р. Катценбаха  $\alpha_{pr}$  и  $\frac{S_{pr}}{S_{st}}$  (см. рис.

3) становятся не актуальными, а метод не позволяет оценивать эффективность новых конструкций комбинированных фундаментов, и поэтому не является универсальным.

Для построения нового универсального метода оценки эффективности комбинированных плитных и свайных фундаментов введем 4-и понятия и условия их удовлетворения:

**коэффициент использования прочности (расчетного сопротивления) основания:**

$$\alpha_p = \frac{p}{R_u} \leq 1, \quad (7)$$

где  $p$  – среднее давление под подошвой фундамента, кПа;  $R_u$  – предельно допустимое расчетное сопротивление основания условного фундамента, кПа,

**коэффициент использования деформативности основания:**

$$\alpha_S = \frac{S}{S_u} \leq 1, \quad (8)$$

где  $S$  – средняя осадка фундамента сооружения, м;  $S_u$  – предельно допустимая осадка фундамента сооружения, м.

**коэффициент использования прочности сечения сваи:**

$$\alpha_R = \frac{R_{pile}}{R_A} \leq 1, \quad (9)$$

**коэффициент повышения устойчивости грунта одиночной сваи:**

$$\alpha_F = \frac{R_{pile}}{F_u} \geq 1, \quad (10)$$

где  $R_{pile}$  – средняя реакция на сваи в составе фундамента, кН;  $R_A$  – предельное сопротивление сечения сваи по материалу, кН;  $F_u$  – предельное сопротивление одиночной сваи по грунту, кН.

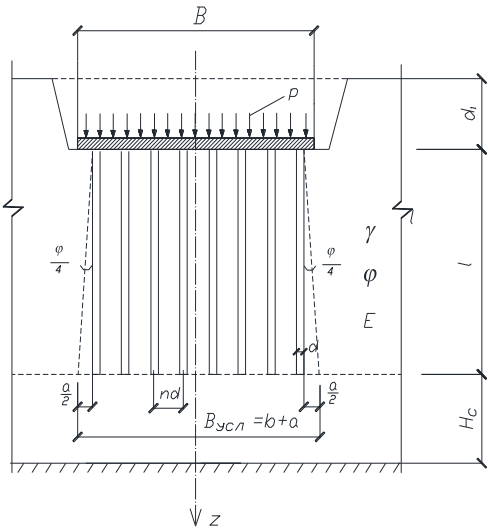
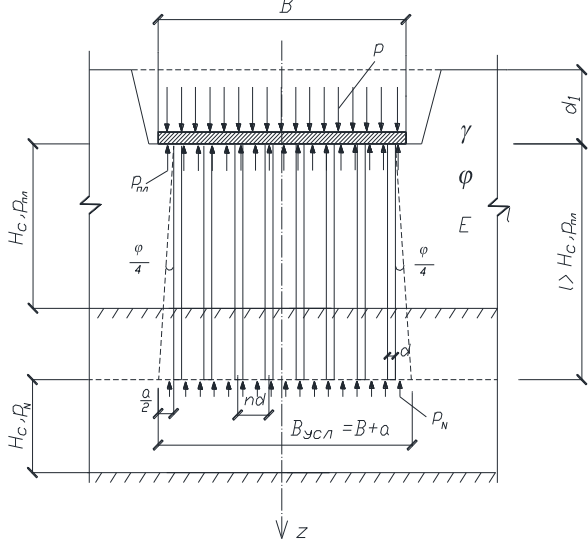
Критерии эффективности комбинированного фундамента  $\alpha_{pSR}$  и  $\alpha_F$  представлены в виде

$$\begin{cases} \alpha_{pSR} = \alpha_p + \alpha_S + \alpha_R \rightarrow 3; \\ \alpha_F \rightarrow max, \end{cases} \quad (11)$$

а область эффективных значений находится в пределах

$$2,5 \leq \alpha_{pSR} \leq 3,0. \quad (12)$$

Таблица 1 – Расчет комбинированных плитных и свайных фундаментов

Параметры фундаментов	
Свайно-плитный [24-25] основную часть нагрузки $p$ воспринимают сваи	Плитно-свайный [23] более 50% нагрузки $p$ воспринимает плита
 <p>Расчетная схема взаимодействия с грунтовым массивом</p> <p>Длина свай</p> $l = \frac{p}{0,5 \cdot \gamma} - d_1 - H_c ;$ <p>расстояние между сваями в осях</p> $a = nd \leq 2l \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{4} + d ;$ <p>сжимаемая толща</p> $H_c = \frac{S_u \cdot E}{0,8 \cdot p} .$ <p>Условие при проектировании <math>S \leq S_u</math> будет выполнено автоматически.</p>	 <p>Расчетная схема взаимодействия с грунтовым массивом</p> <p>Давление под плитой ростверка назначается в зависимости от допускаемого давления <math>p_{nl} \leq R</math> или допускаемой осадки плиты <math>S_{nl}</math></p> $p_{nl} = 0,25\gamma \cdot \left( d_1 + \sqrt{d_1^2 + \frac{10 \cdot S_{nl} \cdot E}{\gamma}} \right) ;$ <p>сжимаемая толща под плитой ростверка</p> $H_{c,p_{nl}} = \frac{p_{nl}}{k \cdot \gamma} - d_1 ;$ <p>расстояние между сваями в осях</p> $a = nd \leq 2l \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{4} + d , \quad n = \sqrt{\frac{1}{d^2} \cdot \frac{N}{p - p_{nl}}} ,$ <p>где <math>N</math> – расчетная нагрузка на сваю, кН; сжимаемая толща под нижними концами свай</p> $H_{c,p_N} = \frac{p_N}{k \cdot \gamma} - d_1 - l ,$ <p>дополнительная осадка фундамента при включении в работу свай</p> $S_N = 0,8 \frac{p_N \cdot H_{c,p_N}}{E} .$ <p>Условие при проектировании: <math>S_{nl} + S_N \leq S_u</math> .</p>

Выводы.

1. Рассмотрены нормативные положения и условия по расчету и проектированию крупноразмерных комбинированных плитных и свайных фундаментов [1, 2,

8], которые, как правило, приводят к неэффективным решениям последних.

2. Предложена линейная зависимость (5) максимальной осадки  $S_{max}$  свайного фундамента с относительно частым ( $3 \div 5d$ ) расположением свай от диаметра



*d* одиночной сваи на основании нормативной формулы и многочисленных испытаний свай.

3. Показана эффективность применения свай меньшего диаметра и сплошного сечения за счет использования относительно большей площади контакта с грунтовым массивом при относительно меньшем объеме бетона.
4. Впервые предложен универсальный метод оценки эффективности применения любых конструкций крупноразмерных комбинированных плитных и свайных фундаментов с диапазоном эффективных значений, который учитывает использование прочностных и деформационных свойств основания условного фундамента при ограничении только прочности сечения одиночных свай.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Основи та фундаменти споруд. Зміна №1: ДБН В.2.1-10-2009. – [Чинний від 2011-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с.
2. Палі. Визначення несучої здатності за результатами польових випробувань: ДСТУ Б В.2.1-27:2010. – [Чинний від 2011-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 11 с.
3. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты. – М.: Госстрой СССР, 1986. – 45 с.
4. Мониторинг и анализ осадок многоэтажных зданий на свайно-плитных фундаментах в г. Харькове: [текст] / А.В. Самородов, Т.А. Наливайко, А.В. Конюхов, В.Б. Никулин, С.В. Табачников // Тези за матеріалами VII міжнародної наукової конференції "Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд". – Харків: ХНУБА, 20-21 жовтня 2015 р. – С. 101-102.
5. El-Mossallamy, Y. Pile group action under vertical compression load // Proceedings of the International geotechnical conference "Soil-Structure Interaction. Underground Structures and Retaining Walls", St. Petersburg, Russia, "Georeconstruction" Institute. 2014. Pp. 66-77.
6. СНиП II-Б.5-67\* Свайные фундаменты. Нормы проектирования. – М.: Госстрой СССР, 1968. – 21 с.
7. СНиП II-Б.5-62 Свайные фундаменты из забивных свай. Нормы проектирования. – М.: Госстройиздат, 1961. – 13 с.
8. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03.85. – М.: Минрегионразвития РФ, 2011. – 74 с.
9. Голубков В.Н. Вопросы исследования свайных фундаментов и проектирования по деформациям. Одесса: ОГАСА, 2009. – 43 с.
10. Фиораванте В., Ямиолковский М.Б. Физическое моделирование плитно-свайных фундаментов // Реконструкция городов и геотехническое строительство. - 2006. - №10. - Стр. 200-206.
11. Александрович В.Ф., Курилло С.В., Федоровский В.Г. К вопросу о взаимном влиянии свай и плиты в основании свайно-плитного фундамента // Тр. конф. «Реконструкция исторических городов и геотехническое строительство». - 2003. - Стр. 125-143.
12. Цимбал С.Й., Карцева С.Л. Методика розрахунку пальових фундаментів з урахуванням роботи ростверку // Основи і фундаменти. – К.: КНУБА, 2004. – Вип. 28. - С. 121-130.
13. Катценбах Р., Шмитт А., Рамм Х. Основные принципы проектирования и мониторинга высотных зданий Франкфурта-на-Майне. Случаи из практики // Реконструкция городов и геотехническое строительство. - 2005. - №9. - Стр. 80-99.
14. Никитенко М.И. Рекомендации по расчету свайных фундаментов с несущими ростверками / М.И. Никитенко, В.А. Сернов // Рекомендации Р5.01.015.05. Стройтехнорм, Минархстрой РБ. – Минск, 2005. – 24 с.
15. Мирсаяпов И.Т., Артемьев Д.А. Экспериментально-теоретические исследования моделей свайно-плитных фундаментов // Известия КазГАСУ. - 2008. - №2(10). - Стр. 68-74
16. Бахолдин Б.В., Ястребова П.И., Парфенов Е.А. Принципы оценки сопротивления грунтов оснований в случае совместного применения буронабивных свай и плитных фундаментов// Труды международной конференции по геотехнике "Геотехнические проблемы мегаполисов". – Т. 5. – Москва: ПИ «Геореконструкция», 2010. – С. 1661-1666.
17. Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Геотехническое сопровождение развития городов. - СПб.: Геореконструкция, 2010. – 551 с.

18. Рузаев А.М. Оптимизация проектных решений свайных фундаментов с учетом взаимного влияния свай и работы низкого ростверка на их несущую способность. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.23.02. – Москва: ГОУ ВПО МГСУ, 2010. – 21 с.
19. Бабанов В.В., Шашкин В.А. Расчетный анализ работы свайных фундаментов с низким и высоким ростверками и с учетом нелинейной работы основания // ОФМГ. – Москва: 2012. - №2. – Стр. 2-7.
20. Оржеховский, Ю.Р. Плитно-свайные фундаменты как способ решения сложных геотехнических проблем / Ю.Р. Оржеховский, В.В. Лушников, Р.Ю. Оржеховская, Я.С. Ярдяков // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – Вып. 4. – Екатеринбург: УралНИИпроект РААСН, 2013. – Стр. 83-86.
21. Бойко, І.П. Дослідження перерозподілу зусиль у фундаменті при різних варіантах розташування паль / І.П. Бойко, В.Л. Підлуцький // Основи та фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник. – Вип. 37 / За загальною редакцією І.П. Бойка. – К.: КНУБА, 2015 – С. 64-73.
22. Combined Pile-Raft Foundation Guideline / R. Katzenbach, D. Choudhury // Darmstadt: ISSMGE - Technical University Darmstadt, 2013. – 23 p.
23. Заявка на патент № а 2013 14814. ПЛИТНО-ПАЛЬОВИЙ ФУНДАМЕНТ (Самородов О.В., Лучковський І.Я., Муляр Д.Л.) Харківський національний університет будівництва та архітектури. – Заявл. 17.12.2013.
24. Самородов А.В. Метод оптимального проектирования свайно-плитных фундаментов многоэтажных зданий по предельно допустимым осадкам / А.В. Самородов // Науковий вісник будівництва. – Вип. 1(79). – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2015. – С. 96-100.
25. Заявка на патент № а 2015 03167. ПАЛЬОВО-ПЛИТНИЙ ФУНДАМЕНТ (Самородов О.В.). – Заявл. 06.04.2015.

УДК 691.22

**Шумаков И.В., Юнис Башир, Ассаад Мустафа**

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры*

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВ КАРКАСНО-МОНОЛИТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ЛИВАНА

**Введение.** Республика Ливан занимает важное транзитно-транспортное положение в Средиземноморском бассейне, являясь западными морскими воротами в Азию, а также звеном, связывающим ее с Европой (рис. 1). Ливан характеризуют разнообразные природно-климатические условия с преимущественно горным и предгорным ландшафтом (около 60%). На побережье страны сконцентрированы 12 приморских городов, семь из которых являются административными центрами мухофаза (Бейрут, Триполи, Сайда) или када (Тир, Батрун, Джубейль, Джуния).

Для Ливана характерно неравномерное расселение, когда практически 80% населения страны сосредоточено в двух приморских городах – Бейруте и Триполи [3]. Анализ исследований [5] дает возможность констатировать, что особенности

жилищного строительства в Ливане отражают ситуацию плотного заселения и интенсивного освоения приморской зоны страны, где преимущество за малоэтажным строительством, которое и сейчас продолжает развиваться.

