

**Сеськов Валерий Ефимович**, канд. техн. наук, доцент, лауреат премии Совета Министров БССР и Беларуси, ведущий научный сотрудник, РУП «Институт БелНИИС», г. Минск (Беларусь)

**Лях Вадим Николаевич**, заместитель заведующего научно-исследовательским отделом, заведующий лабораторией, РУП «Институт БелНИИС», г. Минск (Беларусь)

**Valeriy Seskov**, PhD in Engineering Science, winner of the Prize of the Council of Ministers of the BSSR and Belarus, leading research scientist, Institute BelNIIS RUE, Minsk (Belarus)

**Vadim Liakh**, deputy head of the scientific and research department, head of the laboratory, Institute BelNIIS RUE, Minsk (Belarus)

## **ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФУНДАМЕНТОВ С МИКРОСВАЯМИ С УПЛОТНЕННЫМ ОСНОВАНИЕМ (ФСМ) НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ НАГРУЗКУ ПРИ НАЛИЧИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НАГРУЗОК И МОМЕНТОВ**

## **PECULIARITIES OF THE CALCULATION AND DESIGNING OF FOUNDATIONS WITH COMPACTED BASE MICROPILES (CBM) FOR VERTICAL LOAD IN THE PRESENCE OF HORIZONTAL LOADS AND MOMENTA**

### **АННОТАЦИЯ**

*В статье приведены результаты исследований взаимодействия ФСМ и уплотненных грунтовых оснований при действии на ФСМ вертикальной нагрузки при наличии горизонтальных нагрузок и моментов.*

ФСМ имеют сложную (гибридную) конструкцию, включающую группу (куст) из 3÷4 микросвай конусообразной формы длиной 1,0 м и объединяющий их общий ростверк высотой 0,5 м.

Технология устройства ФСМ предусматривает забивку и извлечение из грунта специального металлического штампа с применением стандартного сваебойного оборудования.

Металлический штамп-скважинообразователь ФСМ состоит из пустообразователей микросвай и ростверка, которые соединены между собой гибкой связью и забиваются в грунтовое основание последовательно: сначала пустообразователи микросвай, а затем пустообразователь ростверка вместе с пустообразователями микросвай. Извлечение из грунта пустообразователей производится в обратной последовательности.

Образованные выштампованные полости (скважины микросвай и котлован ростверка) заполняют бетоном с армированием.

В процессе устройства ФСМ происходит двойное уплотнение грунтового основания за счет забивки пустообразователей микросвай и ростверка. Интенсивное уплотнение грунтового основания приводит к высокой удельной несущей способности ФСМ, достигающей до 3000 кН на 1 м<sup>3</sup> железобетонного тела ФСМ.

Длительная практика применения ФСМ в качестве столбчатых фундаментов (отдельностоящих и групповых) выявила недостатки методов их расчета и проектирования, отраженных в действующих ТНПА, при совместном воздействии на них вертикальных, горизонтальных нагрузок и моментов, что увеличивает их размеры, стоимость и усложняет технологию изготовления из-за увеличения ФСМ в группе (кусте) под столбчатые опоры.

В статье приводится уточненная (откорректированная) методика расчета ФСМ совместно с уплотненным грунтовым основанием при совместном действии вертикальных, горизонтальных сил и моментов с учетом пространственного характера работы ФСМ и пластического защемления ФСМ в грунте (сваегрунтовой массив под ростверком и уплотненная подсыпка вокруг ростверков). Экономия стоимости (материалоемкость и возведение) составляет 30–100 % в зависимости от вида грунтовых оснований.

## ABSTRACT

*The article presents the results of investigation of the interaction between the FWM and the compacted soil bases with the action of vertical load on the CBM in the presence of horizontal loads and momenta.*

*The CBMs have complex (hybrid) construction including the group (cluster) of 3 or 4 cone-shaped micropiles with the length of 1.0 m and uniting their common foundation framework with the height of 0.5 m.*

*The CBM construction technology provides for driving a special metal punch into and removal from the soil using the standard pile-driving equipment.*

*The metal well punch of the CBM consists of blockouts of the micropiles and foundation framework, which are interconnected by a flexure link and driven into the subsoil in the following order: firstly, the blockouts of the micropiles and then the blockout of the foundation framework together with the blockouts of the micropiles. The blockouts are removed from soil in the reverse sequence.*

*The formed punched cavities (wells for the micropiles and pit for foundation framework) are filled with concrete with reinforcement.*

*During the construction of the CBM, the double compaction of the subsoil takes place due to driving the blockouts of the micropiles and foundation framework. The intensive compaction of the subsoil leads to high specific bearing capacity of the CBM reaching up to 3,000 kN per 1 m<sup>3</sup> of the reinforced-concrete body of the CBM.*

*The long-term practice of application of the CBM as pier foundations (stand-alone and group ones) has revealed the disadvantages of the methods of their calculation and designing reflected in the technological regulations under the joint action of vertical and horizontal loads and momenta upon them, increasing their dimensions and cost and complicating the manufacturing technology due to enlargement of the CBM in the group (cluster) for the pedestal piers.*

*The article presents the refined (corrected) technique of calculation of the CBM together with the compacted subsoil under the joint action of vertical and horizontal loads and momenta with due account of three-dimensional nature of work of the CBM and plastic lamming of the CBM in the soil (pile-and-soil massive under the foundation framework and*

*compacted filling around the foundation framework). The cost saving (material consumption and erection) is 30–100 % depending on the kind of subsoils.*

**Ключевые слова:** фундамент, микросваи, штамп-скважинообразователь, грунтовые основания, уплотнение, совместная работа, нагрузки, момент, расчет.

**Keywords:** foundation, micropiles, well punch, subsoils, compaction, joint work, loads, momentum, calculation.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Фундаменты ФСМ являются оригинальной разработкой РУП «Институт БелНИИС», защищенной авторскими свидетельствами, получили широкое распространение в практике строительства РБ, применялись в РФ и Украине, технология ФСМ закуплена КНР и Францией. Разработаны соответствующие ТНПА по расчету, проектированию и устройству ФСМ [1, 2].

Особенно эффективно применение ФСМ при возведении зданий с трехшарнирными рамами, где они не имеют конкуренции ни по стоимости, ни по скорости возведения [3].

Конструктивно ФСМ представляет собой куст из трех, четырех микросвай конусообразной формы длиной до  $l = 1,0$  м и заглубленного ростверка в выштампованном котловане с размерами в плане  $a \times b = (0,9 \div 1,4) \times (0,7 \div 1,1)$  м и высотой  $h = 0,5$  м, здесь  $a$  – длина ростверка и  $b$  – ширина ростверка.

ФСМ изготавливается путем забивки в грунт штампа-скважинообразователя идентичной формы и последующего бетонирования скважин микросвай и котлована заглубленного ростверка. При этом могут изготавливаться как одиночные и ленточные ФСМ, так и кусты из двух, трех и четырех ФСМ с использованием комплекта штампов-скважинообразователей [4].

Основное преимущество ФСМ заключается в образовании зоны двойного упрочнения (уплотнения) под фундаментом в процессе выштамповки скважин микросвай и котлована под ростверк. Как показали проведенные исследования, именно образование

упрочненной (уплотненной) зоны обеспечивает высокую удельную несущую способность оснований (в том числе насыпных) ФСМ, позволяет ликвидировать влияние колебаний прочности (плотности) верхнего слоя естественных оснований, а также вести строительство на насыпных грунтах толщиной до 3 м без их предварительного уплотнения [5].

Это способствует получению одной из наиболее высоких удельных несущих способностей (до 3000 кН/м<sup>3</sup> бетона) среди всех видов фундаментов, применяемых в настоящее время в строительной отрасли Беларуси.

Таким образом, эффективность ФСМ обеспечивается в основном за счет максимального использования несущей способности грунтового основания и уменьшения за счет этого (бетон, арматура) фундаментной конструкции (тела фундамента). Указанная разработка защищена восемью авторскими свидетельствами и патентами [6 и др.].

Сопrotивление оснований ФСМ при воздействии вертикальных нагрузок определяется [7]:

- сопротивлением упрочненного грунта по подошве заглубленного ростверка ( $R_0$ );
- сопротивлением упрочненного грунта по острию ( $R$ ) и боковой поверхности микросвай ( $R_{\text{н}}$ );
- нормальным давлением упрочненного грунта (боковым отпором) по боковой поверхности микросвай ( $R_{\text{г}}$ ), вызванным конусообразной формой микросвай.

Сопrotивление оснований ФСМ при воздействии горизонтальных нагрузок определяется [5]:

- силами трения упрочненного грунта по подошве заглубленного ростверка, определяемыми величиной вертикального пригруза ( $N$ ) и углом внутреннего трения упрочненного грунта ( $j_v$ );
- силами сцепления (прилипания) между подошвой заглубленного ростверка и упрочненным грунтом, определяемыми площадью подошвы ( $A$ ) заглубленного ростверка и удельным сцеплением упрочненного грунта ( $C_v$ );
- силами пассивного отпора грунта по боковой поверхности заглубленного ростверка и микросвай.

Экспериментально были определены и нормированы параметры зон упрочнения грунтовых оснований ФСМ и характеристики упрочненных грунтов в пределах этих зон [5].

Зона уплотнения имеет форму эллипсоида вращения. В частности, наибольшие размеры зоны уплотнения песчаных грунтов средней крупности в зависимости от ширины  $b$  заглубленного ростверка составляют:

- для песков плотных:
  - по ширине –  $4b$ ,
  - по глубине –  $1,6b$ ;
- для песков средней плотности:
  - по ширине –  $2,8b$ ,
  - по глубине –  $1,8b$ ;
- для песков рыхлых:
  - по ширине –  $2,2b$ ,
  - по глубине –  $2,9b$ .

Значение переходных коэффициентов для определения геометрических параметров зоны упрочнения (уплотнения) по сравнению с соответствующими параметрами песчаных грунтов средней крупности составляет:

- для песков крупных –  $1,30$ ;
- для песков мелких –  $0,80$ ;
- для песков пылеватых –  $0,70$ , а с учетом проявления тиксотропных свойств –  $0,60$ .

## **ОТКОРРЕКТИРОВАННАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА**

Расчет ФСМ на вертикальную нагрузку (при наличии моментов) по деформациям производится с определением максимальных и минимальных краевых давлений под подошвой заглубленного ростверка [5], что соответствует кососжатому состоянию ростверка ФСМ.

При этом должны выполняться условия:

$$\sigma_{\max} \leq 1,2R_y; \quad (1)$$

$$\sigma_{\min} \geq 0; \quad (2)$$

$$\sigma_{cp} \leq R_y, \quad (3)$$

где  $R_y$  – расчетное сопротивление уплотненного грунта под подошвой заглубленного ростверка;

$\sigma_{max}$ ,  $\sigma_{min}$  – соответственно максимальное и минимальное краевое давление по подошве заглубленного ростверка;

$\sigma_{cp}$  – определяется как среднее  $\sigma_{max}$  и  $\sigma_{min}$ .

Однако практика применения ФСМ, особенно в качестве столбчатых фундаментов, показала, что данный расчет занижает значения моментных нагрузок, которые могут воспринять ФСМ. Это связано с тем, что не учитывается пространственный характер работы ФСМ и пластическое защемление ФСМ в грунте (сваегазовый массив под ростверком и уплотненная подсыпка вокруг ростверка).

Для учета особенностей совместной работы ФСМ с уплотненными грунтовыми основаниями при совместном действии вертикальных, горизонтальных нагрузок и моментов была использована методика, применяемая для расчета фундаментов в вытрамбованных котлованах [7].

Расчет краевых давлений  $\sigma_{max}$ ,  $\sigma_{min}$  производим в соответствии с расчетной схемой, приведенной на рисунке по формулам:

$$\sigma_{min}^{max} = (N + G)/A_m \pm (\Sigma M - 0,5f_h b_m h^2)/W, \quad (4)$$

$$\sigma_{max} \leq 1,2R_{(1,2)}, \quad (5)$$

$$\sigma_{min} \geq 0, \quad (6)$$

где  $N$  – вертикальная составляющая равнодействующей сил, действующих на фундамент, кН;

$G$  – собственный вес фундамента и вес грунта, действующий на обрез фундамента (см. рисунок), равный  $G = \gamma_m d_0$  (здесь:  $\gamma_m = 20$  кН/м<sup>3</sup>,  $d_0$  – толщина грунта и пола, м), кН;

$A_m$  – площадь фундамента на глубине  $0,5h(d_p)$ , м<sup>2</sup> (см. рисунок);

$\Sigma M$  – сумма моментов, в т.ч. и сдвиговых (горизонтальных) сил, кНм;

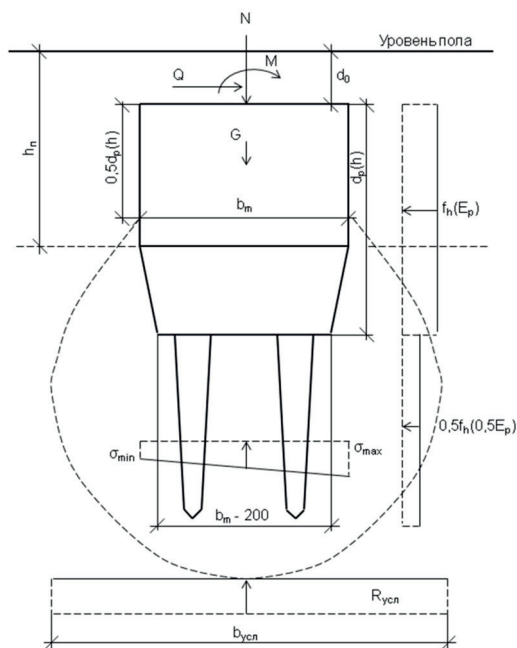
$f_h$  – горизонтальная составляющая реактивного отпора грунта с учетом уплотнения песчаной подушки толщиной  $h_n$ , равная меньшему значению из двух величин:

$f_h = a + b\sigma_m$  (здесь:  $a = 100$  кПа;  $b = 0,4$ ;  $\sigma_m$  – среднее вертикальное напряжение на глубине  $0,5h$ , м),  $\text{кН/м}^2$ ;

$f_h = E_p$  (см. п. Г.2.2 Пособия П19–04),  $\text{кН/м}^2$  [5];

$R_{(1,2)}$  – расчетное сопротивление грунта под подошвой ФСМ  $R_{(1)}$  и расчетное сопротивление под условным фундаментом  $R_{(2)}$  (под микросваями) (см. таблицы 5.6 и 5.7 Пособия П19–04 и рисунок) [5],  $\text{кН/м}^2$ ;

$W$  – момент сопротивления сечения ростверка на глубине  $0,5d_p$ ,  $\text{м}^3$ .



**Рисунок.** Расчетная схема

Значение среднего вертикального напряжения  $\sigma_m$ ,  $\text{кН/м}^2$ , на глубине  $0,5h$ , м, определяется по формуле:

$$\sigma_m = (N + G)/A_m, \quad (7)$$



где  $N$ ,  $G$ ,  $A_m$  – то же, что и в формуле (4).

Значения  $R_{(1,2)}$  принимаются по таблицам 5.6 и 5.7 Пособия П19–04 [5] с учетом расстояния от расчетной поверхности грунта до середины рассматриваемого слоя, а именно:

- значение  $R_{(1)}$  – на расстоянии (глубине) – 0,5 м во всех случаях;
- значение  $R_{(2)}$  – на расстоянии (глубине) – 1,5 м во всех случаях с коэффициентом 0,6.

При этом значение  $R_{(2)}$  не должно превышать значение расчетного сопротивления грунта ( $R_{усл}$ ) под подошвой условного фундамента (см. рисунок) шириной  $b_{усл}$ , определенного для грунта природного сложения по данным инженерно-геологических изысканий.

Откорректированная методика расчета ФСМ при совместном воздействии вертикальных, горизонтальных сил и момента была использована при проектировании столбчатых опор из ФСМ под колонны на объекте «Спортивно-оздоровительный и торгово-развлекательный центр на пересечении ул. Казимировской – ул. Каменногорской в г. Минске» (объект 1), а также при проектировании ФСМ под производственно-складское здание в районе п. Сосновый Бор Мясотского сельсовета (объект 2).

В таблицах 1 и 2 приведено наихудшее сочетание вертикальных, горизонтальных и моментных нагрузок и результаты расчетов для объекта 1.

Таблица 1

**Нагрузки на ФСМ-1, -2, -3, -4**

Наименование ФСМ	Расположение ФСМ (оси здания)	Отметка верха ФСМ, м	Нагрузки		
			Вертикальная, $N$ , кН	Горизонтальная, $Q$ , кН	Момент, $M$ , кНм
ФСМ-1	«Ф»-«5»	(-1.00)	196,34	13,97	68,76
ФСМ-2	«Б»-«11»	(-0.50)	163,71	0,32	144,84
ФСМ-3	«У-Ф»-«1»	(-1.70)	271,70	4,42	76,63
ФСМ-4	«У»-«3»	(-0.50)	786,27	1,48	45,83
ФСМ-4	«Г»-«12»	(-0.50)	1041,88	0,92	78,84

### Результаты расчетов ФСМ-1, -2, -3, -4

Наименование ФСМ	Расположение ФСМ (оси здания)	Отметка верха ФСМ, м	Отметка забивки ФСМ, м	Расчетное сопротивление грунта $R_{(1)}$ ( $1,2 R_{(1)}$ ), кПа	Краевые давления, $\sigma$ , кПа	
					max	min
ФСМ-1	«Ф»-«5»	(-1.00)	(-1.60)	650 (780)	334,2	3,85
ФСМ-2	«Б»-«11»	(-0.50)	(-1.30)	650 (780)	248,35	62,29
ФСМ-3	«У-Ф»-«1»	(-1.70)	(-2.00)	650 (780)	321,19	180,81
ФСМ-4	«У»-«3»	(-0.50)	(-1.30)	650 (780)	599,25	593,71
ФСМ-4	«Г»-«12»	(-0.50)	(-1.30)	650 (780)	773,1	770,3

При применении стандартной методики расчета (см. условия 1–3) размеры ФСМ в плане (по таблицам 1 и 2) увеличиваются в  $1,5 \div 2,0$  раза.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведена откорректированная методика расчета ФСМ при совместном действии вертикальных, горизонтальных и моментных нагрузок с учетом пространственной работы ФСМ совместно с уплотненным грунтовым основанием и пластического защемления ФСМ в уплотненном грунте.

Снижение материалоемкости и экономия стоимости возведения ФСМ составляет 30–100 % в зависимости от вида грунтов.

Предложенная откорректированная методика расчета ФСМ применена при проектировании 2-х реальных строительных объектов и после соответствующей апробации на других строительных объектах будет внесена в действующие ТНПА [5] в виде изменений и дополнений при их пересмотре.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сеськов, В.Е. Опыт строительства зданий и сооружений на набивных фундаментах с микросваями в выштампованных котлованах / В.Е. Сеськов, В.Н. Лях // Основания

- и фундаменты: Обзорная информация БелНИИНТИ.– Минск, 1990.– 53 с.
2. Сеськов, В.Е. Фундаменты с микросваями в выштампованных котлованах на объектах строительства Беларуси / В.Е. Сеськов, В.Н. Лях // Основания, фундаменты и механика грунтов.– 1995.– № 5.–С. 7–10.
  3. Сеськов, В.Е. Эффективные фундаменты под распорные нагрузки для сельскохозяйственных зданий / В.Е. Сеськов, В.Н. Лях // Мастерская. Современное строительство.– 2009.– № 2.–С. 46–50.
  4. Сеськов, В.Е. Технология устройства набивных фундаментов в выштампованных котлованах с микросваями / В.Е. Сеськов, В.Н. Лях // Прибалтийская геотехника VII: Тез. докл. конф.–Рига, 1991.–С. 147–150.
  5. Проектирование и устройство фундаментов из свай набивных с уплотненным основанием: П19–04 к СНБ 5.01.01–99.–Введ. 01.07.05.–Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2006.– 88 с.
  6. Способ возведения фундамента с армированным основанием: пат. 1646 Респ. Беларусь, МПК Е 02 D27/28, Е 02 D27/32 / В.Н. Лях, В.Е. Сеськов; заявитель и патентообладатель Бел. науч.–иссл. ин-т по стр-ву Мин. стр-ва и арх-ры.– № 950713; заявл. 13.06.1995; опубл. 30.03.1997 // Афіцыйны бюл. / Дзярж. патэнтны камітэт.– 1997.– № 1.–С. 138.
  7. Пособие по проектированию зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01–83).–Москва: НИИОСП им. Герсеванова Госстроя СССР, 1986.–С. 252–253.

## REFERENCES

1. Seskov V.YE., Lyakh V.N. *Опыт stroitelstva zdaniy i sooruzheniy na nabivnykh fundamentakh s mikrovstayami v vyshtampovannykh kotlovanakh* [Bases and foundations: Survey information of the Belarusian Scientific Research Institute of Scientific and Technological Information]. Minsk: Osnovaniya i fundamenty: Obzornaya informatsiya BelNIINTI, 1990. 53 p. (rus)

2. Seskov V.YE., Lyakh V.N. Osnovaniya, fundamenty I mekhanika gruntov [*Soil Mechanics and Foundation Engineering*]. 1995. No. 5. pp. 7–10. (rus)
3. Seskov V.YE., Lyakh V.N. *Masterskaya. Sovremennoe stroitelstvo*. 2009. No.2. pp.46–50. (rus)
4. Seskov V.YE., Lyakh V.N. *Tekhnologiya ustroystva nabivnykh fundamentov v vyshtampovannykh kotlovanakh s mikrosvayami*. Riga: Pribaltiyskaya geotekhnika VII: Tez. dokl. konf. [Baltic geotechnical engineering VII: Theses of the Conference reports], 1991. pp.147–150. (rus)
5. *Proektirovanie i ustroystvo fundamentov iz svay nabivnykh s uplotnennym osnovaniem* [Designing and foundation works of cast-in-place piles with the compacted base]: P19–04 k SNB5.01.01–99. Minsk: Minstroyarkhitektury Respubliki Belarus, 2006. 88 p. (rus)
6. Seskov V.YE., Lyakh V.N. *Sposob vozvedeniya fundamenta s armirovannym jsnovaniem* [Method of the foundation construction activities with reinforced base: Patent 1646 of the Republic of Belarus]: pat.1646 Resp. Belarus, MPK E 02 D27/28, E 02 D27/32. Minsk: Afitsiyny byul. / Dzyarzh. Patentny kamitet, 1997. No. 1. p.138. (rus)
7. *Posobie po proektirovaniyu zdaniy i sooruzheniy (k SNiP 2.02.01–83)* [Handbook for designing of buildings and structures (to the Construction Rules and Regulations (SNiP) 2.02.01–83)]. Moscow: NIIOSP im.Gersevanova Gosstroya SSSR, 1986. pp. 252–253. (rus)

*Статья поступила в редколлегию 18.08.2016*