

Юлия Вадимовна ЛЯХ,  
кандидат технических наук,  
старший преподаватель кафедры  
"Экономика строительства"  
Белорусского национального  
технического университета

## РАСЧЕТ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОЗВЕДЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ СТОЛБЧАТЫХ ФУНДАМЕНТОВ НА УПЛОТНЕННЫХ ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНЫХ ПОДУШКАХ, ПОДСТИЛАЕМЫХ СУПЕСЯМИ

### CALCULATION OF TECHNICAL AND ECONOMIC INDICES FOR CONSTRUCTION OF MONOLITHIC COLUMN FOUNDATIONS ON COMPACTED SAND-GRAVEL BED RESTING ON LOAM

В статье рассматриваются вопросы возведения эффективных (экономичных) фундаментов зданий и сооружений на уплотненных песчано-гравийных подушках, подстилаемых водонасыщенными и неводонасыщенными грунтовыми основаниями. Предложена номенклатура конструктивных решений фундаментов, выполнен технико-экономический анализ стоимости их возведения, толщины и объема песчано-гравийных подушек, расхода бетона и арматуры.

This article deals with the issues of constructing cost-effective foundations on compacted sand-gravel bed resting on water-saturated and unsaturated soil. A catalogue of structural designs of foundations has been proposed and a feasibility study has been carried out. The analysis of the sand-gravel bed depth and volume and expenditure of concrete and reinforcement has been fulfilled.

#### ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение динамичного развития строительной индустрии в условиях ресурсного дефицита является одной из важнейших задач предприятий строительного комплекса. Внедрение инновационных технологий и материалов обуславливает прогрессивные изменения в первую очередь за счет снижения стоимости и сроков строительства, повышения комфортности проживания и эксплуатации возводимых объектов. Кроме того, что особенно актуально в условиях финансового кризиса, создается необходимый уровень качества строительной продукции, что позволяет достойно конкурировать на мировых рынках.

Мировая практика строительства показывает, что на сегодняшний день из существующих технологий возведения зданий и сооружений наиболее перспективным является строительство из монолитного железобетона. В настоящее время в строительной отрасли республики усиливается тенденция повышения доли именно монолитных конструкций в общем объеме строительных работ. Вместе с тем, в монолитном строительстве имеют место рост себестоимости из-за перерасхода материальных ресурсов, повышение трудоемкости процессов и спад темпов строительства. Эти негативные факторы чаще всего являются следствием применения необоснованных, зачастую морально устаревших технологических способов возведения зданий, неудачных конструктивных решений, отсутствия точности в проектировании и недостаточной грамотности строителей в организации производственного цикла.

Усовершенствование проектных решений конструкций нулевого цикла с использованием искусственных оснований зданий и сооружений повышает экономичность принятых решений, снижает трудоемкость их возведения, позволяя получить качественное основание при минимальных энергозатратах, что, в конечном счете, снижает сроки строительства и стоимость работ. Как

показывают исследования, выбор оптимальных конструктивных решений в строительстве в итоге основывается на анализе технико-экономических показателей предлагаемых вариантов строительства.

#### СУЩНОСТЬ ГРАФО-АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ ФУНДАМЕНТОВ

Для обеспечения снижения себестоимости и повышения качества строительства в области фундаментостроения автором статьи был разработан графо-аналитический метод, позволяющий проанализировать основные технико-экономических показатели возведения монолитных квадратных столбчатых фундаментов на уплотненных песчано-гравийных подушках и на естественных основаниях [1]. Этот метод основан на том предположении, что при расчете экономической эффективности возведения всех типов фундаментов строящихся зданий или сооружений с учетом действующих конкретных нагрузок на фундаменты и принятых расчетных сопротивлений грунтов оснований в пределах пятна застройки, экономически сложно оценить какой-либо определенный тип фундамента в сопоставлении с другими.

С учетом СНБ 5.03.01 [2] и ТКП 45-5.01-66 [3] в рамках выполняемых исследований по экономической оценке возведения искусственных оснований зданий и сооружений автором разработана первая редакция Альбома номенклатуры монолитных квадратных столбчатых фундаментов на уплотненных песчано-гравийных подушках в сопоставлении с фундаментами на естественных грунтовых основаниях и произведены расчеты по определению экономической эффективности возведения предлагаемого варианта искусственного основания при условии, что подстилающими естественными грунтами являются пески мелкие и пылеватые [4, 5].

После внесения соответствующих изменений и уточнений был доработан окончательный вариант номенклатуры

монолитных квадратных столбчатых фундаментов на уплотненных песчано-гравийных подушках, определяющей толщину и объем песчано-гравийных подушек для всей номенклатуры фундаментов. В таблице 1 приведен

фрагмент этой номенклатуры при условии, что подстилающими грунтами являются супеси с показателем текучести  $J_L$ , изменяющимся в диапазонах:  $0 \leq J_L \leq 0,25$  и  $0,25 < J_L \leq 0,75$ .

**Таблица 1. Номенклатура монолитных квадратных столбчатых фундаментов на уплотненных песчано-гравийных подушках в сопоставлении с фундаментами на супесях**

Вариант	Нагрузка, кН/м	Наименование грунтов	Коэффициент пористости	Показатель текучести	Фундамент на естественном основании				Фундамент на уплотненной песчано-гравийной подушке						
					Ширина фундамента по расчету, м	Номенклатура блока	Расход материалов		Номенклатура блока	Расход материалов		Экономия, раз		Толщина подушки, м	Объем подушки, м <sup>3</sup>
							Бетон, м <sup>3</sup>	Металл, кг		Бетон, м <sup>3</sup>	Металл, кг	Бетон	Металл		
33	6300	Супесь	0,45	$0 \leq J_L \leq 0,25$	3,66	ФКС 3,9-447	7,76	330,43	ФКС 2,4-1127 (УП)	2,65	170,15	2,93	2,23	1,03	11,91
34	4800				3,25	ФКС 3,3-474	5,43	220,05	ФКС 2,1-1120 (УП)	2,35	98,70	2,31	2,23	0,85	8,17
35	3500				2,82	ФКС 3,0-422	4,70	146,10	ФКС 1,8-1113 (УП)	1,22	74,73	3,85	1,95	0,68	5,33
36	2400				2,33	ФКС 2,4-450	2,16	110,28	ФКС 1,5-1100 (УП)	0,92	30,93	2,35	3,65	0,51	3,19
37	6300	Супесь	0,55	$0 \leq J_L \leq 0,25$	3,85	ФКС 3,9-447	7,76	380,43	ФКС 2,4-1127 (УП)	2,65	170,15	2,93	2,23	1,19	13,81
38	4800				3,45	ФКС 3,6-403	6,05	262,61	ФКС 2,1-1120 (УП)	2,35	98,70	2,57	2,66	1,03	9,85
39	3500				3,08	ФКС 3,3-354	5,90	182,17	ФКС 1,8-1113 (УП)	1,22	74,73	4,84	2,44	0,88	6,90
40	2400				2,53	ФКС 2,7-362	2,84	117,08	ФКС 1,5-1100 (УП)	0,92	30,93	3,09	3,78	0,70	4,37
41	6300	Супесь	0,65	$0 \leq J_L \leq 0,25$	4,25	ФКС 4,5-344	12,20	442,79	ФКС 2,4-1127 (УП)	2,65	170,15	4,60	2,60	1,36	15,72
42	4800				3,73	ФКС 3,9-348	6,72	306,38	ФКС 2,1-1120 (УП)	2,35	98,70	2,86	3,10	1,20	11,53
43	3500				3,24	ФКС 3,3-354	5,90	182,17	ФКС 1,8-1113 (УП)	1,22	74,73	4,84	2,44	1,08	8,47
44	2400				2,73	ФКС 3,0-300	4,70	94,70	ФКС 1,5-1100 (УП)	0,92	30,93	5,11	3,06	0,89	5,00
45	6300	Супесь	0,75	$0 \leq J_L \leq 0,25$	4,74	ФКС 4,8-306	12,83	493,28	ФКС 2,4-1127 (УП)	2,65	170,15	4,84	2,90	1,39	16,07
46	4800				4,18	ФКС 4,2-305	9,00	299,84	ФКС 2,1-1120 (УП)	2,35	98,70	3,83	3,04	1,24	11,92
47	3500				3,62	ФКС 3,6-303	6,05	201,23	ФКС 1,8-1113 (УП)	1,22	74,73	4,96	2,69	1,18	9,25
48	2400				3,04	ФКС 3,0-300	4,70	94,70	ФКС 1,5-1100 (УП)	0,92	30,93	5,11	3,06	1,11	6,94
49	6300	Супесь	0,45	$0,25 < J_L \leq 0,75$	4,04	ФКС 4,2-390	9,00	391,03	ФКС 2,4-1127 (УП)	2,65	170,15	3,40	2,30	1,57	18,15
50	4800				3,56	ФКС 3,6-403	6,05	262,61	ФКС 2,1-1120 (УП)	2,35	98,70	2,57	2,66	1,49	14,32
51	3500				3,08	ФКС 3,3-354	5,90	182,17	ФКС 1,8-1113 (УП)	1,22	74,73	4,84	2,44	1,22	9,56
52	2400				2,59	ФКС 2,7-362	2,84	117,08	ФКС 1,5-1100 (УП)	0,92	30,93	3,09	3,78	1,01	6,31
53	6300	Супесь	0,55	$0,25 < J_L \leq 0,75$	4,47	ФКС 4,5-344	12,20	442,79	ФКС 2,4-1127 (УП)	2,65	170,15	4,60	2,60	1,66	19,19
54	4800				3,96	ФКС 4,2-305	9,00	299,84	ФКС 2,1-1120 (УП)	2,35	98,70	3,83	3,04	1,56	14,99
55	3500				3,41	ФКС 3,6-303	6,05	201,23	ФКС 1,8-1113 (УП)	1,22	74,73	4,96	2,69	1,36	10,62
56	2400				2,85	ФКС 3,0-300	4,70	94,70	ФКС 1,5-1100 (УП)	0,92	30,93	5,11	3,06	1,11	6,94
57	6300	Супесь	0,65	$0,25 < J_L \leq 0,75$	4,83	ФКС 4,8-306	12,82	493,28	ФКС 2,4-1127 (УП)	2,65	170,15	4,84	2,90	1,75	20,23
58	4800				4,29	ФКС 4,5-270	12,20	338,97	ФКС 2,1-1120 (УП)	2,35	98,70	5,19	3,43	1,63	15,66
59	3500				3,68	ФКС 3,9-263	6,72	252,96	ФКС 1,8-1113 (УП)	1,22	74,73	5,51	3,38	1,49	11,68
60	2400				3,12	ФКС 3,3-253	5,90	133,91	ФКС 1,5-1100 (УП)	0,92	30,93	6,41	4,33	1,21	7,56
61	6300	Супесь	0,75	$0,25 < J_L \leq 0,75$	5,39	ФКС 5,4-249	17,05	628,67	ФКС 2,4-1127 (УП)	2,65	170,15	6,43	3,69	1,95	22,59
62	4800				4,74	ФКС 4,8-241	11,64	464,08	ФКС 2,1-1120 (УП)	2,35	98,70	4,95	4,70	1,84	17,68
63	3500				4,11	ФКС 4,2-231	7,91	275,15	ФКС 1,8-1113 (УП)	1,22	74,73	6,48	3,68	1,56	12,23
64	2400				3,46	ФКС 3,6-218	5,35	160,91	ФКС 1,5-1100 (УП)	0,92	30,93	5,81	5,20	1,27	7,94
65	6300	Супесь	0,85	$0,25 < J_L \leq 0,75$	6,01	Плита	—	—	ФКС 2,4-1127 (УП)	2,65	170,15	—	—	2,16	24,97
66	4800				5,27	ФКС 5,4-197	16,04	481,27	ФКС 2,1-1120 (УП)	2,35	98,70	6,82	4,88	2,05	19,70
67	3500				4,54	ФКС 4,8-185	10,29	177,62	ФКС 1,8-1113 (УП)	1,22	74,73	8,43	2,38	1,63	12,78
68	2400				3,84	ФКС 3,9-191	8,30	185,95	ФКС 1,5-1100 (УП)	0,92	30,93	9,02	6,01	1,33	8,31

Примечание — ФКС — фундамент квадратный столбчатый; первая, стоящая после обозначения, цифра — ширина квадратного фундамента, последующие цифры характеризуют расчетное сопротивление грунта на отметке подошвы фундамента согласно СНБ 5.01.01 [7]. Расчетные сопротивления песчано-гравийных подушек указаны с индексом (УП).

Предлагаемый графо-аналитический метод базируется на составлении сметных расчетов [6] и предусматривает построение номограмм, связывающих величины действующих нагрузок на фундаменты, физико-механических характеристик супесей с показателями стоимости возведения фундаментов, расходов на заработную плату, эксплуатацию машин и механизмов, материальных и накладных расходов, плановых накоплений и трудоемкости, то есть основных технико-экономических показателей, позволяющих определить общую экономическую эффективность конструктивного решения. Наиболее характерные из номограмм приведены на рис. 1 и 2.

Анализ полученных результатов показывает, что при возведении монолитных квадратных столбчатых фундаментов на уплотненных песчано-гравийных подушках при показателе текучести подстилающих супесей 0,25–0,75 в базовом уровне цен стоимость строительных работ находится в диапазоне от 936 166 до 2 340 906 руб., размер заработной платы рабочих строителей — от 126 728 до 226 700 руб.

При возведении аналогичных фундаментов на естественных основаниях при показателе текучести супеси основания, изменяющегося в диапазоне от 0,25 до 0,75, стоимость возведения фундаментов составит от 1 649 966 до 5 773 450 руб., а размер расходов на основную заработную плату рабочих строителей — от 242 057 до 678 723 руб. в базовом уровне цен соответственно.

В таблицах 2 и 3 приведена динамика изменения основных технико-экономических показателей номенклатуры квадратных столбчатых фундаментов из монолитного железобетона.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

- 1 Как показали проведенные исследования, разработанный графо-аналитический метод по определению основных технико-экономических показателей при возведе-

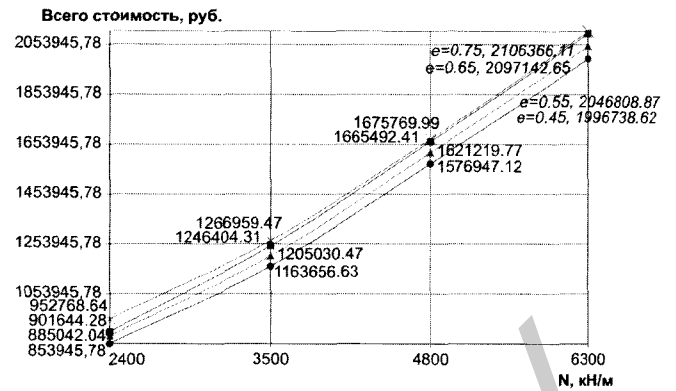


Рис. 1

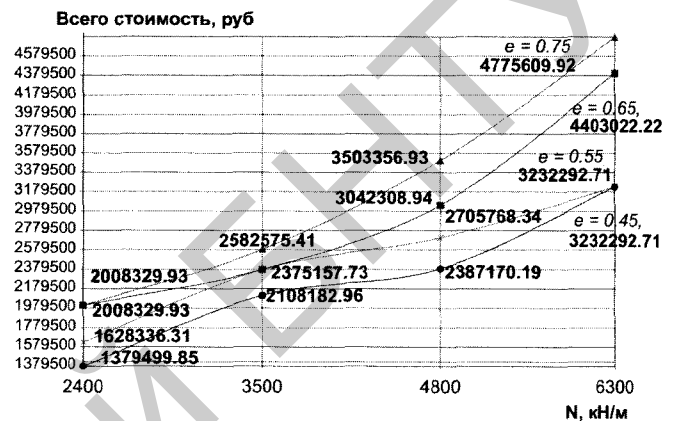


Рис. 2

- 2 В последующих расчетах автор планирует применить предложенный графо-аналитический метод в случаях, когда подстилающими грунтами являются суглинки и глины во всем диапазоне своих физико-механических характеристик.

**Таблица 2. Сводная ведомость заработной платы рабочих-строителей, эксплуатации машин и механизмов, в том числе заработной платы машинистов, стоимости материалов, в том числе транспортных расходов**

№ сметы	Нагрузка на основание N, кН/м	Коэффициент пористости	Марка изделия	З/плата рабочих-строителей, руб.	Эксплуатация машин и механизмов, руб.		Материальные ресурсы, руб.	
					Всего	В том числе з/п машинистов	Всего	В том числе транспорт
Супесь с J <sub>L</sub> от 0 до 0,25								
1	6300	0,45	ФКС 2.4-1127	217121.98	139358.67	23874.00	667378.77	104145.43
2	4800		ФКС 2.1-1120	156765.71	87809.00	15444.23	228620.88	38636.49
3	3500		ФКС 1.8-1113	133746.74	79397.16	13918.77	167002.66	23944.63
4	2400		ФКС 1.5-1100	111993.33	59827.64	10507.94	73833.42	12885.74
5	6300	0,55	ФКС 2.4-1127	217121.98	139358.67	23874.00	667378.77	104145.43
6	4800		ФКС 2.1-1120	156765.71	87809.00	15444.23	228620.88	38636.49
7	3500		ФКС 1.8-1113	133746.74	79397.16	13918.77	167002.66	23944.63
8	2400		ФКС 1.5-1100	111993.33	59827.64	10507.94	73833.42	12885.74
9	6300	0,65	ФКС 2.4-1127	217121.98	139358.67	23874.00	667378.77	104145.43
10	4800		ФКС 2.1-1120	156765.71	87809.00	15444.23	228620.88	38636.49
11	3500		ФКС 1.8-1113	133746.74	79397.16	13918.77	167002.66	23944.63
12	2400		ФКС 1.5-1100	111993.33	59827.64	10507.94	73833.42	12885.74
13	6300	0,75	ФКС 2.4-1127	217121.98	139358.67	23874.00	667378.77	104145.43
14	4800		ФКС 2.1-1120	156765.71	87809.00	15444.23	228620.88	38636.49
15	3500		ФКС 1.8-1113	133746.74	79397.16	13918.77	167002.66	23944.63
16	2400		ФКС 1.5-1100	111993.33	59827.64	10507.94	73833.42	12885.74

Окончание таблицы 2

№ сметы	Нагрузка на основание $N$ , кН/м	Коэффициент пористости	Марка изделия	З/плата рабочих-строителей, руб.	Эксплуатация машин и механизмов, руб.		Материальные ресурсы, руб.	
					Всего	В том числе з/п машинистов	Всего	В том числе транспорт
Супесь с $J_L$ от 0,25 до 0,75								
17	6300	0,45	ФКС 2.4-1127	217121.98	139358.67	23874.00	667378.77	104145.43
18	4800		ФКС 2.1-1120	156765.71	87809.00	15444.23	228620.88	38636.49
19	3500		ФКС 1.8-1113	133746.74	79397.16	13918.77	167002.66	23944.63
20	2400		ФКС 1.5-1100	111993.33	59827.64	10507.94	73833.42	12885.74
21	6300	0,55	ФКС 2.4-1127	217121.98	139358.67	23874.00	667378.77	104145.43
22	4800		ФКС 2.1-1120	156765.71	87809.00	15444.23	228620.88	38636.49
23	3500		ФКС 1.8-1113	133746.74	79397.16	13918.77	167002.66	23944.63
24	2400		ФКС 1.5-1100	111993.33	59827.64	10507.94	73833.42	12885.74
25	6300	0,65	ФКС 2.4-1127	217121.98	139358.67	23874.00	667378.77	104145.43
26	4800		ФКС 2.1-1120	156765.71	87809.00	15444.23	228620.88	38636.49
27	3500		ФКС 1.8-1113	133746.74	79397.16	13918.77	167002.66	23944.63
28	2400		ФКС 1.5-1100	111993.33	59827.64	10507.94	73833.42	12885.74
29	6300	0,75	ФКС 2.4-1127	217121.98	139358.67	23874.00	667378.77	104145.43
30	4800		ФКС 2.1-1120	156765.71	87809.00	15444.23	228620.88	38636.49
31	3500		ФКС 1.8-1113	133746.74	79397.16	13918.77	167002.66	23944.63
32	2400		ФКС 1.5-1100	111993.33	59827.64	10507.94	73833.42	12885.74
33	6300	0,85	ФКС 2.4-1127					
34	4800		ФКС 2.1-1120					
35	3500		ФКС 1.8-1113					
36	2400		ФКС 1.5-1100					

Таблица 3. Сводная ведомость накладных расходов, плановых накоплений, затрат труда рабочих-строителей, затрат труда машинистов

№ сметы	Нагрузка на основание $N$ , кН/м	Коэффициент пористости	Марка изделия	Накладные расходы, руб.	Плановые накопления, руб.	Затраты труда рабочих-строителей, чел.-час	Затраты труда машинистов, чел.-час
Супесь с $J_L$ от 0 до 0,25							
1	6300	0,45	ФКС 2.4-1127	326790.55	402704.28	39.75	9.16
2	4800		ФКС 2.1-1120	233516.68	2024106.45	34.31	7.81
3	3500		ФКС 1.8-1113	200234.44	246749.08	24.65	6.35
4	2400		ФКС 1.5-1100	166111.72	204699.63	19.74	4.81
5	6300	0,55	ФКС 2.4-1127	326790.55	402704.28	39.75	9.16
6	4800		ФКС 2.1-1120	233516.68	2024106.45	34.31	7.81
7	3500		ФКС 1.8-1113	200234.44	246749.08	24.65	6.35
8	2400		ФКС 1.5-1100	166111.72	204699.63	19.74	4.81
9	6300	0,65	ФКС 2.4-1127	326790.55	402704.28	39.75	9.16
10	4800		ФКС 2.1-1120	233516.68	2024106.45	34.31	7.81
11	3500		ФКС 1.8-1113	200234.44	246749.08	24.65	6.35
12	2400		ФКС 1.5-1100	166111.72	204699.63	19.74	4.81
13	6300	0,75	ФКС 2.4-1127	326790.55	402704.28	39.75	9.16
14	4800		ФКС 2.1-1120	233516.68	2024106.45	34.31	7.81
15	3500		ФКС 1.8-1113	200234.44	246749.08	24.65	6.35
16	2400		ФКС 1.5-1100	166111.72	204699.63	19.74	4.81
Супесь с $J_L$ от 0,25 до 0,75							
17	6300	0,45	ФКС 2.4-1127	326790.55	402704.28	39.75	9.16
18	4800		ФКС 2.1-1120	233516.68	2024106.45	34.31	7.81
19	3500		ФКС 1.8-1113	200234.44	246749.08	24.65	6.35
20	2400		ФКС 1.5-1100	166111.72	204699.63	19.74	4.81

Окончание таблицы 3

№ сметы	Нагрузка на основание N, кН/м	Коэффициент пористости	Марка изделия	Накладные расходы, руб.	Плановые накопления, руб.	Затраты труда рабочих-строителей, чел.-час	Затраты труда машинистов, чел.-час
Супесь с $J_L$ от 0,25 до 0,75							
21	6300	0,55	ФКС 2.4-1127	326790.55	402704.28	39.75	9.16
22	4800		ФКС 2.1-1120	233516.68	2024106.45	34.31	7.81
23	3500		ФКС 1.8-1113	200234.44	246749.08	24.65	6.35
24	2400		ФКС 1.5-1100	166111.72	204699.63	19.74	4.81
25	6300	0,65	ФКС 2.4-1127	326790.55	402704.28	39.75	9.16
26	4800		ФКС 2.1-1120	233516.68	2024106.45	34.31	7.81
27	3500		ФКС 1.8-1113	200234.44	246749.08	24.65	6.35
28	2400		ФКС 1.5-1100	166111.72	204699.63	19.74	4.81
29	6300	0,75	ФКС 2.4-1127	326790.55	402704.28	39.75	9.16
30	4800		ФКС 2.1-1120	233516.68	2024106.45	34.31	7.81
31	3500		ФКС 1.8-1113	200234.44	246749.08	24.65	6.35
32	2400		ФКС 1.5-1100	166111.72	204699.63	19.74	4.81
33	6300	0,85	ФКС 2.4-1127				
34	4800		ФКС 2.1-1120				
35	3500		ФКС 1.8-1113				
36	2400		ФКС 1.5-1100				

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Лях, Ю. В. Грунтовые основания, включающие песчано-гравийные подушки и подстилающие их естественные грунты, подготовленные методами интенсивного уплотнения: автореф. дис....канд. техн. наук: 05.23.02 / Ю. В. Лях: БНТУ. — Минск, 2007. — 20 с.
- Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования: СНБ 5.03.01-02. — Минск: Минстройархитектуры, 2003. — 139 с.
- Фундаменты зданий и сооружений на уплотненных песчано-гравийных подушках. Правила проектирования: ТКП 45-5.01-66-2007 (02250). — Введ. 01.09.2007. — Минск: Минстройархитектуры, 2007. — 71 с.
- Пойта, П. С., Лях Ю. В. Анализ системы технико-экономических показателей квадратных столбчатых фундаментов на уплотненных песчано-гравийных подушках, подстилаемых песчаными основаниями // Геотехника Беларуси: наука и практика: сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф. — Минск, 2008. — С. 254–262.
- Лях, Ю. В. Ресурсосберегающие квадратные столбчатые фундаменты на уплотненных песчано-гравийных подушках: сущность и номенклатура // Сб. ст. науч.-метод. семинара. Часть 2. — Брест: БрГТУ, 2009. — С. 207–211.
- Постановление Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь "Об утверждении Инструкции по определению сметной стоимости строительства и составлению сметной документации" от 03.12.2007 № 25 / Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 10.01.2008, рег. № 8/17904 с последующими изменениями и дополнениями.
- Основания и фундаменты зданий и сооружений: СНБ 5.01.01-99. — Введ. 01.07.1999. — Минск: Минстройархитектуры, 1999. — 36 с.

Статья поступила в редакцию 25.02.2011.