

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО ИННОВАЦИОННОГО ФУНДАМЕНТОСТРОЕНИЯ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Кравцов В.Н.

Введение (постановка цели и задач). Зарубежная и отечественная практика фундаментостроения показывает, что добиться повышения эффективности его технико-экономического уровня возможно только посредством использования в строительстве результатов научных исследований. Не последнюю роль здесь играет изучение общих и прикладных вопросов экономики, т.к. в настоящее время наблюдается существенная диспропорция между исследованиями экономического и технического характера.

Экономическая разработка задач фундаментостроения пока сильно отстает от запросов практики. Как правило, проекты фундаментов, хотя и отвечают требованиям норм (ТНПА) по надежности, часто экономически являются неэффективными.

Поэтому, для реализации республиканских программ Министерства архитектуры и строительства (МАиС) Республики Беларусь по совершенствованию строительного производства [1, 2], в РУП "Институт БелНИИС" были проведены комплексные исследования по повышению технико-экономической эффективности фундаментов на основе предложенной концепции ресурсосберегающего фундаментостроения, базирующейся на инновационном подходе к их выбору, разработке и внедрению в условиях Республики Беларусь.

Ниже в статье изложены результаты технико-экономических исследований, выполненных в РУП "Институт БелНИИС", по выбору оптимальных фундаментов для условий белорусского региона, разработке принципов инновационных ресурсосберегающих конструкций и технологий их изготовления на основе концепции ресурсосберегающего фундаментостроения. Под инновационными фундаментами понимаются такие их конструкции и технологии изготовления, которые позволяют за счет новых (инновационных) технических, экономических, социальных показателей обеспечить реализацию конкурентного преимущества в рыночной среде, по сравнению с предыдущими поколениями фундаментов.

Технико-экономические исследования и выбор эффективных фундаментов для белорусского региона. Грунтовые условия на территории Республики Беларусь, как правило, благоприятны для размещения в них фундаментов. В верхней зоне их оснований до глубины (6-20) м преобладают грунты средней прочности, около 70 % которых составляют четвертичные отложения [3 и др.]. В связи с этим, вопрос о проектировании фундаментов, отвечающих условиям не только прочности и долговечности, но и максимальной экономичности, стоит особенно остро. При этом, в современной отечественной практике применяются свыше 100 типов различных фундаментов как типовой номенклатуры, так и индивидуальных конструкций. Во многих случаях области их эффективного применения совпадают. Учитывая это, при проектировании фундаментов первостепенные значение приобретают вопросы технико-экономической оценки эффективности их вариантов в рассматриваемых условиях строительства. Исследования, выполненные в РУП "Институт БелНИИС" [4, 5 и др.] показали, что наиболее полно указанная задача решается посредством методов сравнительного технико-экономического анализа вариантного проектирования и оптимизации их конструкции.

В общем виде задачу технико-экономической оценки эффективности фундаментов можно сформулировать следующим образом: из нескольких исходных вариантов проектов, конструктивных решений, удовлетворяющих нормативно-техническим требованиям (безопасность, прочность, надежность и т.д.), выбрать проект минимальной стоимости.

Реализация задач выбора и оценки оптимальных типов фундаментов для строительства на территории Республики Беларусь, в процессе исследований осуществлялась на основе раз-

работанной методики (вошла в ТКП [6, с. 18, 19]), исходя из положения, что определяющим условием для достоверной оценки конструктивных решений фундаментов, из множества возможных в белорусском регионе, является сравнение их технико-экономических показателей, найденных в результате модельного проектирования, в частности.

Как известно, на технико-экономические показатели в наибольшей мере оказывает влияние инженерно-геологические условия строительной площадки и нагрузки, передаваемые от здания на фундамент. Учитывая то, что цель настоящего исследования не связана с какими-то конкретными объектами, с присущими только им грунтовыми ситуациями и типами зданий, поставленная задача решалась на основе систематизации и унификации оснований для всей территории Республики Беларусь и нагрузок от всех основных типов зданий и сооружений, возводимых в данном регионе (с учетом их системы, этажности, материала). В результате, создана модель строительного объекта с формализованными типами оснований (в виде расчетных схем) и нагрузками, максимально соответствующими фактическим (реальным) условиям в рассматриваемой области исследований [4, 5 и др.].

Для сформулированного таким образом объекта исследования задавались основные конструктивные решения принятых к рассмотрению фундаментов (наиболее распространенных в Республике Беларусь), параметры, характеристики оснований и свойств грунтов, их слагающих, производились все необходимые инженерные расчеты и определялись технико-экономические показатели, согласно [6-9].

Под термином "унификация" в нашем случае понимается - ограничение многообразных частных грунтовых ситуаций, типов зданий и нагрузок от них требуемым числом (в виде базовых расчетных параметров), по возможности, наиболее (максимально) полно описывающими все состояния грунтовых условий и нагрузок в принятой модели объекта, исходя из реальных условий Республики Беларусь.

В процессе исследования были рассмотрены типы оснований, установленные в результате анализа и систематизации инженерно-геологических условий около 50 различных строительных площадок, расположенных на территориях всех 6 областей республики. В процессе анализа выделялись типы оснований, относящиеся к наиболее распространенным и часто встречающимся сочетаниям слоистости в рассматриваемых условиях [5].

Анализ более 200 инженерно-геологических разрезов показал, что основания белорусского региона имеют ряд однородных свойств и признаков, изменение которых оказывает особенно активное влияние на технологию устройства фундаментов и их стоимость. К таким признакам относятся мощность слоев из специфических грунтов (слабых, малопрочных, искусственных, биогенного и др.) и их расположение по глубине, вид грунта и его "прочность", которые можно принять за базовые модули при составлении модели строительного объекта. Исходя из этого, представляется возможность всю совокупность оснований (более 100 инженерных колонок) привести к одному номенклатурному виду.

По результатам выполненной работы, установлены три основные категории сложности оснований Республики Беларусь и их характеристики, которые вошли в ТНПА [6, 7] (рис. 1).

В процессе анкетирования строительных трестов и анализа типовых проектов, применяемых в массовом и экспериментальном строительстве страны, установлен: парк механизмов и оборудования, имеющийся во всех строительных организациях для возможного его использования (после незначительной доработки) при внедрении инновационных технологий и конструкций фундаментов. По действующим на текущий момент в Республике Беларусь каталогам и типовым проектам установлены основные характеристики возводимых при массовом строительстве на ее территории зданий и осредненные нагрузки на 1 м длины ленточного фундамента: (30, 60, 100) кН/м и колонн – (200...1000) кН (табл. 1), а также типы фундаментов (см. рис. 1), применяемые как в массовом, так и экспериментальном строительстве.

Схемы сложности оснований и возможные варианты фундаментов для них		
Категория I	Категория II	Категория III
<p>Простое (однородное, устойчивое) из минеральных грунтов средней прочности: $m = E_s/E_n < 8$; $\rho_s > 1,5$ ($q > 1,2$) МПа; $R \geq 0,15$ МПа, где E_s, E_n - соответственно модуль деформации в верхнего и подстилающего слоев грунта</p>	<p>Средней сложности (условно однородно-устойчивое) с наличием малопрочных минеральных подстилающих слоев: $m = E_s/E_n \geq 8$; $\rho_s < 1,2$ ($q < 1,0$) МПа; $R < 0,15$ МПа; $H_n > 2$ м; $\tau_{подст.} = \sigma \cdot \text{tg} \phi + c > [\tau]$, МПа, где $[\tau]$ - допустимое касательное напряжение подстилающего слабого слоя</p>	<p>Сложное (неустойчивое) со слабым биогенным подстилающим слоем (слямями): $m > 8$; ρ_s (q) < 1 МПа; $R < 0,1$ МПа; $H_n > 2$ м; $\tau_{подст.} < [\tau]$</p>
Рекомендуемые фундаменты (в порядке преимущества) и способы их устройства		
<p>1-6,8: Минимальное заглубление по условиям промерзания и конструктивным требованиям</p>	<p>1-8,9: Аналогично категории 1 с повышением надежности, жесткости здания, усилением надземной части здания и устройством осадочных швов (при необходимости)</p>	<p>6-9: с прорезкой слабого слоя либо его закреплением (в т.ч. геомассивом) или замещением с повышением надежности жесткости здания и усилением, устройством осадочных швов, а также гидроизоляции и антикоррозийной защиты</p>

Грунты: 1 - природный средней прочности $R \geq 0,15$ МПа; 2 - искусственный; 3 - слабый, малопрочный минеральный; 4 - слабый биогенный; NL, DL, WL - отметки рельефа планировки и воды; H_d , H_n , H_p - толщина буферного, верхнего и подстилающего слоев, м; 1...9 - типы фундаментов, соответственно:
 1 - плитный ленточный или столбчатый; 2 - то же, мелкозаглубленный или незаглубленный;
 3 - из набивных свай в пробитых скважинах; 4 - то же, из микросвай; 5 - из забивных железобетонных блоков; 6 - из буронабивных, в т.ч. инъекционных свай с уширенной (уплотненной) пятой или глубоких опор; 7 - из забивных стандартных свай; 8 - из тонкой сплошной плиты под здание или его часть; 9 - плитные на замещенном или закрепленном основании (в т.ч. геомассив из песчаных, грунтобетонных тампонов), свайно-плитный фундамент

Рисунок 1 – Унифицированные схемы категорий сложности оснований Беларуси и основные типы и способы устройства фундаментов для их технико-экономической оценки и выбора оптимальных вариантов

Таблица 1 – Унифицированные нагрузки на фундаменты от различных сооружений, применяемых в Республике Беларусь

Тип здания	Расчетные нагрузки на фундаменты при этажности зданий, равной							
	5	9	12	14	16	18	20	
Кирпичные и монолитные, кН/м	<u>255</u>	<u>420</u>	<u>580</u>	<u>710</u>	-	-	-	
	450	700	950	1100				
Крупнопанельные, кН/м	<u>160</u>	<u>280</u>	<u>350</u>	<u>410</u>	<u>470</u>	<u>530</u>	-	
	500	700	860	1100	1120	1250		
Объемно-блочные, кН	<u>400</u>	<u>750</u>	<u>1080</u>	-	-	-	-	
	800	1500	2200					
Каркасные (связевой каркас) с шагом колонн 6 x 6 м, кН:								
	крайние ряды	1650	2850	3950	4750	5500	6200	7000
	средние ряды	2300	3800	5100	5900	6800	7900	9000
Примечание. В числителе приводится наиболее характерная величина нагрузки на фундаменты для данного типа здания (по частоте распределения в плане здания), составляющие не менее 50%; в знаменателе - максимально возможные (как правило, не превышающие 10%).								

Для сформулированного вышеуказанным образом объекта исследований производились, все необходимые инженерные расчеты по методикам СНБ5.03.01-02, ТКП 45-5.01-67-2008 [7], ТКП 45-5.01-259-2012 [6] и Пособий к ним с определением на основе проектирования конструктивных решений фундаментов: расхода материалов, трудоемкости и стоимости. Во всех вариантах объемы и стоимость работ установлены до уровня верхнего обреза фундаментов. Локальные сметы для всех принятых к рассмотрению фундаментов (см. рис. 1) составлены в базовых ценах 2006 г. и переведены с целью объективной оценки в условные единицы стоимости (у.е.).

При расчетах стоимости, приведенных затрат П и трудоемкости Т учтены затраты по следующим основным видам работ: изготовление сборных железобетонных конструкций на заводах сборного железобетона, транспортировка, складирование, погружение свай, пробивка (бурение) скважин в грунте второй категории и изготовление набивных свай; устройство монолитного (сборного) железобетонного фундамента или ростверка.

Технико-экономические показатели определены для всех типоразмеров фундаментов (летние условия строительства) по полной номенклатуре экономических показателей: стоимость (С), трудоемкость (Т), приведенные затраты (П), согласно методическим положениям [8, 9 и др.] СН 423 Госстрой СССР и разработанных в РУП «Институт БелНИИС» Рекомендаций по оценке эффективности фундаментов с учетом показателя эффективности z по табл. 2. Основные положения Рекомендаций и результаты технико-экономической

оценки фундаментов и выбора оптимальных их решений с учетом условий белорусского региона даны в [4, 5, 10] рис.1 и вошли в ТКП [6, 7].

Таблица 2 – Шкала эффективности проектных решений фундаментов по коэффициенту эффективности $z = N/\Pi(C) \cdot T$, кН/руб·ч·дн.

Тип фундамента и нагрузка на него	Эффективность проектного решения фундамента			
	нерациональное	удовлетворительное	хорошее	отличное
	при коэффициенте эффективности z , равном			
Ленточный при нагрузке от здания $q < 200$ кН/м, столбчатый при нагрузке от здания $N < 1000$ кН	До 2 включ.	Св.2 до 3,5 включ.	Св. 3,5 до 5 включ.	Св. 5
Ленточный при нагрузке от здания $q = 200-500$ кН/м, столбчатый при нагрузке от здания $N = 1000-5000$ кН	До 6 включ.	Св.6 до 15 включ.	Св. 15 до 25 включ.	Св. 25

Пути повышения эффективности фундаментостроения.

Анализ результатов выполненных технико-экономических исследований различных типов фундаментов в основаниях различной категории сложности (см. рис. 1) показал, что проблема их эффективного применения в Республике Беларусь, в первую очередь, обусловлена сравнительно благоприятными грунтовыми условиями на большей части ее территории (категории 1 и 2 по рис.1). Основания в пределах глубин 6-20 м размещения фундаментов, как правило, многослойны и представлены четвертичными отложениями, в основном песчаными и моренными средней прочности и прочными, занимающими более 70 % территории белорусского региона.

Очевидно, что в этом случае, в верхней зоне основания эффективно применение мелкозаглубленных плитных фундаментов на естественном основании, требующих минимальные материальные и трудовые затраты на их устройство. Но, как показывают технико-экономические исследования, в т.ч. выполненные ранее [4, 5 и др.], плитные фундаменты на естественном основании (ленточные, столбчатые), даже в благоприятных грунтовых условиях, при диапазоне нагрузок от 50 до 700 кН экономически конкурентоспособны с рациональными (инновационными) свайными вариантами, только при глубине заложения их подошвы не более 1,5 м для монолитных и 1,2 м для сборных конструкций в основаниях 1-ой категории сложности и соответственно 1, 2 м и 1,0 м – во 2-ой.

Рекомендуемая область их применения дана в таблице 3.

Таблица 3 – Рекомендуемые типы плитных фундаментов в неводонасыщенных основаниях при геотехническом риске строительства уровня А и Б по [6]

Средняя интенсивность давления на основание, МПа	Вид фундамента
от 0,05 до 0,15	Плитные ленточные и отдельные (столбчатые) Плитные из перекрестных лент Плита массивная под всем зданием или его частью
от 0,15 до 0,30	
более 0,30	

Учитывая то, что современное, строительство, в результате законодательных ограничений на использование сельскохозяйственных (пахотных) земель, связано с освоением районов и площадок со специфическими, как правило, обводненными грунтами (основания категории 3 и частично 2 по рис. 1), ранее не используемых для этих целей (неудоби; свалки; территории со структурно-неустойчивыми, намывными, насыпными, биогенными и прочими грунтами) пониженной прочности и высокой деформативностью ($E \leq 5-7$ МПа), для них экономически оправдано применение готовых (заводского изготовления) и набивных свай. В основаниях

категории 1 и 2 готовые сваи наиболее эффективны в диапазоне нагрузок (200-400) кН/м и длине не превышающей 10 м.

Анализ результатов исследований показывает, что наибольшей эффективностью в основаниях всех категорий по рис.1 обладают фундаменты, позволяющие распределить нагрузку от здания в пределах диапазона глубин, не превышающих (6-8) м. Это относится как к плитным, так и свайным фундаментам.

Увеличение несущей способности фундамента за счет максимального развития площади плиты или поперечного сечения или длины свай в данном случае экономически неэффективно, так как дополнительные затраты на материалы и изготовление возрастают значительно быстрее чем несущая способность. Поэтому основные усилия при совершенствовании конструкций фундаментов должны быть направлены на повышение несущей способности грунтов основания фундаментов за счет доведения их физико-механических свойств до требуемых значений в процессе предварительной подготовки основания (упрочнения грунтов) или в результате изготовления фундаментов. В наибольшей мере этому критерию удовлетворяют фундаменты из свай уплотнения: готовые пирамидальные (конические) и набивные в пробитых скважинах (вытрамбованных, выштампованных, проколотых и др.). В этом плане наиболее эффективны последние сваи, т.к. могут применяться в широком диапазоне распределенных нагрузок на них (от 100 до 1000) кН/м и до 3000 кН для сосредоточенных при незначительном увеличении стоимости 1 м³ готовых фундаментов.

Следовательно, главным направлением развития фундаментостроения в Республике Беларусь и резервом снижения стоимости и повышения эффективности фундаментов является разработка и применение конструктивных решений, позволяющих обеспечить высокий коэффициент α (см. табл. 2) и коэффициент эффективности 1 м³ фундаментов (отношения нагрузки от здания к несущей способности фундаментов по грунту), индустриальность и комплексную механизацию работ.

По итогам выполненных в РУП «Институт БелНИИС» технико-экономических исследований и оценки эффективности фундаментов для условий белорусского региона разработана концепция инновационного фундаментостроения на основе которой предложены и апробированы следующие ресурсосберегающие (инновационные) фундаменты нового поколения, технологии и оборудование для их изготовления, нашедшие широкое применение в строительстве [5, 10, 11]:

1 – плитные фундаменты на упрочненном методом вертикального армирования основании с использованием грунтобетона, как самого дешевого материала;

2 – винтовые сваи различных длин и сечений;

3 – набивные монолитные сваи в скважинах пробитых (рис. 2):

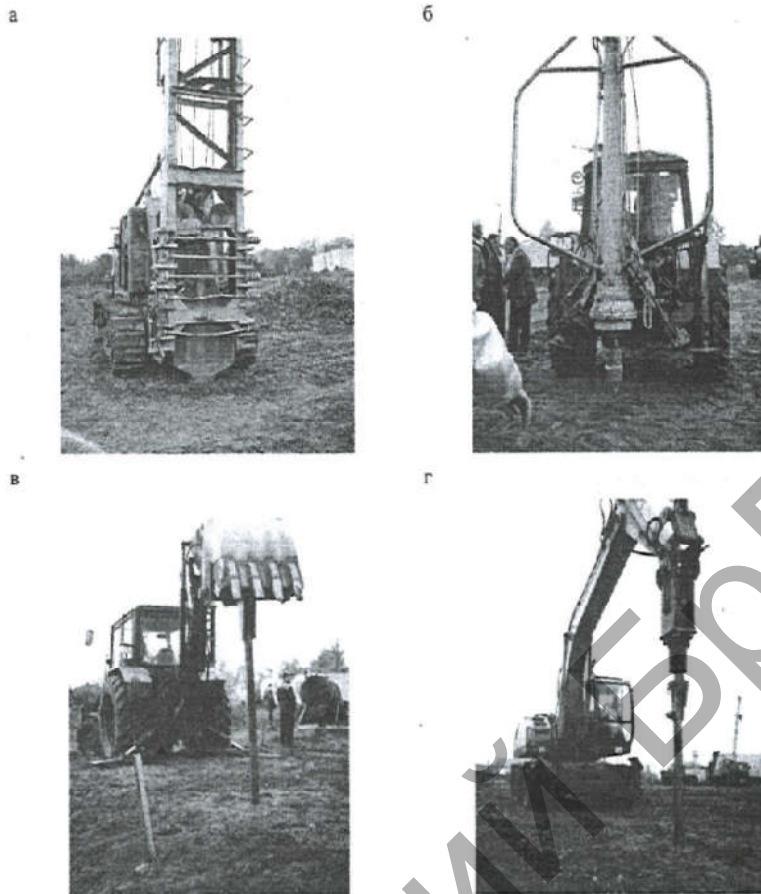
– вытрамбовкой с использованием конического штампа различных сечений и длин на базе рыхлителя, по способу СТ;

– бурораздвижкой лидером-проходчиком ($\varnothing 80$ - $\varnothing 250$) мм, длиной до $1 < 3$ м по способу СБ (совместно с ООО «ОиФК»);

– прокалываемых штампом-трубой ($\varnothing 80$ - $\varnothing 150$) мм, длиной до $1 \leq 3$ м по способу СП (совместно с ООО «ОиФК»);

– виброштамповкой гидромолотом с использованием пики ($\varnothing 120$ – $\varnothing 150$) мм, $l = 1,5$ м по способу СШ.

Разработанное оборудование для изготовления предложенных свай по способам СТ, СБ, СП, СШ представляют собой технологический комплекс, состоящий из базовой установки для пробивки скважин и вспомогательного оборудования для изготовления бетона или грунтобетона (для армирования грунтов) и его укладки в скважину [10].



- а - навесное оборудование (рыхлитель грунта на базе трактора ДТ, доработанное для изготовления набивных свай в вытрамбованных скважинах по способу СТ;
- б - навесное оборудование (ямобур) на базе трактора МТЗ, доработанное для изготовления набивных свай в бурораздвижных скважинах по способу СБ;
- в - навесное оборудование (экскаваторное) на базе трактора МТЗ, доработанное для изготовления набивных свай в проколотых скважинах по способу СП;
- г - навесное оборудование (гидромолот марки МГЗОО) на базе колесного экскаватора ЕК18, доработанное для изготовления набивных свай в виброштампованных скважинах по способу СШ

Рисунок 2 – Оборудование для устройства ресурсосберегающих (инновационных) свайных фундаментов "нового поколения"

Выводы. 1. По результатам выполненных технико-экономических исследований установлено, что в полном объеме задача определения минимальной стоимости фундамента может быть объективно решена лишь на основе комплексной оценки проектного решения, которая кроме экономического сравнения вариантов, должна включать в себя оценку его конструктивной и технологической рациональности, как определяющего фактора при оценке и выборе эффективности сравниваемых вариантов по несущей способности и стоимости (приведенных затратам) на 1 м^3 материала.

2. Для достоверной оценки технико-экономических решений фундаментов следует использовать единицу измерения эффективности в 1000 кН расчетной нагрузки от здания и коэффициент эффективности несущей способности фундамента. Основные результаты технико-экономических исследований по оценке и выбору оптимальных фундаментов в грунтовых условиях Республики Беларусь вошли в ТКП /6, 7/.

3. Исходя из оценки грунтовых особенностей белорусского региона и анализа эффективности различных конструктивных решений существующих фундаментов, возможных в рассматриваемых условиях, разработана концепция ресурсосберегающего фундаментостроения

на основе которой предложены пути и принципы его дальнейшего эффективного развития, а также инновационные фундаменты, обеспечивающие снижение себестоимости и трудоемкости нулевого цикла зданий и сооружений.

Показано, что главным резервом снижения стоимости фундаментостроения в рассматриваемых условиях является разработка и внедрение инновационных конструкций и технологий, которые обеспечивают целенаправленное повышение физико-механических свойств грунтов оснований фундаментов при их возведении.

Список источников

1. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. / Нац. Комис. По устойчивому развитию Респ. Беларусь; редкол.: Л.М. Александрович [и др.]. – Минск: Юнипак, 2004. – 202 с.

2. Основные направления социально-экономического развития Республики Беларусь на 2006 – 2015 годы [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.pravoby.info>. – Дата доступа: 15.09.2008.

3. Колпашников, Г.А. Инженерная геология. / Г.А. Колпашников. - Минск: УП «Технопринт», 2004. – 112 с.

4. Сеськов, В.Е. Эффективные конструкции свайных фундаментов для строительства в условиях БССР / В.Е. Сеськов, В.Н. Кравцов // Обзорная информация. Серия 67.11.29. – Минск: БелНИИТИ, 1986. – 52 с.

5. Кравцов, В.Н. Принципы оптимального проектирования и пути повышения эффективности железобетонных фундаментов в грунтовых условиях Республики Беларусь / В.Н. Кравцов, Н.В. Сорока // Проблемы современного бетона и железобетона: Материалы III Междунар. симп. В 2 т. Т1. Бетонные железобетонные констр. / МАиС РБ, РУЦ "Институт БелНИИС"; редкол. М.Ф. Марковский (председатель) [и др.]. – Минск: Минсктиппроект, 2011. – С. 206 - 221.

6. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-5.01-254-2012. – Введ. 01.07.2012. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2012. – 165 с.

7. Фундаменты плитные. Правила проектирования: ТКП 45-5.01-67-2007. – Введ. 01.09.2007. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2007. – 144 с.

8. Инструкция о порядке определения сметной стоимости строительства и составления сметной документации на основании нормативов расхода ресурсов в натуральном выражении. – Введ. 18.11.2011, №54 // Консультант плюс : Версия Проф. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО "ЮрСпектр". – М., 2014 – 41 с.

9. Инструкция по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений: СН 509-78. – Введ. 13.12.1978, №229 // Консультант плюс : Версия Проф. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО "ЮрСпектр". – М., 2014 – 65 с.

10. Кравцов, В.Н. Пути повышения эффективности фундаментостроения в условиях Беларуси / В.Н. Кравцов // Архитектура и строительство. – 2005. – №6. – С. 5-7.

11. Сеськов В.Е. Тенденции развития и опыт применения прогрессивных фундаментов в условиях Беларуси / В.Е. Сеськов, В.Н. Кравцов [и др.] // Строительная наука и техника. – 2007. № 5. – С. 131 – 142.