

**Принципы оптимального проектирования и пути повышения эффективности железобетонных фундаментов в грунтовых условиях Республики Беларусь**  
**Principles of optimal designing and ways of effectiveness increase of foundations in soil conditions of the Republic of Belarus.**

**Кравцов В.Н., Зав. лабораторией, РУП «Институт БелНИИС», г. Минск**  
**Сорока Н.В., Вед. инженер, РУП «Институт БелНИИС», г. Минск**

#### АННОТАЦИЯ

Рассмотрены вопросы оптимального проектирования и повышения достоверности оценки технико-экономической эффективности проектных решений фундаментов, а также пути их совершенствования в грунтовых условиях Республики Беларусь.

#### ABSTRACT

The questions of optimal designing and increasing the reliability of technical and economical efficiency estimation of design decisions of foundations, and also the ways of improvement to soil conditions in the Republic of Belarus are considered.

#### Введение

Для решения задач, поставленных государством перед строительным комплексом республики, необходимо добиться существенного снижения стоимости, сокращения сроков строительства и повышения его качества, что может быть осуществлено на основе повышения эффективности проектных решений зданий и сооружений, организации и технологии их возведения.

В первую очередь, это относится к фундаментам, так как материалоемкость и трудоемкость работ нулевого цикла, выполняемых с использованием традиционных конструкций, достигает 7-15 % для средне- и сильнонагруженных сооружений в благоприятных грунтовых условиях и 15-25% — для малонагруженных (одно-двухэтажных, коттеджных) зданий и сооружений, возводимых на специфических (слабых) грунтах, от общего объема трудовых затрат и стоимости объекта.

В настоящее время известно свыше 100 основных конструктивных решений фундаментов, используемых в Республике Беларусь. Каждый из фундаментов имеет, как правило, свою область применения и ряд преимуществ в определенных условиях строительства.

Выбор того или иного решения обусловлен грунтовыми условиями, видом сооружения и шкалой нагрузок от здания, а также некоторыми специальными требованиями. Как правило, для одних и тех же грунтовых условий по техническим возможностям могут использоваться различные типы фундаментов. Поэтому, особое место на стадии инвестиций в строительство, должно отводиться экономическому обоснованию технических решений фундаментов и последующей их корректировке на всех этапах проектирования и строительства, по мере уточнения инженерно-геологических данных.

Однако это сторона вопроса остается наиболее слабым местом при разработке проектов фундаментов.

В связи с этим, целью настоящей статьи является ознакомление специалистов в области строительства с рекомендациями по повышению технико-экономического уровня фундаментостроения в грунтовых условиях Республики Беларусь, разработанных по результатам исследований, выполненных в РУП «Институт БелНИИС»

## **Принципы выбора и оптимизации проектных решений фундаментов**

В общем виде задачу оптимизации конструкций можно сформулировать следующим образом: из нескольких исходных вариантов проектов, удовлетворяющих определенным ограничениям и требованиям норм (ТНПА), выбрать проект минимальной стоимости. Причем, он не обязательно будет единственным. Могут быть выявлены несколько проектов примерно одинаковой стоимости.

Указанная задача в настоящее время решается следующими основными методами:

- аналитическим (теоретическим);
- вариантным;
- аналитико-вариантным;
- математического программирования.

Данные методы достаточно хорошо разработаны и практически не вызывают особых затруднений при оценке эффективности конструкций /1-5 и др./, за исключением задач, связанных с выбором и оптимизацией проектных решений фундаментов.

Это обусловлено тем, что выбор оптимальных конструкций нулевого цикла зависит не только от материала самого изделия и нагрузок, как для надземных конструкций, но и от инженерно-геологических свойств грунтов основания, места и климатических условий строительной площадки, которые для каждого объекта индивидуальны.

Не вдаваясь в подробный анализ вышеперечисленных методов, можно отметить, что они во многих случаях, из-за произвольного и субъективного подхода к назначению исходных расчетных данных, технических параметров сравниваемых вариантов (видов, размеров фундаментов, модели основания и т.п.), имеют относительную достоверность, лишены оперативной и практической ценности или очень трудоемки. Отсутствует комплексный подход при решении задач экономической эффективности фундаментов. В указанных методиках фундаменты часто рассматриваются только с инженерно-технических позиций по несущей способности грунта отдельного фундамента, без учета их равнонадежности по осадкам и изменения нагрузки в плане здания. При этом, эффективность оценивается не по стоимостным, а по натурным показателям или на основе произвольного выбора уровня оптовых цен и сметных норм, без учета возможности применения сравниваемых фундаментов в рассматриваемых условиях строительства и др. Кроме того, нормативная база по оценке эффективности конструкций (например, /3,4/), действующая в СССР и России, в Республике Беларусь отменена.

Анализ состояния вопроса по оптимальному проектированию показывает, что выбор рациональных конструкций фундаментов и определение эффективности их применения в конкретных условиях строительства возможны только на основе разработки всесторонней и объективной методики сравнения технико-экономических показателей вариантов, учитывающей специфику фундаментостроения на основе следующих основных принципов: а - экономия материала и энергии (ресурсосбережение); б – снижение трудоемкости; в – сокращение сроков изготовления и монтажа. В то же время конструкция минимальной стоимости одновременно должна удовлетворять требованиям эксплуатационной надежности.

Исходя из вышеизложенного, накопленного опыта и проведенных исследований по данному вопросу, РУП «Институт БелНИИС» разработал следующие методические требования по достоверной технико-экономической оценке и выбору эффективных проектных решений фундаментов в условиях Республики Беларусь /6,7/.

**1.** Техничко-экономическую оценку (далее ТЭО) проектных решений фундаментов следует производить исходя из следующих четырех основных принципов: эксплуатационная надежность; минимальная энергоемкость и материалоемкость; максимальная технологичность и индустриальность; минимальные сроки изготовления.

**2.** Оценка и выбор лучшего проектного решения для фундамента из множества технически возможных следует выполнять посредством сравнительного анализа основных и дополнительных технико-экономических показателей (таблица 1) по каждому варианту, отобранному согласно п.4.

К техническим показателям относятся данные о категории сложности оснований и геотехническом риске строительства по таблице 2; технологические и конструктивные параметры фундаментов и сооружения, характеристики материалов, грунтов и др.

**3.** Необходимыми условиями достоверной оценки технических показателей являются:

**Таблица 1 – Номенклатура технико-экономических показателей при выборе фундаментов**

Наименование показателя	Условные обозначения
Основные показатели	
Приведенные затраты, руб. Себестоимость, руб. Показатель эффективности, кН/руб.х чел.-дн.	$\Pi^{1)}$ С $Z = N^2 / \Pi (C)T,$
Дополнительные показатели	
Затраты труда, чел.-дн. в том числе на стройплощадке Расход материалов: стали, т цемента, т бетона (железобетона), м <sup>3</sup> Капитальные вложения в строительную базу, руб. Продолжительность работ, год	Т Т <sub>с</sub>  В <sub>ст</sub> В <sub>ц</sub> В <sub>б</sub> (В <sub>жб</sub> ) К t
<sup>1)</sup> $\Pi = C_i + k_i E_n$ , где $C_i, k_i$ , - соответственно стоимость строительно-монтажных работ и капитальные вложения в основные производственные фонды строительной организации: $E_n$ - нормативный коэффициент капиталовложений по сравниваемым вариантам; <sup>2)</sup> - N нагрузка на фундамент от надземных конструкций, кН (кН/м).	

**Таблица 2 – Геотехнический риск строительства и рекомендуемые типы фундаментов**

Категория сложности основания по рисунку 1	Уровни геотехнического риска строительства* в зависимости от уровня ответственности объектов			
	III – пониженный	II - нормальный	I - повышенный	уникальный
I - простое	А	А	А	У
II – средней сложности	А	А, Б	Б, Н	У
III – сложное	А, Б	Б, Н	Н	У

Примечание - \* Уровни геотехнического риска строительства А, Б, Н, У определяют:

- уровень А: благоприятные условия строительства, не требующие дополнительных технических изысканий и затрат для повышения надежности оснований, конструкций фундаментов и заглубленных частей сооружения; как правило, сооружения I-III уровней ответственности на простых основаниях I-II категории; рекомендуются фундаменты по рисунку 1 для оснований категории I;
- уровень Б: ограниченно благоприятные условия строительства, требующие дополнительных изысканий и средств для повышения надежности, прочности конструкций и жесткости сооружения или в отдельных случаях инженерной подготовки оснований или строительной площадки; рекомендуются фундаменты по рисунку 1 для оснований категории II;
- уровень Н: неблагоприятные условия строительства, требующие значительных дополнительных изысканий и средств для повышения прочности конструкций, надежности, жесткости сооружения, предпроектной инженерной подготовки строительной площадки, улучшения оснований и технической мелиорации; рекомендуются фундаменты по рисунку 1 для оснований категории III, как правило, массивные плиты, плитно-свайные или глубокие, свайные опоры;
- уровень У – уникальные условия строительства, как правило для уникальных сооружений на любых основаниях, требующие специальных мероприятий по обеспечению надежности и безопасности сооружения для людей и окружающей природной среды по ТКП 45-3.02-108 /8/ и др.

Схемы сложности оснований и возможные варианты фундаментов для них		
Категория I	Категория II	Категория III
<p>Простое (однородное, устойчивое) из минеральных грунтов средней прочности:  <math>m = E_v / E_n &lt; 8</math>; <math>p_d &gt; 1,5 (q_c &gt; 1,2) \text{ МПа}</math>;  <math>R \geq 0,15 \text{ МПа}</math>, где <math>E_v</math>, <math>E_n</math> - соответственно модуль деформации верхнего и подстилающего слоев грунта</p>	<p>Средней сложности (условно однородно-устойчивое) с наличием малопрочных минеральных подстилающих слоев: <math>m = E_v / E_n \geq 8</math>;  <math>p_d &lt; 1,2 (q_c &lt; 1,0) \text{ МПа}</math>;  <math>R &lt; 0,15 \text{ МПа}</math>; <math>H_d &gt; 2 \text{ м}</math>;  <math>\tau_{\text{подст.}} = \sigma \text{tg } \varphi + c &gt; [\tau]</math>, МПа, где <math>[\tau]</math> - допустимое касательное напряжение подстилающего слабого слоя</p>	<p>Сложное (неустойчивое) со слабым биогенным подстилающим слоем (слоями):  <math>(m &gt; 8)</math>; <math>p_d (q_c) &lt; 1 \text{ МПа}</math>;  <math>R \leq 0,1 \text{ МПа}</math>; <math>H_d &gt; 2 \text{ м}</math>;  <math>\tau_{\text{подст.}} &lt; [\tau]</math></p>
<b>Рекомендуемые фундаменты (в порядке преимущества) и способы их устройства</b>		
<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  $R \geq 0,15 \text{ МПа}$ ; [2] - искусственный; [3] - слабый, малопрочный минеральный; [4] - слабый биогенный; NL, DL, WL - отметки рельефа планировки и воды;  $H_d$ ,  $H_v$ ,  $H_p$  - 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 - Схемы категорий сложности оснований Беларуси и рекомендуемые типы и способы устройства фундаментов для оценки вариантов на стадии ТЭО**

- приведение всех принятых к рассмотрению вариантов фундаментов к сопоставимым значениям технических показателей;
- равенство исходных данных (нагрузки, грунты и т.п.) и соблюдение требований норм и ограничений;
- реальность технологии производства работ для рассматриваемых условий строительства и возможностей исполнителей, которая должна быть наиболее рациональной из возможных по каждому из сравниваемых вариантов.

**4.** Экономическому сопоставлению подлежат оптимальные по техническим показателям конструкции фундаментов.

Сравнительная оценка по всем вариантам должна производиться по единой методике сопоставления экономических показателей с использованием одинаковых по степени детализации и точности методов расчета.

**5.** При сравнительной оценке нескольких вариантов фундаментов одно из решений следует принимать за исходный вариант – эталон, который должен определяться этапами проектирования:

- на этапе формирования планов проектных и научно-исследовательских работ, при разработке новой конструкции фундамента, сопоставление производится с показателями конструкции наиболее эффективной в рассматриваемом регионе строительства;
- при вариантном проектировании за эталон для сопоставления предлагаемых типов фундаментов принимается, как правило, конструкция наиболее распространенная в данных региональных и производственных условиях;
- на этапе внедрения и эксплуатации нового решения, сопоставление производится с показателями заменяемой конструкции.

**6.** Техничко-экономические показатели по различным конструктивным решениям фундаментов следует сравнивать относительно расчетной единицы измерения: на здание в целом, секцию или расчетную нагрузку от всего здания. Для предварительных расчетов допускается брать единицу измерения на один фундамент, на 1 м длины фундамента или 10 кН расчетной нагрузки от здания, 1 м<sup>2</sup> площади застройки.

**7.** Выбор наиболее рационального типа фундаментов в рассматриваемых условиях строительства рекомендуется производить в три этапа:

а) сбор данных и приведение технических показателей принятых к рассмотрению вариантов фундаментов к единому уровню;

б) предварительная оценка и отбор вариантов, технически и экономически целесообразных в рассматриваемых условиях, как правило, по основным экономическим показателям с учетом данных об опыте применения фундаментов в рассматриваемых условиях.

Допускается оценку проектных решений фундаментов зданий II, III уровней ответственности для уровней геотехнического риска строительства А и Б (см. таблицу 2) осуществлять по шкале эффективности (коэффициенту  $z$  таблицы 3), исходя из расчетной нагрузки на фундамент  $N$ , кН (кН/м), при условии  $F \geq N$  (где  $F$  – несущая способность фундамента, кН, кН/м);

**Таблица 3 - Шкала эффективности проектных решений фундаментов по коэффициенту эффективности  $z$  (см. таблицу 1)**

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



лены: парк механизмов и оборудования, имеющих в строительных организациях, а по действующим в Республике Беларусь каталогам и типовым проектам основные характеристики зданий и осредненные нагрузки на 1 м длины ленточного фундамента: 30, 60, 100 кН/м и колонн – 200...1000 кН (таблица 4).

Проведен также анализ свыше 200 инженерно-геологических колонок оснований Беларуси, составлены расчетные схемы для всех областей республики.

Анализ инженерно-геологических условий показал, что основания республики имеют ряд однородных свойств и признаков, изменение которых оказывает особенно активное влияние на технологию устройства фундаментов и их стоимость. К таким признакам относятся мощность "слабого" и искусственного слоев, их расположение по глубине, вид грунта и его "прочность", которые можно принять за базовые модули при унификации инженерно-геологических условий республики. Исходя из этого, всю совокупность оснований Республики Беларусь можно свести по его прочности к трем основным расчетным строительным категориям (см. рисунок 1).

Для сформулированного вышеуказанным образом объекта исследований производились, все необходимые инженерные расчеты по методикам СНиП.2.01.07-85, СНБ 5.01.01-99, СНБ5.03.01-02 и Пособий к ним с определением на основе проектирования конструктивных решений фундаментов: расхода материалов и трудоемкости. Во всех вариантах объемы работ установлены до уровня верхнего обреза фундаментов.

**Таблица 4** - 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

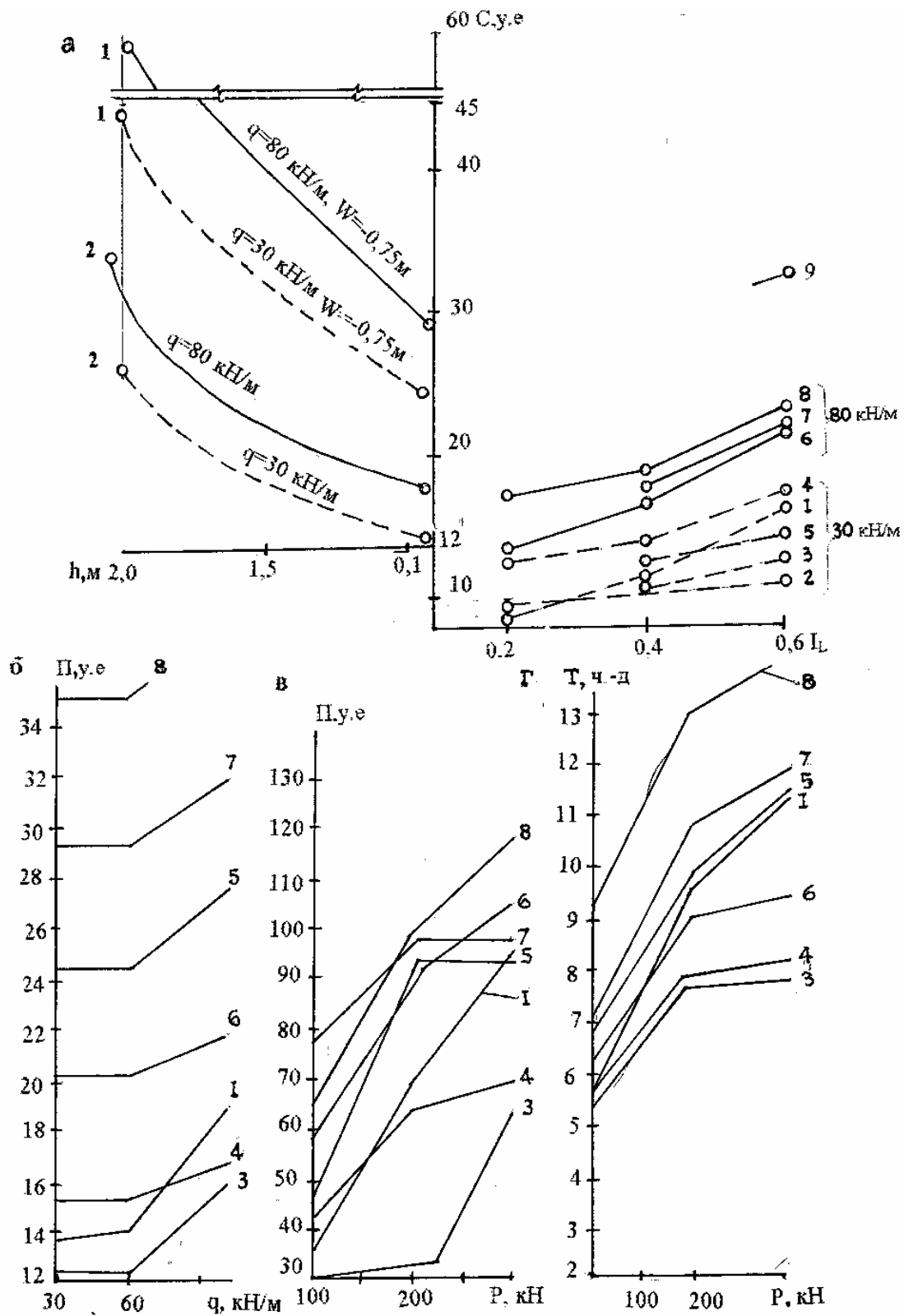
Примечание. В числителе приводится наиболее характерная величина нагрузки на фундаменты для данного типа здания (по частоте распределения в плане здания составляющая не менее 50%); в знаменателе - максимально возможная (как правило, не превышает 10%).

При расчетах стоимости, приведенных затрат и трудоемкости учтены затраты по следующим основным видам работ: изготовление сборных железобетонных конструкций на заводах сборного железобетона, транспортировка, 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 СН 423 Госстроя СССР и разработанных в РУП «Институт БелНИИС» Рекомендаций по оценке эффективности фундаментов.

Основные итоговые результаты исследований даны на рисунке 3 и включены в разрабатываемый ТКП по основаниям и фундаментам.

Технико-экономический анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы по применению фундаментов для строительства в Республике Беларусь.



**Рисунок 3** - Зависимости стоимости (С, П), трудоемкости устройства (Т) фундаментов 1-10 по рисунку 1 в зависимости от глубины заложения (h), пластичности грунта ( $I_L$ ) и нагрузки (P, q) для оснований категории I и П. а, б - для малоэтажных зданий с несущими стенами и нагрузкой до  $q \leq 100 \text{ кН/м}$ ; в, г - для каркасных промышленных сельскохозяйственных зданий, W - уровень подземных вод от поверхности земли, м

1. В основаниях категории I (см. рисунок 1) и геотехническом риске строительства уровней А, Б (см. таблицу 2) достаточно эффективны традиционные плитные фундаменты из монолитного бетона, которые на 30-50% экономичнее, по стоимости, материалоемкости и трудоемкости аналогичных сборных конструкций заводского изготовления.

Для промышленных сельских зданий эффективны комбинированные незаглубленные плитные фундаменты (вариант 2), а в отдельных случаях тонкие массивные плиты под все здание (вариант 8), в т.ч. на несущем слое (геомассиве) из щебеночных мелкозаглубленных свай уплотнения с давлением на основание до 0,6 МПа, которые особенно незаменимы в сложных инженерно-геологических условиях (категории II и III) с показателем текучести грунта  $I_L > 0,4$ , а также при насыщенном расположении фундаментов в пятне здания.

2. Установлено, что в диапазоне нагрузок 30-250 кН монолитные ленточные плитные фундаменты экономически целесообразны только при глубине их заложения не более 1,5 м, а для ленточных из сборных блоков и плит <1,2 м.

В зданиях без подвалов наиболее конкурентоспособными являются мелкозаглубленные и незаглубленные плитные фундаменты (см. вариант 2) на песчаной подушке, которые дешевле традиционных из монолитного бетона. Существенную экономию дают тонкостенные монолитные фундаменты шириной до 300 мм при ширине стен надземной части до 510 мм.

3. Вид плитного фундамента, в зависимости от средней интенсивности давления на грунт, исходя из экономической целесообразности, рекомендуется выбирать с учетом данных таблицы 5.

**Таблица 5 – Рекомендуемые типы плитных фундаментов в неводонасыщенных основаниях для геотехнического риска строительства уровня А**

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

4. Перекрестные ленточные фундаменты рекомендуется применять для каркасных и панельных зданий с поперечными несущими стенами возводимых на неравномерно-сжимаемых грунтах категории II (см. рисунок 1) при геотехническом риске строительства уровней Б и Н. Устройство отдельных фундаментов под колонны и несущие стены (с фундаментными балками) допускается, если неравномерность осадок не превышает предельно допустимых их значений по приложению Б СНБ 5.01.01 /6/, а средняя осадка не более 50 мм.

5. Свайные фундаменты из забивных стандартных свай, как правило, следует применять когда плитные фундаменты не обеспечивают допустимых деформаций по приложению Б СНБ 5.01.01 /6/ или они являются более эффективными и индустриальными в рассматриваемых условиях (как мелкозаглубленные сваи в пробитых скважинах по П19 к СНБ 5.01.01 или например, в зимних условиях строительства, на обводненных основаниях, и др.).

6. При проектировании фундаментов, из традиционных забивных свай длиной  $l \leq 12$  м (цельных) и при  $l > 12$  м – составных, следует исходить из того, что они всегда более экономичны и технологичны, чем набивные большого сечения, полые круглые сваи и сваи-колонны для всех уровней геотехнического риска строительства (см. таблицу 2).

7. Массивные плитные и плитно-свайные фундаменты целесообразно применять для зданий повышенной этажности (не менее 12 этажей), возводимых на площадках с неравномерно сжимаемыми по глубине основаниями II и III категорий сложности.

8. Основная область применения бурозавинчивающихся и задавливаемых свай - строительство и реконструкция сооружений вблизи существующей застройки, когда требуется исключить динамические воздействия на близлежащие сооружения или недопустимые деформации от разрыхления грунтов при проходке буровых скважин.

9. Буросекущиеся сваи целесообразны в качестве комбинированных конструкций (несущих и ограждающих) при устройстве заглубленных частей сооружений: стен, ограждений глубоких котлованов и освоении подземного пространства.

10. В настоящее время, разработаны, апробированы и нашли широкое применение в массовом гражданском и промышленном строительстве новые индустриальные конструкции монолитных (набивных) свай в пробитых скважинах, по пособию П19-04 к СНБ 5.01.01-99, которые даже в благоприятных грунтовых условиях оказываются экономичнее традиционных не только свайных, но и плитных фундаментов и все чаще вытесняют их по экономической целесообразности /9/.

Особенно эффективны сваи в пробитых (выштампованных, вытрамбованных, раскатанных, проколотых скважинах), изготовленные специальными скважинообразующими штампами (по форме будущей сваи) с последующим заполнением их бетонной или грунтобетонной смесью (рисунок 4). Штампы могут быть различной конфигурации. Преимущество таких свай заключается в том, что отпадает необходимость в выемке грунта, который втрамбовывается (вдавливается) в стенки скважины и уплотняет грунт в околосвайном пространстве. Набивные сваи превосходят по несущей способности забивные, экономичнее их по расходу материала, особенно стали, и более эффективны по сравнению с плитными фундаментами на естественном основании. Достоинства набивных свай уплотнения открывают широкие возможности в условиях Беларуси по повышению эффективности, индустриальности и комплексной механизации фундаментостроения при высоком качестве работ /10/.

РУП «Институт БелНИИС» апробированы и предложены следующие ресурсосберегающие фундаменты нового поколения, технологии и оборудование для их возведения (см. рисунок 4, руководители тем: Сеськов В.Е., Кравцов В.Н):

- 1) набивные монолитные сваи в вытрамбованных скважинах коническим штампом различных сечений и длин на базе рыхлителя по способу СТ;
- 2) набивные монолитные грунтобетонные микросваи в бурораздвижных скважинах  $\varnothing 80-150$ мм, длиной до  $l \leq 3$ м по способу СБ (совместно с ООО «ОиФК»);
- 3) набивные монолитные грунтобетонные микросваи в проколотых скважинах  $\varnothing 80 - 150$ мм, длиной до  $l \leq 3$ м по способу СП (совместно с ООО «ОиФК»);
- 4) набивные монолитные грунтобетонные микросваи в виброштампованных гидромолотом скважинах  $\varnothing 120 - 150$ 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 установки для штамповки скважин и вспомогательного оборудования для изготовления грунтобетона и его укладки в скважину /10/. Установка для изготовления скважин бурораздвижным способом состоит из базовой машины с крутящим моментом на валу отбора мощности не менее 2,4 кН·м (например, трактор «Беларус»), а для способа СШ с рабочим давлением в гидросистеме не менее 0,6 МПа (используется экскаватор ЕК) с навесным оборудованием, в виде направляющей (краново-буровой или гидроманипуляторной) штанги и съемного рабочего буро-виброраздвижного органа диаметром 80-150 мм (для СБ, СП, СШ), 200-300 мм (для СТ) и длиной 1,5-3 м (см. рисунок 4). Вспомогательное оборудование (смеситель) служит для изготовления грунтобетонной (бетонной) смеси и подачи ее в зону укладки.

Для фундаментов применяется грунтобетон, представляющий собой искусственный конструктивный каменный материал, полученный в результате твердения однородной по составу смеси из природного местного грунта, цемента и воды и являющийся самым дешевым местным материалом для изготовления свай /10/.

### **Заключение**

1. Решающее влияние на достоверность оценки эффективности проектных решений фундаментов оказывает методика определения и сопоставления их технико-экономических показателей с использованием следующих двух факторов: несущая способность и себестоимость 1 м<sup>3</sup> железобетона фундамента. Только совместное рассмотрение обоих показателей позволяет дать объективную оценку каждой конструкции и вскрывает действительные причины неэффективности фундамента.

а



б



в



г



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 МГ300) на базе колесного экскаватора ЕК18, доработанное для изготовления набивных свай в виброштампованных скважинах по способу СШ

**Рисунок 4 – Оборудование для устройства ресурсосберегающих свайных фундаментов «нового поколения»**

2. Расчет и сопоставление технико-экономических показателей (см. таблицу 1) проектных решений фундаментов является только одним из этапов оценки эффективности и установления области их рационального применения. В полном объеме задача определения минимальной стоимости фундамента может быть объективно решена лишь на основе комплексной оценки проектного решения, которая кроме экономического сравнения вариантов, включает в себя оценку его конструктивной и технологической рациональности, как определяющего фактора при выборе эффективного типа фундамента.

3. Установлено, что использование в качестве единицы измерения эффективности фундаментов 1000 кН несущей способности приводит к ошибочным результатам. При оценке технико-экономических решений фундаментов следует использовать единицу измерения эффективности в 1000 кН расчетной нагрузки от здания или коэффициент эффективности несущей способности фундамента: отношение веса здания или его секции к суммарной несущей способности.

4. Мелкозаглубленные монолитные плитные фундаменты шириной  $b$  эффективны при глубине их заложения, не превышающей  $h \leq 1,5$  м из сборного железобетона при  $h \leq 1,2$  м.

При необходимости заложения фундаментов на отметках более 1,5 м свайные фундаменты, как правило, эффективнее плитных.

5. В настоящее время наукой предлагается широкий выбор возможностей для рационального проектирования и возведения фундаментов под любые нагрузки и условия строительства. При этом наблюдается большой разрыв между наукой и практикой. Многие из того, что в науке считается решенным не находят широкого применения на практике. РУП «Институт БелНИИС» готов оказать любую консультативную помощь строительным организациям республики по внедрению современных ресурсосберегающих конструкций и технологий возведения фундаментов с учетом их возможностей и технических условий строительства.

#### **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Прагер, В. Основы теории оптимального проектирования конструкций. - М.: "Мир", 1977.- 109 с.
2. Фиакко, А., Мак-Кормик, Г. Нелинейное программирование: методы последовательной безусловной минимизации. - М.: "Мир", 1972. - 240 с.
3. СН 423-71. Инструкция по определению экономической эффективности капитальных вложений в строительстве. - М.: Стройиздат, 1979.- 41 с.
4. СН 509-78. Инструкция по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. М.: Стройиздат, 1979.- 65 с.
5. Руководство по выбору проектных решений фундаментов/НИИОСП им. Н.М.Герсеванова, НИИЭС, ЦНИИПроект Госстроя СССР. - М.: Стройиздат, 1984.-192 с.
6. СНБ 5.01.01-99. Основания и фундаменты зданий и сооружений. -Минск: МАиС РБ, 1999.- 36 с.
7. ТКП 45-5.01 -67-2007. Фундаменты плитные: правила проектирования. -Минск: МАиС РБ, 2007.- 140 с.
8. ТКП 45-3.02-108-2008. Высотные здания. Строительные нормы проектирования. - Минск: МАиС РБ, 2008.- 89с.
9. Кравцов, В.Н. Свойства грунтобетона и аспекты его применения для изготовления фундаментов // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии: сб. междунар. науч. конф.– Ростов- на- Дону: РГСУ, 2000.- С. 200-204.
10. Кравцов, В.Н., Назаров, Н.А. Исследование и особенности применения грунтобетона для свайных фундаментов и упрочнения грунтов// Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: материалы XI международного научно-методического семинара – Брест: БрГТУ, 2004. – ч.2. - С.200-205.