

торов (рост численности работающих), когда как в 2006г. рост объемов был достигнут в основном за счет интенсивных факторов (рост производительности труда).

Предложенная методика может быть использована при анализе структурных изменений выполняемых СМР при планировании производственной программы строительных систем основного звена управления (трест, объединение).

#### Литература

1. Банди Б. Основы линейного программирования. – М.: Радио и связь, 1989.
2. Бояринцев Г.А. Исследование вопросов развития технологической специализации в строительстве №8 г.Брест: Информ.листок. – Бр.: Брест.центр науч.-техн.информ., 1988.
3. Бояринцев Г.А., Халавчук В.С. «Влияние структурных изменений смр на производственные показатели деятельности ООО «Облик»». Статья Вестник БрГТУ. – 2008 – №1: Строительство и архитектура.
4. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. – М.: Наука, 1988.
5. Коротков Е.А., Березин В.П. Специализация в строительстве. – М.: Стройиздат, 1997.
6. Шмойловой, Р.А. Теория статистики/ проф. Шмойловой Р.А. – М.: "Финансы и статистика", 1996.

УДК 624.155.001.24

*Дёмин В.В., Рудницкий Д.С.*

*Научные руководители: профессор, к.т.н. Шведовский П.В., ст. препод. Дёмина Г.П.*

#### ОСОБЕННОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Сегодня, в связи с технической перевооруженностью строительных организаций, позволяющей возводить один и тот же тип фундаментов разными способами, как никогда ранее возросла роль оптимального проектирования фундаментов. Например, количество возможных технологий устройства только буронабивных свай в настоящее время составляет несколько десятков. При этом способ устройства влияет не только, и даже не столько, на трудоемкость или стоимость свай, сколько на ее несущую способность.

В целом на процесс принятия решения по фундаментам могут оказать следующие факторы: исходные данные (геологические и гидрогеологические характеристики, параметры здания или сооружения и т.д.); строительные технико-экономические ограничения (ограничения по глубине копания, гибкости конструкции и т.д.); заводские ограничения (технологическое несовершенство имеющегося оборудования и машин и др.); специфические ограничения проектируемой технологии (выбранного метода); стандартные ограничения (ограниченность стройплощадки и др.); ограничения, имеющие решающее значение (срок строительства, отсутствие специальных материалов и изделий и т.д.).

В разработке методов выбора оптимальных решений фундаментов можно выделить следующие основные направления: аналитические методы; номографические методы; графоаналитические методы; методы совершенствования вариантного проектирования на основе использования таблиц; методы математического моделирования процесса проектирования фундаментов с выбором оптимальных вариантов на ЭВМ [1, 2, 3].

Рассмотрим кратко методы выбора оптимальных решений фундаментов по каждому из этих направлений. В основу аналитического метода положено исследование на экстремум функции стоимости (или другого показателя, принятого в качестве критерия оптимальности) от его параметров  $C = f(x_i)$ . Основным инструментом аналитического метода являются уравнения, получаемые путем приравнивания нулю первой производной функции стоимости по выбираемым параметрам  $C'(x_1)=0$ ;  $C'(x_2)=0$  и т.д. Из решения этих

уравнений находятся значения параметров  $x$ , при которых функция  $C = f(x)$  имеет минимум или максимум, что выясняется определением знака второй производной  $C''(x)$  при найденных значениях  $x$ .

Зная значения параметров, при которых функция имеет экстремум, легко представить в общем виде характер изменения этой функции и найти области ее минимальных значений. При этом может встретиться несколько случаев, отличающихся по положению области минимальных значений стоимости фундамента (рис. 1):

- функция  $C = f(x)$  на положительном интервале изменения параметров имеет единственное экстремальное значение  $x$ , соответствующее минимуму (кривая 1);
- функция  $C = f(x)$  имеет единственное экстремальное значение  $x$ , при котором  $C$  имеет максимум (кривая 2);
- функция  $C = f(x)$  имеет несколько экстремальных значений  $x$ ; (кривая 3);
- функция  $C = f(x)$  не имеет экстремальных значений  $x$ , является монотонно возрастающей (кривая 4) или убывающей (кривая 5).

Характер кривой зависимости  $C = f(x)$  определяется количеством действительных положительных корней уравнения, применяемого для выбора оптимальных параметров. При наличии одного корня уравнения эта зависимость будет выражаться кривыми 1 или 2, двух корней - кривой 3.

Если уравнения не имеют положительных действительных корней, то функция  $C=f(x)$  будет монотонно убывающей (при  $C'(x)<0$ ) или возрастающей (при  $C'(x)>0$ ).

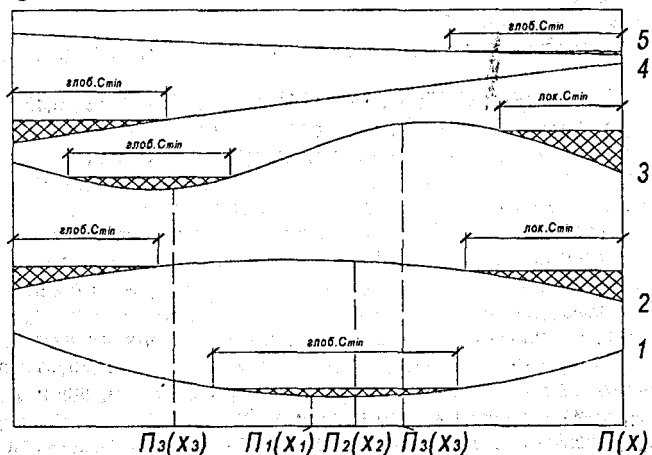


Рис. 1 Общий вид стоимостной функции фундаментов в зависимости от обобщающего критерия расчетных параметров

Как на вогнутых кривых, так и на кривых, имеющих монотонный характер, имеется одна область параметров, которым соответствует минимальное значение функции  $C$ . В этом случае значения  $C$ , соответствующие этой области изменения параметров будут представлять собой глобальный минимум функции  $C = f(x)$  на заданном интервале изменения  $x$ .

На выпуклых же кривых и кривых, имеющих несколько экстремальных точек, имеется две или несколько областей минимальных значений функции  $C$ , одна из которых представляет собой область глобального минимума функции  $C = f(x)$  для заданного интервала изменения аргумента, а другие - локального минимума. Для определения об-

ласти глобального минимума в этом случае необходимо произвести сравнение значений функции  $C$  при значениях выбираемого параметра, принадлежащих каждой из выявленных областей минимальных значений функции. При изменении функции по выпуклой кривой такое сравнение надо произвести при минимально и максимально возможном значении выбираемого параметра.

Выбрав область глобального минимума функции  $C = f(x)$ , назначаются наиболее экономичные значения  $x_i$  из числа заданных в конкретных условиях проектирования таким образом, чтобы эти параметры находились в области глобального минимума функции  $C = f(x)$  или были максимально близкими к ней [4].

Рассмотрим применение аналитического метода на примере выбора оптимальных параметров фундаментов из буронабивных свай.

В качестве критерия оптимальности будем рассматривать стоимость устройства свайного фундамента на 10 м.п.:

$$C = C_{св}V_{св} + C_pV_p + C_3V_3, \quad (1)$$

где  $C_{св}$ ,  $C_p$ ,  $C_3$  - стоимость выполнения единицы объема соответственно при устройстве ствола свай, ростверка, земляных работ;  $V_{св}$ ,  $V_p$ ,  $V_3$ , - объем соответственно: ствола свай, ростверка и земляных работ.

Если выразить входящие в формулу (1) объемы работ через нагрузку на фундамент ( $N$ ), характеристики грунтов основания ( $R^H$ ,  $f^H$ ,  $E$ ,  $\mu$ ,  $C$ ,  $\gamma$ ) и параметры фундамента ( $1_{св}$ ,  $d$ ,  $n$ ,  $H$ ,  $h$ ,  $a$ ), то получим функцию стоимости устройства фундаментов от перечисленных факторов:

$$C = f(N, R^H, f^H, \gamma, d, n, 1_{св}, H, h, a), \quad (2)$$

где  $N$  - вертикальная нагрузка на фундамент;  $R^H$ ,  $f^H$  - нормативное сопротивление грунтов под подошвой и по боковой поверхности свай;  $\gamma$  - удельный вес грунтов;  $1_{св}$ ,  $d$ , - соответственно глубина заложения, диаметр ствола свай;  $H$  и  $h$  - глубина заложения подошвы и высоты ростверка;  $a$  - расстояние между осями свай в ряду,  $n$  - количество свай.

Задача выбора оптимального решения сводится к определению значений  $1_{св}$ ,  $d$ ,  $n$ ,  $H$ ,  $h$ ,  $a$ , которым соответствует минимальное значение стоимости фундамента.

Математические затруднения, возникающие при точном решении этой многофакторной задачи, а также необходимость получить достаточно простые и приемлемые для практического использования результаты делают неизбежным принятие целого ряда допущений и упрощений.

С учетом допущений, не влияющих значительно, функция (2) может быть преобразована в функцию двух независимых переменных, например, количества свай  $n$  на 1 м.п. и глубины заложения подошвы свай  $x$  -  $C = f(n, x)$ .

Но так как отыскание минимума функции двух переменных в данном случае приводит к очень сложным решениям, которые не могут быть использованы для практического применения, функцию необходимо свести к функции одного переменного или осуществить выбор оптимальных параметров поочередно, полагая один из параметров неизменным.

В данном случае более предпочтительным является второй путь, так как оптимальное значение количества буронабивных свай всегда может быть определено из сравнения двух вариантов фундаментов (при минимальном и максимальном количестве свай на 1 м.п.), так как зависимость стоимости фундамента от количества свай в кусте всегда выражается выпуклой кривой. Исходя из этого, принимаем  $n = \text{const}$ . Дифференцируя функцию по  $x$  и приравнявая первую производную  $C'_x$  нулю, получим следующее уравнение для определения оптимальной глубины заложения подошвы буронабивных свай:

$$-x_2 + px + q = 0.$$

Исследования зависимости технико-экономических показателей фундаментов из буронабивных свай от количества и размеров показали, что при  $n = \text{const}$  и увеличении

длины свай стоимость фундамента изменяется по вогнутой кривой с наличием минимума при определенной длине или по возрастающей кривой. Из этого следует, что любому действительному положительному корню уравнения соответствует оптимальное значение глубины заложения подошвы свай. В случаях, когда уравнение не имеет действительных положительных корней, оптимальной будет минимальная длина свай.

После нахождения оптимальной глубины заложения подошвы свай определяются соответствующие оптимальному решению значения диаметра ствола  $d$ .

Как видно из приведенного выше, аналитический метод выбора оптимальных решений фундаментов требует достаточно больших вычислительных работ. Сократить которые позволяет номографический метод.

В основу метода положено номограммирование уравнений, выражающих граничные условия и условия минимума функции стоимости фундамента от длины свай. Граничные условия выражают требования расчета фундаментов по первому предельному состоянию в соответствии с действующими нормами. В качестве условия минимума стоимости принято равенство нулю первой производной ее функции от длины свай.

Оптимальная глубина заложения подошвы свай определяется по номограмме (рис.2) в зависимости от значений вспомогательных величин, т. е.  $X = f(a_4, a_5, a_6, a_7)$ , вычисленных по формулам:

$$a_4 = a_1(2B - B'a'); \quad a_5 = B(B - 0,5B'a'); \quad a_6 = a_1(a_1 - A'a'); \quad a_7 = \alpha V(a_2 + A'H), \quad (3)$$

где  $a_1, a_2, \alpha, B, B', A, A'$  - вспомогательные номографируемые величины.

В случаях, когда разрешающая прямая номограммы не пересекается со шкалой  $X$ , стоимость фундамента будет минимальной при наименьшей возможной длине свай.

Если на фундамент, кроме вертикальной нагрузки, действуют моменты, то при выборе оптимальной длины свай вместо величины  $N$  берется значение  $N_3$ .

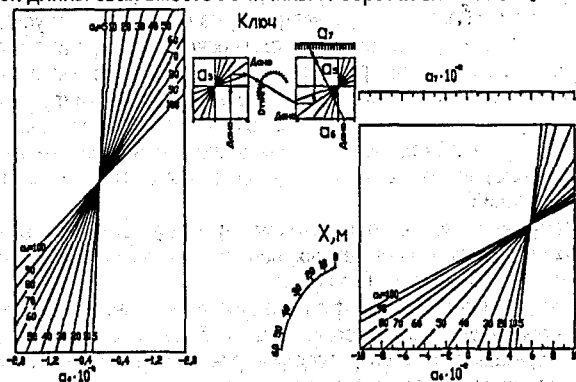


Рис. 2 Номограмма для определения оптимальной длины буронабивных свай

Как видно из приведенного выше, область применения аналитического и номографического методов ограничивается определением оптимальных значений отдельных параметров фундаментов при большом количестве допущений. Другим существенным ограничением в применении этих методов является обязательно существование монотонной функциональной зависимости стоимости фундамента от его параметров. Такую зависимость часто оказывается получить невозможно в основном из-за структуры расценок на отдельные конструктивные элементы фундамента. Например, если стоимость устройства буронабивных свай может быть с достаточной точностью выражена эмпирической непрерывной зависимостью функции от размеров свай, то нормы и расценки на устройство забивных свай разных размеров изменяются скачкообразно. В связи с этим

применение аналитического или номографического метода для выбора экономических параметров фундаментов из забивных свай вызывает большие осложнения.

Для выбора оптимальных параметров фундаментов из забивных свай без применения ЭВМ наиболее эффективным является графоаналитический метод, основывающийся на использовании диаграмм, таблиц переходных коэффициентов и простейшей формулы [2]. Такая методика позволяет быстро определять по диаграммам и сравнивать технико-экономические показатели устройства свайных фундаментов при различных размерах свай в любых инженерно-геологических условиях и при любых нагрузках на фундамент.

Однако построить диаграммы для всех сочетаний исходных данных практически невозможно; так как существует огромное разнообразие грунтовых условий, нагрузок, типов и размеров свай и других исходных данных. Упростить эту задачу и ограничиться сравнительно небольшим числом диаграмм позволяет использование метода перехода от любой заданной нагрузки на фундамент к эквивалентной ей вертикальной центрально приложенной силе, что дает возможность ограничиться при составлении диаграмм лишь вертикальными центрально приложенными нагрузками.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шведовский П.В., Мальцев А.Т., Вейнгарт В.П. Выбор оптимальных решений в строительстве. ЦНИИЭПсельстрой, Ярославль, 1990. – 310с.
2. Романов С.В., Капустин С.В. Разработка и создание автоматизированной системы оптимального проектирования фундаментов каркасных зданий. Сб. Снижение материалоемкости строительства. – Киев: Будівельник, 1983.-с. 102-126.
3. Руководство по выбору проектных решений фундаментов. НИИОСП, НИИЭС, ЦНИИпроект Госстроя СССР. – М: Стройиздат, 1984.-193 с.
4. Кречин А.С., Чернюк В.П., Шведовский П.В. и др. Ресурсосберегающие фундаменты на сельских стройках. Карте Молдовеняскэ, Кишинев, – 1990. – 245с.

УДК 624.155.001.24

*Дёмин В.В., Рудницкий Д.С.*

*Научные руководители: профессор, к.т.н. Шведовский П.В., ст. препод. Дёмина Г.П.*

#### ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ

Выбор оптимального решения по устройству фундаментов простым перебором возможных вариантов, даже на самых быстродействующих ЭВМ, не всегда обеспечивают ее решение за реально приемлемое время из-за огромной размерности этой задачи. Поэтому целесообразно применять специальные методы оптимизации, позволяющие находить оптимальные решения путем просмотра ограниченного количества вариантов. К таким методам можно отнести методы направленного перебора вариантов, планирования экстремального эксперимента, градиентный метод или метод крутого восхождения.

В качестве примера применения метода направленного перебора рассмотрим поиск оптимальной схемы размещения свай методом односторонних итераций.

Физический смысл задачи оптимизации размещения свай заключается в выборе такой схемы размещения, которая обеспечивала бы минимальную площадь ростверка при удовлетворении расчетов по первому и второму предельным состояниям, и при соблюдении конструктивных ограничений на размеры ростверка.

При этом считаются известными рациональные формы размещения любого количества свай, обеспечивающие равномерную загрузку свай, поэтому оптимизируемыми яв-