

Успехи этого и других проектов позволяют надеяться, что использование металлических шпунтов в виде основ строительных конструкции станет более популярным.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Borel S., Bustamante M., Rocher-Lacoste F. The comparative bearing capacity of vibratory and impact driven piles / TRANSVIB 2006. Gonin, Holeyman et Rocher-Lacoste (ed.) 2006, Editions du LCPC, Paris
2. Bustamante M., Gianceselli L. Predicting the bearing capacity of sheet piles under vertical load / Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Piling and Deep Foundations -Stresa (Italy), 7 – 12 April 1991
3. Maksim P., Tomaka W., Sobala D. Grodzice stalowe w podporach zintegrowanego wiaduktu drogowego / Inżynier budownictwa – 02.2011
4. Kwarciński P. Nośność pionowa grodzic / Geoinżynieria: drogi, mosty, tunele – 2008. – Т.3 – С. 38-40
5. Regles techniques de conception des fondations des ouvrages de genie civil – Fascicule 62 titre V – Paris 1993

УДК 625.154+624.131:138

## **ОСОБЕННОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКТИВНО – ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТОВ ТЯЖЕЛЫМИ ТРАМБОВКАМИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ.**

**Клебанюк Д.Н., Пойта П.С.**, д-р техн. наук, профессор,  
**Шведовский П.В.**, канд. техн. наук, профессор  
(Брестский государственный технический университет,  
г. Брест, Беларусь)

Ограниченность свободных территорий в городских условиях приводит к необходимости освоения весьма сложных в инженерно-геологическом отношении строительных площадок.

Практикой отечественного и зарубежного опыта [1-4], доказано, что наиболее рациональным способом подготовки таких площадок является уплотнение грунтов тяжелыми трамбовками.

Однако эффективное применение интенсивного ударного уплотнения грунтов возможно только при достоверных знаниях исходного состояния грунтов, влиянии технологических параметров, динамики изменения свойств грунтов в процессе уплотнения и после, с учетом их упрочнения во времени.

При этом выбор конструктивно – технологических параметров процесса уплотнения осуществляется на основе результатов пробного, на строительной площадке, уплотнения грунтов, что не только финансово затратно, но и зачастую обуславливает принятие не самых экономичных инженерных решений.

Отсюда детальное выявление основных закономерностей, описывающих механизм уплотнения грунтов, его связь с конструктивно – технологическими параметрами и характеристиками искусственных оснований, позволяющих не только качественно запроектировать фундаменты зданий и сооружений, но и обеспечить энергоэффективность их устройства и высокую их эксплуатационную надежность, на сегодня более чем актуально.

Традиционные методы решения однокритериальных задач, реализующие оптимизацию отдельных факторов, при введении ограничений на все другие, а также принятие альтернативных конструктивно – технологических решений (КТР) только по экономическим показателям не всегда правомерно, так как стоимостная оценка нелинейна с точки зрения оптимальности принятого решения.

Ряд исследователей [5, 6] предлагают при оценке КТР использование многофакторной модели в виде функции:

$$k_{ki} = f_{ki}(k_{a1}, k_{a2}, \dots, k_{aj}, \dots, k_{an}), \quad i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n} \quad (1)$$

где  $k_{aj}$ ,  $k_{ki}$  – показатели, характеризующие особенности конструктивно – технологического решения и наличия между ними прямых и обратных связей и взаимосвязей. Однако эта модель не позволяет в полной мере учесть неопределенность множества как объективных, так и субъективных факторов и условий, влияющих на принятие проектного решения.

Так как выбор решения необходимо осуществлять на базе «наибольшей предпочтительности», т.е. оптимизации на совокупность показателей эффективности, с учетом неопределенности фак-

торов и условий, то собственно решение представимо в виде следующих частных задач:

– выбор способа представления проектных вариантов, удобного для полного их перебора из исходного множества и полного набора показателей эффективности, которые должны учитываться при оценке каждого варианта, а также шкалы и процедуры оценок по каждому показателю эффективности (ПЭ);

– выбор процедуры, позволяющей выделить из исходного множества вариантов (альтернатив) подмножество наиболее предпочтительных вариантов и на их основе построить ряд предпочтительности альтернатив.

Соответственно задачу многокритериального выбора можно сформулировать следующим образом. Если  $a$  – проектное решение из множества допустимых решений  $A$ , при этом качество решения оценивается локальными критериями  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , составляющими вектор  $x = (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)$ , связанный с отображением решений  $a \rightarrow x = \varphi(a)$ , заданных аналитически, статистически или эвристически, а относительная важность предпочтительных показателей эффективности (ППЭ) задана вектором приоритетов  $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$ , где  $\lambda_j \in [1, \infty]$  – транзитная бинарная связь критериев  $j$  и  $j+1$ , т.е. для всех элементов  $a_1, a_2, a_3 \in A$  действительно условие  $a_1 R a_2, a_2 R a_3 \Rightarrow a_1 R a_3$ , то искомое решение  $A^*$  должно удовлетворять двум условиям – принадлежать множеству допустимых решений  $\bar{A}$  и оптимизировать вектор  $x$  с учетом приоритетов ППЭ  $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$ .

Отсюда выбор оптимального решения должен осуществляться по группе критериев эффективности  $K_{ij}$  и предпочтительности  $U_i$  (техничко – экономической, конструктивно – технологической и др.), с необходимостью последовательной или выборочной реализации следующих целевых групп: многоцелевой выбор из множества целей; оптимизация на множества условий; оптимизация в динамике, на множестве этапов и множестве вариантов; многовекторная оптимизация.

Однако при этом реализация многокритериального выбора, требует и четкого определения области компромисса, нормализации и учета приоритетности решений. Область компромисса должна

определяются как подмножество решений, для которых невозможно улучшение без уменьшения уровня хотя бы одного показателя эффективности, что может быть осуществлено двумя методами: исключением области согласия  $A^s$  из области возможных решений  $A^\circ = A/A^s$ ; выделением области компромисса на основе ее собственных свойств  $(a, x) \rightarrow A^\circ$ . Второй метод более приемлем, так как необходимо выполнение только одной операции. Кроме того элементы области  $A^\circ$  определить значительно легче, нежели элементы области  $A^s$ , так как  $A^s \geq A^\circ$ .

Следует отметить, что в фундаментастроении определить области компромиссных решений является только промежуточным решением исследуемой проблемы, а конечная цель – нахождение всех конкурентоспособных и выбор одного проектного решения. Но при этом выбор технических решений и сравнение их качества в области компромисса возможны только по определенной схеме компромисса и соответствующему ей принципу оптимальности.

Наиболее приемлемым на наш взгляд является следующий принцип компромисса: «справедливым» считается такой компромисс, когда суммарный уровень снижения одного или нескольких ПЭ не выше, чем суммарный модуль прироста других ППЭ.

Этому принципу соответствует модель максимизации суммы ППЭ (модель интегральной эффективности):

$$optX \equiv \min \sum_{i=1}^n x_j. \quad (2)$$

Принцип относительной справедливой уступки может быть представлен в виде

$$optx \equiv \{x / \sum_{j \in J^+} x_j \geq \sum_{j \in J^-} x_j\} \cap X^\circ, \quad (3)$$

где  $X^\circ$  – модуль относительного изменения – «цена – уступки».

В качестве же параметров предпочтительности наиболее целесообразно оперировать рядом предпочтительности  $\bar{X}_i$  и векторами приоритетов  $\lambda_i$  и значимости  $q_i$ , определяемыми методом последовательной оптимизации.

При этом ряд предпочтительности  $\bar{X}_i$  определяет упорядоченное множество локальных критериев  $\bar{X}_i = \{1, 2, \dots, n\}$ , т.е.  $\{\bar{x}\} = \{x_1 > x_2 > \dots > x_n\}$ , вектор приоритета  $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$  показывает степень совпадения двух рядов стоящих в ряду предпочтительности ПЭ, по значимости, а вектор значимости  $q_j$  – значимость  $j$ -го ПЭ по сравнению с другими ПЭ, который может быть задан как точно (принцип старого приоритета), так и приближенно – только область (принцип гибкого приоритета).

Однако, важнейшим моментом является вопрос об определении значимости показателей эффективности, которые могут быть выявлены на основе потерь, энтропии или методами экспертных оценок.

Не рассматривая особенности их выявления в условиях неопределенности, отметим, что максимин целесообразен, при расчетах только на самое плохое, что может быть; критерий Сэвиджа позволяет минимизировать убытки; фактор же риска обеспечивает реализацию высшего выигрыша. В качестве наиболее достоверного критерия успеха принимаемого технического решения может быть принят критерий Бернулли.

Детальный анализ имеющихся исследований и производственного опыта как ближнего, так и дальнего зарубежья позволяет выявить ряд специфических взаимосвязей и взаимозависимостей факторов и условий [7, 8]:

- с увеличением модуля деформации грунтов в естественном состоянии требуется уменьшение диаметра трамбовок, но не менее 1 м, так как в этом случае грунт разуплотняется с образованием зон выпора;

- при уплотнении грунтовых толщ большой мощности одновременно с увеличением диаметра трамбовки необходимо увеличивать ее массу и высоту сброса;

- наибольшая эффективность уплотнения достигается при оптимальных влажности и содержаниях глинистых частиц;

- чем однороднее грунт, тем эффективнее будет уплотнение при одних и тех же энергозатратах;

- увеличение массы трамбовки зачастую не обуславливает высокую степень уплотнения и однородность основания, с точки зрения равномерности распределения плотности по глубине;

– при увеличении энергии удара плотность грунта наиболее существенно увеличивается на начальном этапе уплотнения;

– качество уплотнения во многом определяется схемой расположения и расстояния между точками уплотнения, а также формой поверхности подошвы трамбовки.

Вывявленные взаимосвязи и взаимосвязи между диаметром ( $d_{тр}$ ) и массой ( $M$ ), исходной влажностью ( $w$ ), глубиной отпечатка ( $h_{отп}$ ), энергией удара ( $\sqrt{MgH}$ ), работой ( $A$ ) и числом ударов ( $n$ ), расстоянием между точками уплотнения ( $l$ ), соотношением плотностей сухого грунта ( $\rho_d^{фак} / \rho_d^{тр}$ ) и модулем деформации ( $E_0$ ) позволили определить оптимальный диапазон оптимальных конструктивно – технологических факторов (табл. 1).

Таблица 1

Рекомендуемый диапазон оптимальных конструктивно – технологических факторов уплотнения грунтовых оснований

№ п/п	Толщина уплотняемого слоя, $H_{уп}$ , м	Массы трамбовки $M$ , т	Диаметр трамбовки, $d_{тр}$ , м	Высота сброса $H$ , м	Число ударов по одному следу, $n$	Глубина отпечатка, $h_{отп}$ , м
1	до 2,2	до 2,5	до 1,2	6-8	12-14	0,6-0,8
2	2,2-2,5	2,5-3,5	1,2-1,6	6-8	12-14	0,6-0,8
3	2,5-3,5	3,5-5,5	1,6-1,8	6-8	12-14	0,7-0,8
4	3,5-4,8	5,5-6,5	1,8-2,0	6-8	12-14	0,8-0,9
5	4,8-6,9	6,5-10,0	2,0-2,4	8-10	10-12	0,8-0,9
6	>7,0	10,0-15,0	2,4-3,5	8-10	8-10	0,9-1,0

Все это позволяет отметить следующее [8, 9]:

– произвольный выбор конструктивных параметров тяжелых трамбовок и не учет технологических особенностей и закономерностей динамики уплотнения грунтов практически всегда приводит к удорожанию инженерной подготовки строительной площадки и не

позволяет достичь требуемого уплотнения грунтовых оснований при относительно приемлемых энергетических затратах;

– оптимизация размеров и форм подошвы трамбовок, а соответственно массы, высоты сбрасывания, расстояния между точками уплотнения, технология и организация производства работ требует полного и достоверного учета как инженерно – геологических условий, так и конструктивно – технологических параметров и сопутствующих им факторов;

– оптимальное проектное решение подготовки оснований в сложных грунтовых условиях требует применения систем автоматизированного проектирования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Швец, В.Б. Уплотнение грунтовых оснований тяжелыми трамбовками / В.Б. Швец // Росстройиздат, 1988 – 162 с.

2. Пойта, П.С. Оптимизация технологических параметров уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками / П.С. Пойта // Вестник БГТУ. Строительство и архитектура, 2003, №1, с. 109-110.

3. Пойта, П.С. Влияние физико – механических свойств уплотняемого грунта на оптимальный диаметр трамбовки / П.С. Пойта // В жур. «Строительство», Минск, 2003, №1-2, с. 243-247.

4. Клебанюк, Д.Н. Особенности процесса распределения давлений и напряжений при уплотнении неоднородных грунтовых оснований тяжелыми трамбовками / Д.Н. Клебанюк, А.Ю. Дроневиц, П.В. Шведовский, П.С. Пойта // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь : сб. тр. XVIII междунар. науч. – метод. семинара. – Новополоцк, 2012. – Т. II. – С. 239-244.

5. Клебанюк, Д.Н. Особенности методики выбора технологических параметров при уплотнении грунтовых оснований тяжелыми трамбовками / Д.Н. Клебанюк, П.С. Пойта // Вес. Брестского гос. техн. ун-та. Сер. Строительство и архитектура. – 2013. – №1. – С. 77-81.

6. Клебанюк, Д.Н. Пути совершенствования конструктивно – технологических параметров процесса уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками / Д.Н. Клебанюк, П.С. Пойта, П.В. Шведовский //

Геотехника Беларуси: наука и практика : материалы Междунар. науч. – технич. Конференции. – Минск, 2013. – Ч. II. – С. 109-120.

7. Пойта, П.С. Особенности формирования зоны уплотнения грунтов при уплотнении грунтового основания тяжелыми трамбовками / П.С. Пойта, П. В. Шведовский, Д.Н. Клебанюк // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь : сб. тр. XVIII междунар. науч. – метод. семинара. – Новополоцк, 2012. – Т. II. – С. 189-196.

8. Пойта, П.С. Влияние конструктивных параметров и особенностей формы подошвы тяжелых трамбовок на формирование свойств грунтов в зоне уплотнения / П.С. Пойта, П.В. Шведовский, Д.Н. Клебанюк // Вес. Брестского гос. техн. ун-та. Сер. Строительство и архитектура. – 2013. – №1. – С. 72-77.

9. Пойта, П.С. Особенности выбора оптимальной схемы размещения точек уплотнения грунтовых оснований тяжелыми трамбовками / П.С. Пойта, Д.Н. Клебанюк, П.В. Шведовский // Геотехника Беларуси: наука и практика : материалы Междунар. науч. – технич. Конференции. – Минск, 2013. – Ч. II. – С. 241-249.

УДК 624.15

## **КОНСТРУКЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФУНДАМЕНТОВ СООРУЖЕНИЙ XI-XVII ВЕКОВ**

**Корзаченко Н.**

В XI-XIII веках распространенным жильем были землянки, заглубленные в грунт на глубину от 0,5 до 1,8 м. Стены строили из досок, бревен расколотых пополам или делали по традиционной для Украины технологии домов-мазанок, для чего сооружали каркас из вбитых в землю вертикальных свай, выплетали их лозой, которую обмазывали глиной. Наземные дома строили из бревен в один или два этажа. Жилые дома имели размеры около 4 м на 4 м.

Если деревянные и глинобитные здания имели ограниченное время в эксплуатации и разрушались не только под воздействием неравномерных деформаций, но и за счет влияния природных фак-