

**ВЛИЯНИЕ ОГРАЖДАЮЩИХ СТЕНОК  
НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ  
ФУНДАМЕНТОВ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ****В.В. Леденев, Я.В. Савинов***Кафедра «Конструкции зданий и сооружений», ТГТУ**Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым*

**Ключевые слова и фразы:** нагрузка; ограждающая стенка; основание; перемещения; фундамент; штамп.

**Аннотация:** Приведены результаты лабораторных экспериментальных исследований с круглыми незаглубленными штампами на песчаном основании, усиленном полый стальной цилиндрической стенкой. Получены функции влияния глубины и диаметра стенки на несущую способность штампа и на перемещения окружающего грунта.

---

В [1 – 4] отмечалось положительное влияние различных стенок, ограждающих боковые деформации грунта. Устройство их является одним из эффективных конструктивных способов повышения несущей способности оснований и фундаментов. Такое решение может быть применено при возведении фундаментов в стесненных условиях, например, при реконструкции или при значительных нагрузках, когда размеры фундаментов становятся чрезмерно большими.

Отдельные вопросы взаимодействия системы стена-фундамент-грунт недостаточно исследованы. Необходима дополнительная информация, позволяющая уточнить имеющиеся предложения по расчету.

С этой целью проведены лабораторные эксперименты\* на воздушно-сухом песчаном основании, послойно уплотненном ручной трамбовкой до  $\rho = 1,58 \text{ г/см}^3$ . Подробные данные о характеристиках грунтов основания приведены в [5]. Моделью фундамента служили жесткие стальные штампы диаметром  $d_{st} = 20$  и  $36 \text{ см}$  ( $A_{st1} = 314 \text{ см}^2$ ;  $A_{st2} = 1018 \text{ см}^2$ ). Ограждающие стенки выполнены из оцинкованной стали  $d_{\omega} = 23, 30, 40, 45$  и  $50 \text{ см}$  ( $\bar{d}_{\omega} = d_{\omega} / d_{st} = 1,15; 1,5; 2; 2,25$  и  $2,5$ , где  $d_{st} = 20 \text{ см}$ ). Основными влияющими параметрами являются  $\bar{d}_{\omega}$  и  $\lambda_{\omega} = h_{\omega} / d_{\omega}$ , где  $h_{\omega}$  – заглубление стенки в основание.

Эксперименты проводили в стальном пространственном лотке размерами  $230 \times 170 \times 130 \text{ см}$ .

Применены две схемы исследований. В первой исследуемый параметр изменяли в течение одного опыта; во второй – от опыта к опыту. Нагрузку на штампы передавали гидравлическим домкратом через шарнир. Перемещения штампов измеряли индикаторами часового типа ИЧ-10, прикрепленными к независимой от лотка реперной раме.

---

\* При проведении отдельных экспериментов принимал участие асп. Ю.А. Клинков

**Влияние глубины погружения стенки. Определение сопротивления сдвигу по ее боковой поверхности.** В опытах принимали:  $d_{st}=20$  см;  $d_{\omega}=23$  см;  $h_{\omega_1}=15$  см;  $\lambda_{\omega}=e_0=0$ ;  $\bar{d}_{\omega}=1,15$ ;  $\lambda_{\omega_1}=0,5$ . В течение одного эксперимента максимальная нагрузка равнялась  $F_{1,max}=5$  кН ( $\sigma_{1,max}=0,069$  МПа), другого  $F_{T,max}=6$  кН ( $\sigma_{T,max}=0,083$  МПа) (см. табл.1, рис.1).

Испытания выполняли в следующей последовательности: штампы нагружали ступенями до 5 и 6 кН. После выдержки в течение 30 мин ограждающую стенку с помощью специальной установки подняли на 5 см ( $h_{\omega_T}=10$  см;  $\lambda_{\omega_T}=0,435$ ). Вследствие этого нагрузки на штампы снизились до 3,5 кН ( $\sigma_T=0,045$  МПа) и 4 кН ( $\sigma_T=0,055$  МПа). Осадки возросли соответственно на 0,37 и 0,61 мм. Нагрузку увеличили до первоначального значения 5 и 6 кН. Осадка штампов возросла на 0,41 и 0,35 мм соответственно.

После выдержки этих нагрузок ограждающую стенку подняли еще на 5 см ( $h_{\omega_3}=5$  см;  $\lambda_{\omega_3}=0,218$ ). Осадки возросли на 1,4 и 1,6 мм. Нагрузка снизилась до 4 кН ( $\sigma_3=0,055$  МПа) и 4,3 кН ( $\sigma_3=0,059$  МПа). Ее увеличили до первоначального значения 5 и 6 кН. Осадки возросли на 1,4 и 1,46 мм. При полном поднятии кольца ( $h_{\omega_4}=0$ ) нагрузка на штамп снизилась до 4 кН ( $\sigma_4=0,05$  МПа) и 5 кН ( $\sigma_4=0,069$  МПа). Осадки возросли на 0,60 и 0,61 мм.

Исследование перемещений стенки показало, что при постепенном увеличении выдергивающей нагрузки до достижения пикового значения  $F_f$  ( $s_f=2$  мм) перемещения протекали с постепенно возрастающей скоростью. Дальнейшее увеличение перемещений сопровождалось падением нагрузки до остаточного значения  $F_r=0,6F_f$ . Результаты одного из опытов первой серии приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Сопротивление сдвигу грунта по ограждающей стенке при ее подъеме**

Операция	$h_{\omega}$ , мм	$\sigma$ , МПа	$s$ , мм	$\tau_{exp}$ , МПа	$\tau_{теор}$ , МПа
Нагрузка	150	0,069	1,25	–	–
Подъем кольца	150→100	0,048	1,62	0,00169	0,00267
Догрузка	100	0,069	2,03		
Подъем кольца	100→50	0,055	2,4	0,00165	0,00259
Догрузка	50	0,069	3,8		
Подъем кольца	50→0	0,055	4,4	0,00157	0,00254

Во втором опыте (табл. 2) средние напряжения при подъеме кольца соответственно равнялись 4,6; 3,3 и 2,8 кПа.

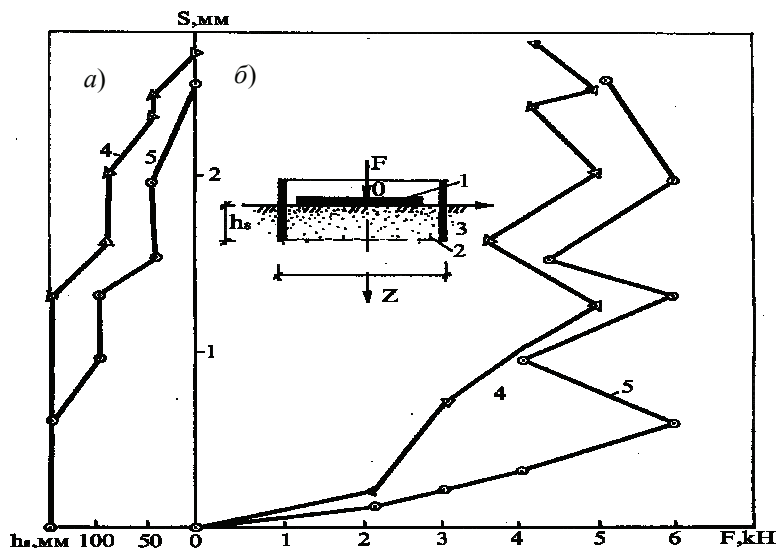


Рис. 1 График зависимости между осадкой штампа (а), нагрузкой на штамп  $F_{st}$  (б) и заглублением кольца  $h_0$  :

1 – штамп  $d_{st} = 20$  см; 2 – песчаное основание; 3 – ограждающее кольцо;  
4 – опыт при  $F_{max} = 5$  кН; 5 – опыт при  $F_{max} = 6$  кН

Таблица 2

Средние величины сопротивлений сдвигу кольца  $\varnothing 43$  см

при вдавлении кольца на (см)	5	10	15
$\tau_{соот}$ (кПа)	3	3	5
при выдергивании кольца $\tau_{pl}$ (кПа)	0,2	0,6	0,7

Во второй серии экспериментов определяли зависимость  $F_u(h_0)$  при  $\bar{d}_0 = 1,5$ ;  $\lambda = 0, 0,25, 0,33$  и  $0,66$  путем сравнения результатов отдельных опытов (рис. 2, а). Получена эмпирическая формула вида:

$$F_u(h_0) = 3,1\tau \cdot 1,008^{h_0}. \quad (1)$$

В третьей серии опытов исследовали функцию  $F_u(\bar{d}_0)$  при  $\lambda = 1$  и  $\bar{d}_0 = 1, 1,5, 1,7$  и  $2,5$ . В опыте с  $\bar{d}_0 = 1$  подъем стенки и несущая способность основания штампа несколько снижалась. При  $\bar{d}_0 = 1,5$  отмечено максимальное значение  $F_u$  (рис. 2, б и 3), а штамп и стенка работали как единое целое. Влияние стенки  $\bar{d}_0 \geq 1,5$  представлено формулой

$$F_u(\bar{d}_0) = 7,93(\bar{d}_0)^{-7,15}. \quad (2)$$

Влияние  $\lambda_0$  и  $\bar{d}_0$  может быть учтено формулой

$$F_{u,\lambda_0,\bar{d}_0} = F_u \cdot \Phi_{\lambda_0} \cdot \Phi_{\bar{d}_0}, \quad (3)$$

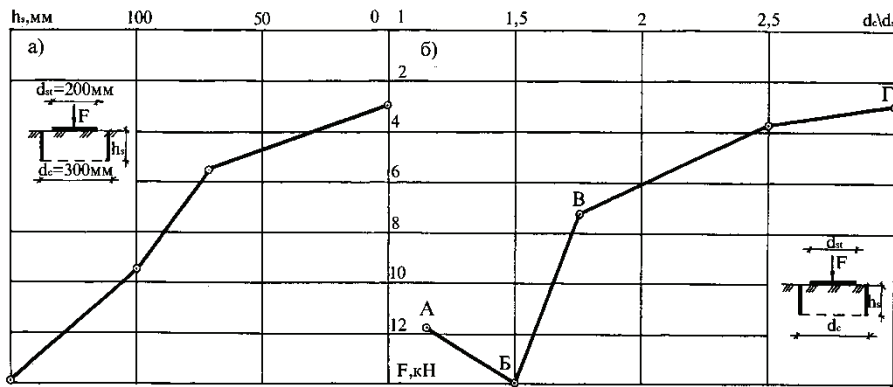


Рис. 2 Зависимость несущей способности штампа от величины заглубления ограждающей стенки  $h_0$  (а) и от относительного диаметра ограждающей стенки  $d$  (б)

где  $F_u$  – несущая способность жесткого незаглубленного штампа при отсутствии ограждающей стенки;  $\Phi_{\lambda_0}$  и  $\Phi_{d_0}$  – функция влияния заглубления и диаметра кольца.

**Боковые давления грунта на стенку.** При  $F_{st} = 0$  давление снаружи и внутри может быть определено как

$$\sigma_x(z) = \gamma_z \xi,$$

где  $\xi$  – коэффициент бокового давления, зависящий от вида и состояния грунта, способа и степени его уплотнения.

При  $F_{st} > 0$  возникает дополнительное распорное давление  $\sigma_{R_z}(\bar{d}_0, \lambda_0)$  на внутреннюю поверхность стенки (рис. 4, а). Кольцевые усилия на единицу высоты стенки

$$F_\theta(z) = \sigma_{R_z} \cdot R_0. \quad (4)$$

Боковое давление грунта от послойного уплотнения до  $1,58 \text{ г/см}^3$  воздушно сухого мелкозернистого песка при  $\lambda = 0,5$  и  $0,75$  получено равным  $0,27$  и  $0,38 \text{ Н/см}^2$ . Давление измеряли динамометрами ДОСМ-3-0,2. Вертикальное давление на этих глубинах соответственно равно  $0,14$  и  $0,21 \text{ Н/см}^2$ .

Ограждающая стенка оказывает значительное влияние и на перемещения рядом расположенных фундаментов. Для получения количественных данных поставлен эксперимент в лотке размером  $200 \times 170 \times 130$  (h) см с использованием нагружаемого штампа  $d_{st} = 36$  см и ограждающих кольца с  $d_0 = 45$  см ( $\bar{d}_0 = 1,25$ ),  $h_0 = 15$  см. Плотность песка внутри кольца и за его пределами оставалась постоянной и равной  $1,58 \text{ г/см}^3$ .

В центре кольца на поверхности ( $\lambda_{st} = 0$ ) устанавливали нагружаемый, а на расстоянии 5, 10 и 15 см от кольца – ненагружаемые стальные штампы диаметром 15 см. Нагрузку на штамп увеличивали ступенями до 6 кН, затем полностью разгружали. После выдержки в течение 30 мин глубину заделки кольца уменьшали до 10 см и снова нагрузили ступенями до 6 кН с последующей разгрузкой. Далее уменьшили глубину заделки кольца до 5 см, нагрузили штамп до 6 кН и после выдержки разгрузили. Затем ограждающее кольцо удалили и штамп нагрузили до 6 кН. При этих операциях измеряли осадки и крены ненагружающих штампов (рис. 5).

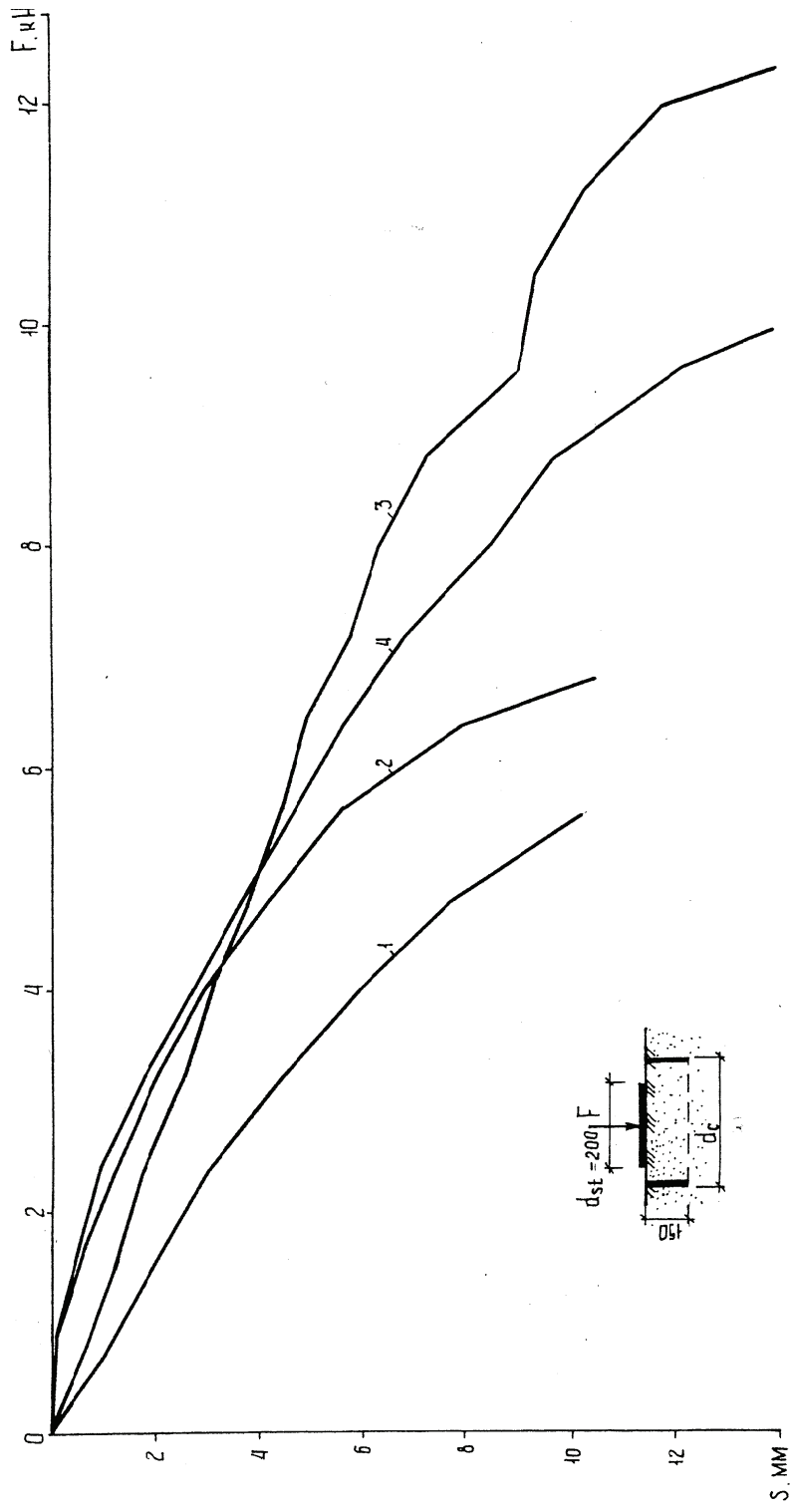


Рис. 3 Зависимость осадки штампа от нагрузки при высоте кольца 150 мм и диаметрах  $d_0$  :

1 – 4Т; 2 – 35; 3 – Т3; 4 – 30 см

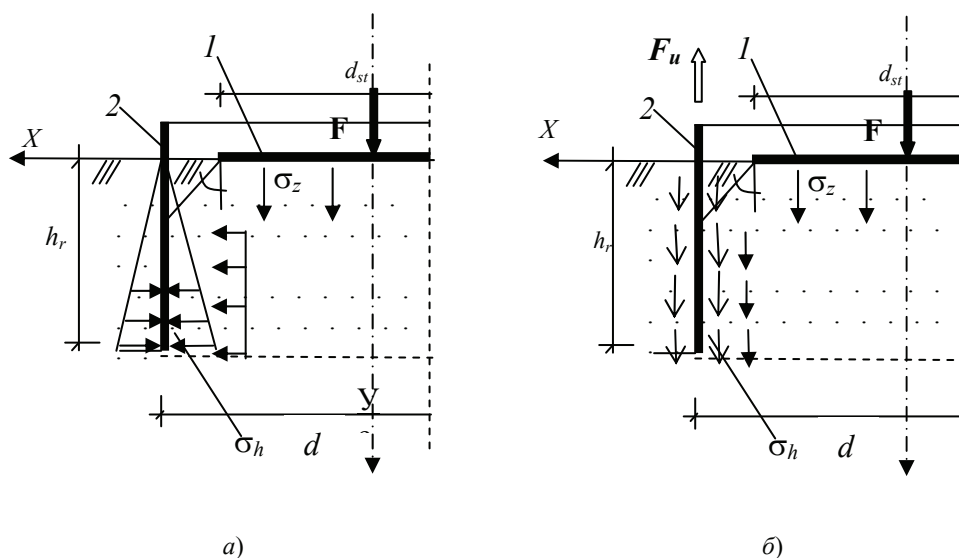


Рис. 4 Схемы давления грунта на ограждающую стенку при вдавливании штампа (а), вдавливании штампа и выдергивании кольца (б)

В течение всех этапов испытания ненагруженные штампы, удаляемые от ограждающего кольца на 10 и 15 см, перемещались вверх, а удаленный на 5 см при заглублении кольца на 10,5 и 0 см перемещался вверх. При заглублении на 15 см передний край опускался, а задний поднимался.

Из рис. 5 видно, что при  $h_{\text{о}} \geq 15$  см перемещения ненагружаемых штампов незначительны; при  $h_{\text{о}} < 10$  см перемещения возрастали по мере уменьшения  $h_{\text{о}}$ .

Максимальное боковое давление смещается на глубину  $1,5R$  (рис. 6), в то время как при отсутствии стенки оно проявляется на глубине  $0,7R$ .

Проведена серия опытов по изучению влияния плоских гибких вертикальных стенок на перемещения круглого незаглубленного штампа  $d_{st} = 36$  см. По полученным эпюрам осадок штампа для разно удаленных (на  $l_{st} = 0,8; 22$  и  $43$  см) стенок сделали заключения о величинах кренов  $i_{st} = f(F_{st}, l_{st})$ . Ранее [4] проведены эксперименты с плоскими жесткими вертикальными стенками, расположенными с одной и двух сторон. Получена зависимость  $F_{u_{st}} = f(l_{st})$ .

## Выводы

1. Устройство в основании фундаментов мелкого заложения ограждающих стенок из бетона, железобетона, листовой стали, арматурных сеток, синтетических тканей ограничивает боковые деформации грунта. Вследствие этого многократно повышается несущая способность основания фундамента и уменьшаются его перемещения.
2. Применение ограждающих стенок является в ряде случаев (при реконструкции и надстройке, строительстве на слабых грунтах или в стесненных условиях и др.) эффективным конструктивным решением.
3. Ограждающие стенки значительно снижают взаимное влияние рядом расположенных фундаментов, гасят колебания, распространяющиеся в грунте.

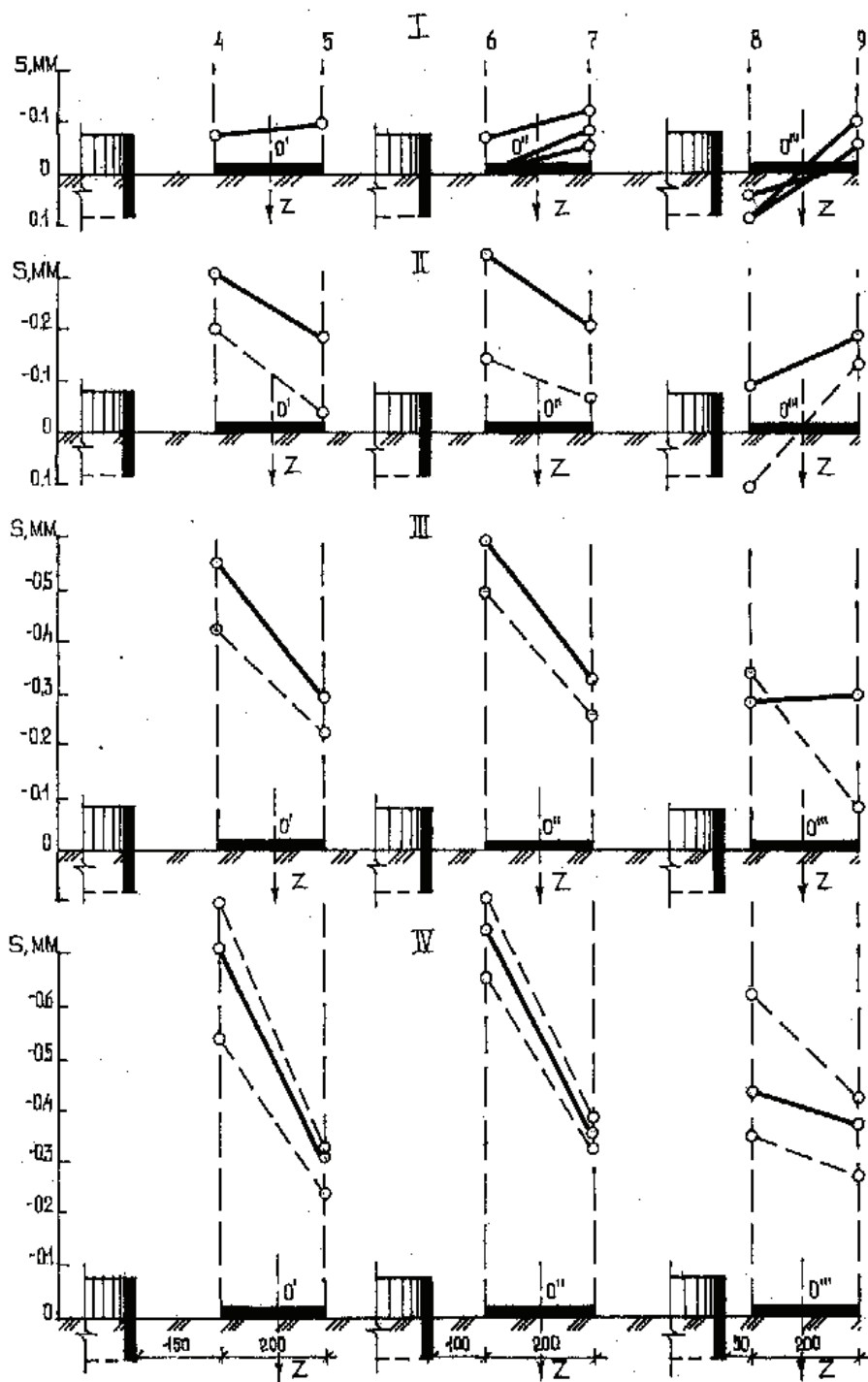


Рис. 5 Вертикальные перемещения концов ненагруженных штампов по показаниям индикаторов 4-9 при заглублении ограждающего кольца на  $h$ , (см):  
 I – 15; II – 10; III – 5; IV – при снятии кольца

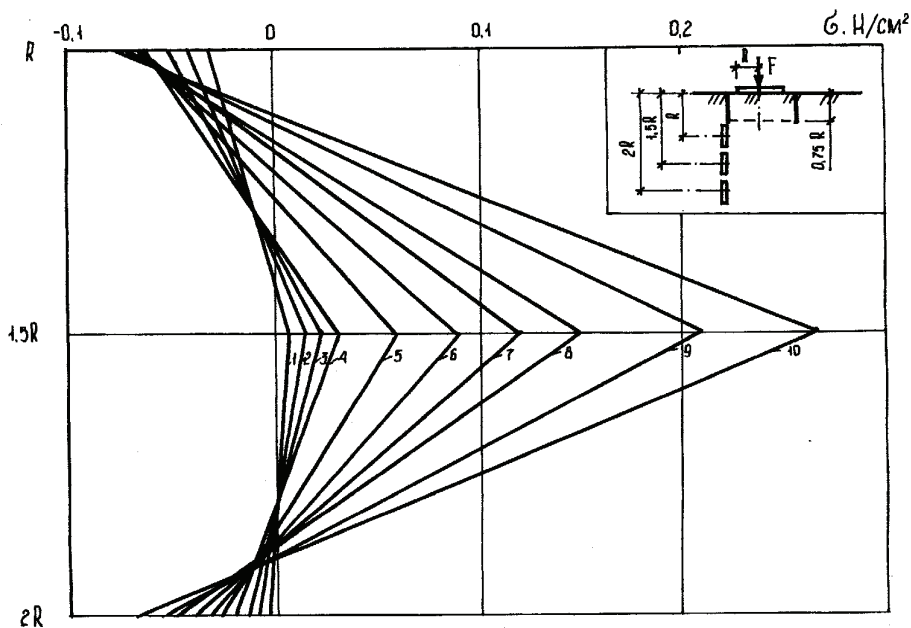


Рис. 6 Зависимость бокового давления грунта на вертикальные штампы от нагрузки  $F_{st}$  (кН):

1 – 2; 2 – 4; 3 – 6; 4 – 8; 5 – 10; 6 – 12; 7 – 14; 8 – 16; 9 – 18; 10 – 20

#### Список литературы

1. Мурзенко Ю.Н., Борликов Г.М. Экспериментальные исследования фундамента с песчаной подушкой в цилиндрической оболочке // В кн.: Экспериментальные исследования инженерных сооружений. – Новочеркасск: НПИ, 1969. – С. 124-134.
2. Розенwasser Г.Р., Ольмезов В.И., Сонжаров Ю.А. Исследование нормальных давлений на стены заглубленных сооружений // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1980. - №3. – С. 8-11.
3. Сотников С.Н., Симагин В.Г., Вершинин В.П. Проектирование и возведение фундаментов вблизи существующих сооружений. – М.: Стройиздат, 1986.
4. Леденев В.В. Прочность и деформативность оснований заглубленных фундаментов. – Воронеж: ВГУ, 1990. – 224 с.
5. Евдокимцев О.В. Влияние повторности нагружения на перемещения и несущую способность основания: Дисс. ... канд. техн. наук. – Волгоград, 2001. – 156 с.

### The Influence of Fence Walls on the Carrier and Replacement of Shallow Foundation

V.V. Ledenev, Ya.V. Savinov

Department "Construction of Buildings and Structures", TSTU

**Key words and phrases:** load; replacement; fence wall; basement; foundation; die.



**Abstract:** The results of laboratory experimental research with round not deep dies on sand basement, strengthened with empty steel cylinder wall are given. The functions of depth influence and wall diameter on the die carrier and replacement of surrounding soil are obtained.

---

**Einwirkung der beschützenden Wände auf die tragende Fähigkeit  
und die Umstellung von Fundamenten der kleinen Anlegung**

**Zusammenfassung:** Es sind die Ergebnisse der experimentellen Laboruntersuchungen mit runden nicht vertieften Stanzen auf Sandgrund, der mit der Seite der stählernen zylindrischen Wand verstärkt ist, angegeben. Es sind die Funktionen der Einwirkung der Tiefe und des Durchmessers der Wand auf die tragende Fähigkeit der Stanze und auf die Umstellung des umfassenden Grundes bekommen.

---

**Influence des parois protégeantes sur la capacité porteuse  
et sur le déplacement des fondements du petit écartement**

**Résumé:** On a cité les résultats des études expérimentales de laboratoire avec les étampes rondes sans terrage sur le sol du sable, renforcé par une paroi cylindrique en acier. On a reçu les fonctions de l'influence de la profondeur et du diamètre de la paroi sur la capacité porteuse de l'étampe et sur le déplacement du sol de l'environnement.

---