

*И.И. Бекбасаров<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Таразский государственный университет им. М.Х.Дулати,  
г.Тараз, Казахстан

---

## ГЛИНОПЕСЧАНЫЕ СМЕСИ В КАЧЕСТВЕ МАТЕРИАЛА ДЛЯ УСТРОЙСТВА ГРУНТОВЫХ ПОДУШЕК

---

**Аннотация.** Целью исследований являлась экспериментальная оценка показателей уплотняемости глинопесчаных смесей в приборе стандартного уплотнения. Проведены испытания суглинка, а также смесей суглинка и крупного песка при постоянном, двухступенчато-возрастающем, многоступенчато-возрастающем и линейно-возрастающем режимах нанесения ударов по опытным образцам. Установлено, что добавка песка в суглинок от 5 до 30% по массе снижает сжимаемость (деформируемость) смесей до 6%, увеличивает их динамическую сопротивляемость почти в 2 раза и повышает плотность до 12,5%. Наибольший эффект уплотнения глинопесчаных смесей проявляется при линейно-возрастающем и многоступенчато-возрастающем режимах приложения ударной нагрузки. Между плотностью глинопесчаной смеси и плотностью суглинка существует корреляционная зависимость с высокой величиной достоверности аппроксимации экспериментальных данных. Важность результатов исследований состоит в том, что глинопесчаные смеси, состоящие из суглинка и крупного песка (с содержанием песка до 20-30%) могут быть успешно использованы в качестве материала для грунтовых подушек. При этом для их послойного уплотнения в теле подушек рекомендуется использовать линейно-возрастающий или многоступенчато-возрастающий режимы приложения ударной нагрузки. В мировой геотехнической практике подобные исследования не проводились.

**Ключевые слова:** суглинок, песок, удельная энергоемкость грунта, высота образца, динамическое сопротивление.

• • •

**Түйіндеме.** Зерттеу мақсаты стандартты тығыздау құралында топырақ-құмды қоспаның тығыздалу көрсеткіштерін эксперименталдық бағалау болып табылады. Тәжірибелік үлгілерге соққы жасаудың тұрақты, екі са-

тылы-ұлғаю, көп сатылы-ұлғаю және тіксызықтық-ұлғаю режимдерінде саздақтың, саздақ пен ірі құм қоспасының зерттеулері орындалды. Саздаққа құмды салмағынан 5-30% көлемде енгізу қоспаның сығылуын (деформацияға ұшырауын) 6% дейін төмендететіні, оның динамикалық төзімділігін 2 есе арттыратынын және тығыздығы 12,5% дейін жоғарылататыны анықталды. Топырақ-құмды қоспалардың ең үлкен тығыздалу тиімділігі соққы жүктемесінің тіксызықтық-ұлғаю және көп сатылы-ұлғаю режимдері кезінде орын алатыны байқалды. Топырақ-құмды қоспаның тығыздығы мен саздақтың тығыздығы арасында эксперименталдық мәндердің аппроксимация дәлдігінің жоғары корреляциялық байланысы бар. Зерттеу нәтижелерінің маңыздылығы - саздақ пен ірі құмнан құралған топырақ-құмды (құмның мөлшері 20-30% дейін) қоспалар топырақтан жасалған жастықшалардың материалы ретінде пайдалануға жарамдылығын негіздеу болып табылады. Жастықша құрамында оларды қабаттап тығыздау үшін соққы жасаудың тіксызықтық-ұлғаю немесе көп сатылы ұлғаю режимдерін пайдалану ұсынылады. Әлемдік геотехникалық тәжірибеде мұндай зерттеулер әлі орындалмаған.

**Түйінді сөздер:** саздақ, құм, қоспа, соққы, режим, тығыздық, меншікті энергия сыйымдылық, үлгі биіктігі, динамикалық кедергі.

• • •

**Abstract:** The aim of the studies was an experimental evaluation of the sealability of clay mixtures in a standard seal device. Tests of loam, as well as mixtures of loam and coarse sand were carried out at constant, two-step-increasing, multistage-increasing and linearly increasing regimes of striking on experimental samples. It is established that the addition of sand to the loam from 5 to 30% by weight reduces the compressibility (deformability) of mixtures to 6%, increases their dynamic resistance by almost 2 times and increases the density to 12.5%. The greatest effect of densification of clay-sand mixtures is manifested with a linearly increasing and multistage-increasing modes of applying a shock load. Between the density of the clay-sand mixture and the density of loam there is a correlation dependence with a high value of the reliability of the approximation of the experimental data. The importance of the research results is that the mixture of clay sand, consisting of loam and coarse sand (with a sand content of up to 20-30%) can be successfully used as a material for soil cushions. At the same time, for their layer-by-layer compaction in the body of the cushions, it is recommended to use a linearly increasing or multistage-increasing modes of applying the shock load. In the world geotechnical practice, such studies have not been conducted.

**Keywords:** clay mixtures, ground cushion, loam density, clay mixtures as a material for the installation of soil cushions.

**Введение.** Традиционно грунтовые подушки, которые применяются в качестве искусственных оснований зданий и сооружений, возводятся из одного вида грунта и однородного по свойствам состава. Как известно, глинистые и песчаные грунты, используемые как материал для подушек, существенно отличаются друг от друга. Так, глинистые грунты характеризуются пластическими свойствами (зависящими от густоты и вязкости), а также малыми размерами (0,01-5 мкм) и разнообразной формой твердых минеральных частиц. Песчаные же грунты в свою очередь, обладают сыпучестью и нераскатываемостью, а также компактной формой и крупными размерами частиц (0,005-2 мм). Специфические свойства, особенности строения и состава связных и сыпучих грунтов являются причинами их неодинакового поведения при различных силовых воздействиях, особенно при действии динамических нагрузок [1].

Учитывая природные различия глинистых и песчаных грунтов, предложено искусственно создавать глинопесчаные (глинистые грунты с добавками песка), и песчаноглинистые смеси (песчаные грунты с добавками глинистого грунта). В основу данного предложения положена идея использования песков для изменения свойств глинистых грунтов, а глинистых грунтов - для изменения свойств песков. Дополнительным поводом для формирования такого подхода послужили данные, представленные в работе [2], которые свидетельствуют о том, что даже небольшая добавка к мелким песчаным частицам глинистых частиц (в объеме 1-3%) изменяет суммарную поверхность всех частиц грунта в сотни и тысячи раз, и ведет к резким качественным изменениям его свойств. Следовательно, противоположные качественные изменения в грунтах можно ожидать и при добавке к глинистым частицам песчаных частиц. Для выявления достоверности этих предположений и получения количественных доказательств тех или иных изменений в свойствах глинистых грунтов при дозированном внесении в них твердых частиц песков в геотехнической лаборатории Таразского государственного университета им. М.Х. Дулати с 2015 г. проводятся соответствующие комплексные исследования.

Изучению свойств разнородных смесей в сфере геотехнического строительства посвящен ряд работ зарубежных и отечественных специалистов. Так Левченко А.В. и Путиным Е.И. [3] были выполнены экспериментальные и полевые работы по улуч-

шению свойств переувлажнённых глинистых грунтов путем их перемешивания с известью в количестве 1-4% от веса грунта. Выявлено, что добавка извести в количестве 2% в водонасыщенный суглинок приводит к увеличению его угла внутреннего трения на  $4^{\circ}30'$  -  $8^{\circ}10'$  и удельного сцепления в 1,4-1,5 раза. Жакулиным А.А. проведены исследования по устройству оснований из двух глинистых грунтов (суглинка и супеси) путем их уплотнения самоходными катками [4]. В данной работе экспериментально определено, что наиболее оптимальным составом глинистой смеси для укладки в качестве грунтового основания является состав, в котором суглинок составляет 25% , а супесь -75%. Такой состав смеси обладает достаточным сцеплением и обеспечивает достижение максимальной плотности при минимальном количестве проходов катка. Учёным Соганчин Али Синаном проведены лабораторные исследования по изучению прочностных характеристик шинно-песчаных смесей [5]. Установлено, что сопротивление на сдвиг таких смесей выше, чем сопротивление песка, и, что добавка шинной крошки в него до 20% (по массе) приводит к увеличению угла внутреннего трения смеси до  $47^{\circ}07'$ . В Казахстане, учёными Шаншабаевым Н.А., Усенбаевым Б.У. и Турлыбаевой Б. проведены работы по оценке показателей уплотняемости песчано-фосфогипсовых смесей на основе стандартных испытаний [6]. Выявлено, что добавка в крупный песок фосфогипса - отхода деятельности фосфорных заводов Жамбылской области, в количестве 10-30% по массе, вызывает уменьшение максимальной плотности смеси в сухом состоянии на 14-16% и обеспечивает увеличение ее оптимальной влажности в 1,22-1,25 раз. В Пермском национальном исследовательском политехническом университете проводились лабораторные исследования с образцами песчаного грунта армированного полипропиленовыми волокнами (фибрами) [7]. Было выявлено, что увеличение содержания фибр от 0,5 до 1% по массе вызывает увеличение угла внутреннего трения фибропесчанной смеси соответственно в 1,12-1,22 раза и удельного сцепления - соответственно в 3,35 - 3,75 раза.

В исследованиях, проведенных специалистами, изучались различные смеси из природных грунтов и негрунтовых материалов. Из смесей природных грунтов рассматривались только смеси из суглин-

ка и супеси. Следовательно, предложенные глинопесчаные смеси, являются не исследованными объектами и, вызывают актуальный интерес для изучения и практического использования.

Учитывая, что эффективность устройства грунтовых подушек, определяется механической уплотняемостью их материала, на первом этапе **целью исследований** являлась экспериментальная оценка показателей уплотняемости образцов глинопесчаных смесей при различных режимах приложения ударной нагрузки в лабораторных условиях. Обобщенные и сравнительные результаты экспериментов представлены в настоящей работе.

**Характеристика опытных образцов и методика исследований.** Грунтовые образцы изготавливались из суглинка, а также суглинка с добавками крупного песка в количестве 5, 10, 15, 20 и 30% по массе. Масса всех опытных образцов в экспериментах принималась одинаковой и равной 1,0 кг. Опыты проводились при оптимальной влажности суглинка, равной 21,96 и оптимальной влажностью песка, равной 12,36%. Сведения о физических характеристиках суглинка приведены в табл. 1. Средневзвешенная влажность глинопесчаных смесей составляла 21,48, 21,0, 20,52, 20,04 и 19,08 % соответственно при добавке песка в 5, 10, 15, 20 и 30% по массе.

Таблица 1

**Физические характеристики суглинка**

Наименование грунта	Влажность на границе текучести $W_L$ , %	Влажность на границе раскатывания $W_p$ , %	Число пластичности $I_p$	Показатель текучести $I_L$
Суглинок тугопластичный	26,32	19,04	7,28	0,401

В опытах использовался усовершенствованный прибор стандартного уплотнения [8]. Масса ударника прибора составляла 2,5 кг. Количество ударов по каждому образцу равнялось 72. Уплотнение образцов в приборе производилось при следующих че-

тырех режимах приложения ударной нагрузки (рис.1): постоянном (ПР); двухступенчато-возрастающем (ДСВР); многоступенчато-возрастающем (МСВР); линейно-возрастающем (ЛВР).

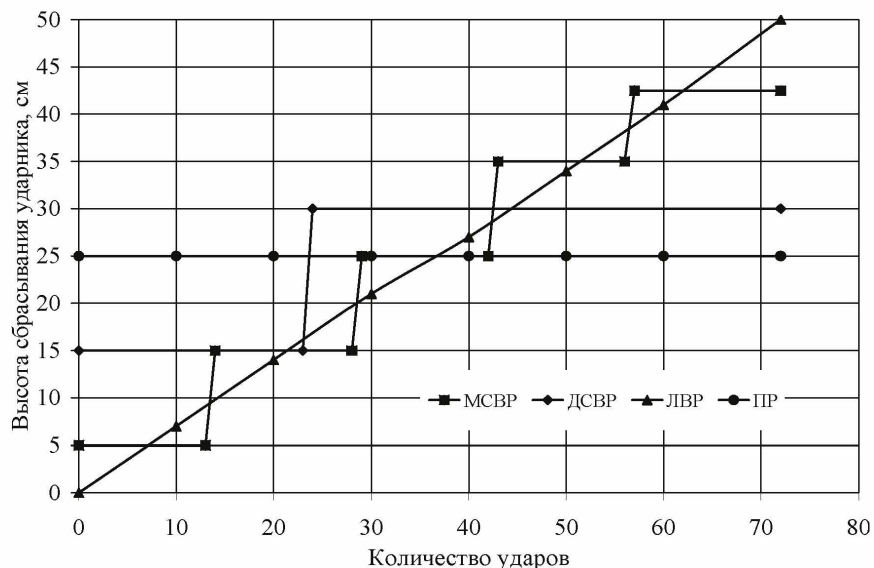


Рис. 1 Режимы приложения ударной нагрузки

Высота сбрасывания ударника при указанных режимах уплотнения подбирались исходя из условия обеспечения постоянства суммарной энергии ударов по каждому образцу.

Уплотняемость опытных образцов оценивалась следующими показателями:

- коэффициентом уменьшения высоты образца  $k_h$  (в виде отношения глубины понижения поверхности образца, после уплотнения, к его высоте до уплотнения в процентах);
- удельной энергоемкостью уплотнения образца  $E_v$  (в виде отношения суммарной энергии всех ударов ударника на объем уплотнения образца);
- плотностью  $\rho_d$  суглинка и глинопесчаной смеси в сухом состоянии;

- силой динамического сопротивления  $R_d$  суглинка и глинопесчаной смеси, соответствующей концу процесса уплотнения образцов и определяемой по формуле (1).

$$R_d = [QH_s (1 - k) - QH_o - (q_n + q_s) \Delta h] \Delta h, \quad (1)$$

где  $Q$  - вес ударника, кН;

$H_s$  - высота сбрасывания ударника (в конце процесса уплотнения образца), м;

$k$  - коэффициент, определяющий долю конструктивного трения от веса ударника при скольжении ударника по направляющему стержню прибора уплотнения [8];

$H_o$  - высота отскока ударника от наковальни после удара (в конце процесса уплотнения образца), м;

$q_n$  - вес наковальни прибора уплотнения, кН;

$q_s$  - вес направляющего стержня прибора уплотнения, кН;

$\Delta h$  - глубина понижения поверхности образца от удара ударника (в конце процесса уплотнения образца), м.

**Результаты исследований.** Результаты испытаний образцов представлены на рис. 2-5. Как видно (рис. 2) добавка песка в суглинок в количестве 5-30% от общей массы вызывает снижение коэффициента  $k_n$ :

- на 0,47-5,56% при постоянном режиме приложения ударной нагрузки;

- на 0,45-5,45% при двухступенчато-возрастающем режиме приложения ударной нагрузки;

- на 2,0-6,0% при многоступенчато-возрастающем режиме приложения ударной нагрузки;

- на 1,06-3,55% при линейно-возрастающем режиме приложения ударной нагрузки

Наибольшие значения коэффициента  $k_n$  характерно для образцов суглинка и глинопесчаных смесей, уплотненных при линейно-возрастающем режиме приложения ударной нагрузки. Так, коэффициент  $k_n$  при данном режиме для образца суглинка составил 52%, а для глинопесчаных смесей при 5-30% содержании песка - соответственно 50,94, 50,0, 49,51, 49,0 и 48,45%. Наименьшие значения данного коэффициента имеют место для образцов, испытанных при постоянном режиме приложения нагрузки.

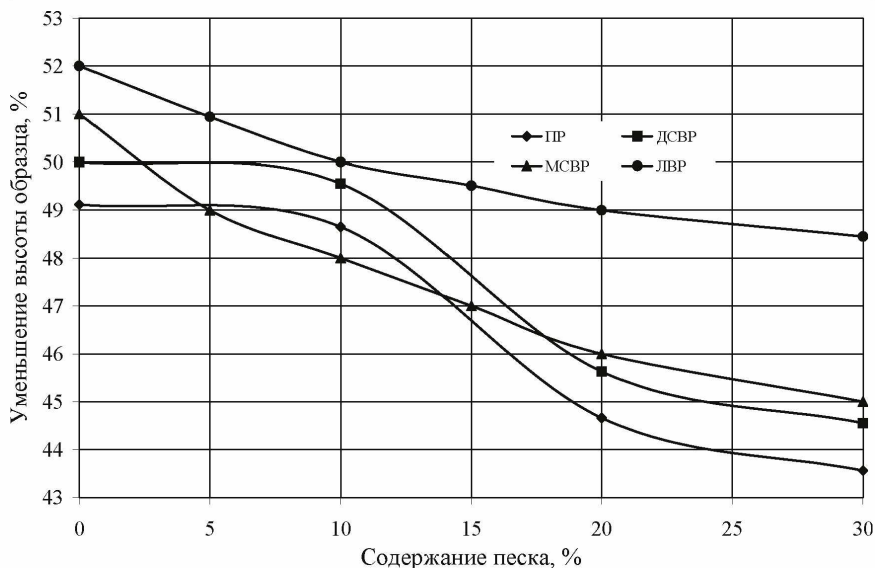


Рис. 2 Изменение коэффициента  $k_n$  по мере увеличения содержания песка в суглинке

Удельная энергоёмкость уплотнения образцов с увеличением добавки песка в суглинок при постоянном и двухступенчато-возрастающем режимах приложения ударной нагрузки снижается от 1,0 до 0,65 Дж/см<sup>3</sup>, а при многоступенчато-возрастающем и линейно-возрастающем режимах приложения ударной нагрузки - наоборот повышается от 1,08 до 1,27 Дж/см<sup>3</sup> (рис.3). В целом добавка песка в суглинок от 5 до 30% соответственно сопровождается:

- уменьшением удельной энергоёмкости  $E_v$  на 0,15-0,32 Дж/см<sup>3</sup> (или на 15,432,9%) при постоянном режиме приложения ударной нагрузки;

- уменьшением удельной энергоёмкости  $E_v$  на 0,13-0,29 Дж/см<sup>3</sup> (или на 13,029,0%) при двухступенчато-возрастающем режиме приложения ударной нагрузки;

- увеличением удельной энергоёмкости  $E_v$  на 0,02-0,18 Дж/см<sup>3</sup> (или на 1,9-17,6%) при многоступенчато-возрастающем режиме приложения ударной нагрузки;



- увеличением удельной энергоемкости  $E_v$  на 0,01- 0,19 Дж/см<sup>3</sup> (или на 0,9-17,5%) при линейно-возрастающем режиме приложения ударной нагрузки.

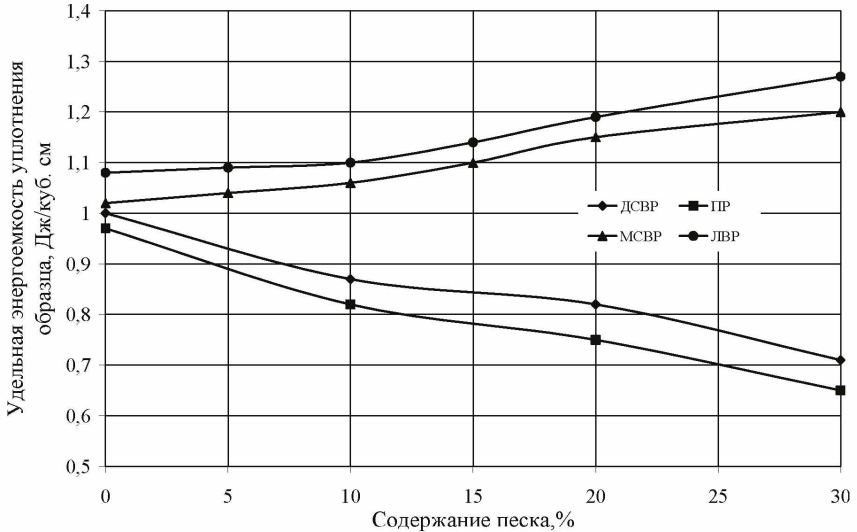


Рис.3 Изменение удельной энергоемкости  $E_v$  по мере увеличения содержания песка в суглинке.

Из представленных результатов исследований следует, что эффективность ударов по опытным образцам, наиболее высока при многоступенчато-возрастающем и линейно-возрастающем режимах приложения ударной нагрузки. К тому же при этих режимах для глинопесчаных образцов эффективность ударов тем выше, чем больше в них содержание песка.

Сила динамического сопротивления  $R_d$  образцов (соответствующая концу процесса уплотнения) с увеличением содержания песка в суглинке повышается (рис.4). Так добавка песка в суглинок от 5 до 30% приводит к увеличению силы динамического сопротивления  $R_d$  соответственно:

- на 3,5-20,97 Н (или в 1,12-1,71 раза) при постоянном режиме приложения ударной нагрузки;

содержание песка в суглинке:  
 - на 3,57-21,03 Н (или в 1,11-1,65 раза) при двухступенчато-возрастающем режиме приложения ударной нагрузки;  
 - на 2,37-26,56 Н (или в 1,07-1,80) при многоступенчато-возрастающем режиме приложения ударной нагрузки;  
 - на 2,93-39,85 Н (или в 1,07-1,98) при линейно-возрастающем режиме приложения ударной нагрузки.

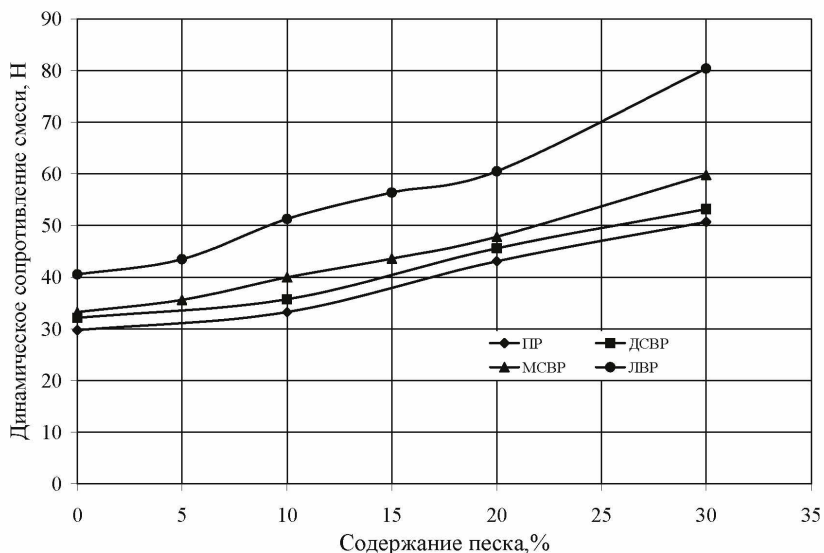


Рис.4 Изменение силы динамического сопротивления  $R_d$  по мере увеличения содержания песка в суглинке

- на 0,05-0,14 т/м<sup>3</sup> (или на 3,1-8,7%) при двухступенчато-возрастающем режиме приложения ударной нагрузки;  
 - на 0,03-0,19 (или на 1,8-11,4%) при многоступенчато-возрастающем режиме приложения ударной нагрузки;  
 - на 0,01-0,22 (или на 0,5-12,5%)

Как видно высокой сопротивляемостью удару обладают глинопесчаные образцы с более высоким содержанием песка. Причем данная закономерность наиболее ярко проявляется при линейно-возрастающем режиме приложения ударной нагрузки.

Плотность глинопесчаных смесей в сухом состоянии  $\rho_d$  повышается с увеличением в них содержания песка (рис.5) Так добавка песка в суглинок вызывает увеличение плотности смесей в сухом состоянии:

- на 0,04-0,14 т/м<sup>3</sup> (или на 2,5-8,8%) при постоянном режиме приложения ударной нагрузки;
- на 0,05-0,14 т/м<sup>3</sup> (или на 3,1 -8,7%) при двухступенчато-возрастающем режиме приложения ударной нагрузки;
- на 0,03-0,19 (или на 1,8-11,4%) при многоступенчато-возрастающем режиме приложения ударной нагрузки;
- на 0,01-0,22 (или на 0,5-12,5%) при линейно-возрастающем режиме приложения ударной нагрузки.

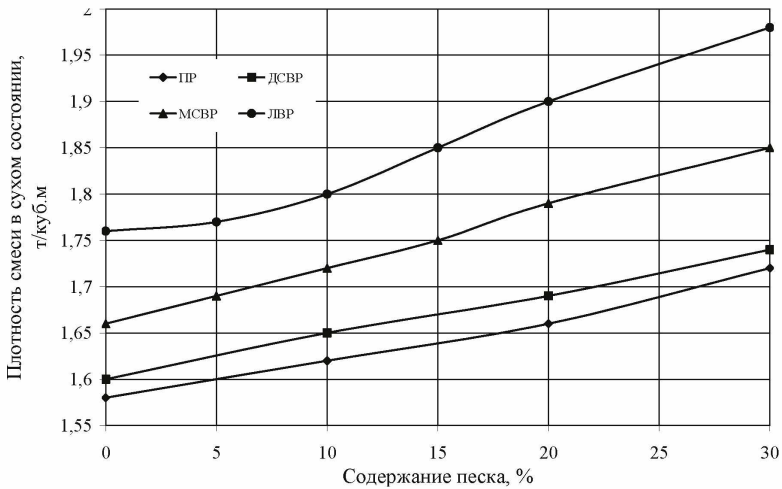


Рис. 5 Изменение плотности в сухом состоянии  $\rho_d$  по мере увеличения содержания песка в суглинке

Таким образом, наиболее высокая плотность в сухом состоянии характерна для глинопесчаных образцов с более высоким содержанием песка. Причем данная особенность уплотнения рассматриваемых смесей наиболее сильно проявляется при линейно-возрастающем и многоступенчато-возрастающем режимах приложения ударной нагрузки.

На основе обработки результатов исследований (рис.5), получены следующие математические зависимости, отражающие взаимосвязь между плотностью глинопесчаной смеси в сухом состоянии  $P_{d,sm}$  и плотность суглинка в сухом состоянии  $P_{d,s}$

$$P_{d,sm} = P_{d,s} (am_s + b), \quad (2)$$

где  $a, b$  – коэффициенты (табл.2);  
 $m_s$  - масса крупного песка, добавляемого в суглинок, в процентах от общей массы глинопесчаной смеси.

Таблица 2

Значения коэффициентов  $a$  и  $b$ 

Режим приложения ударной нагрузки (режим уплотнения)	Значения коэффициентов		Величина достоверности Аппроксимации экспериментальных данных $R^2$
	$a$	$b$	
ПР	0,0030	0,9900	1,0
ДСВР	0,0025	1,0033	0,99
МСВР	0,0040	0,9900	1,0
ЛВР	0,0048	0,9746	1,0

**Обсуждение результатов.** Количественное сопоставление результатов проведенных опытов с результатами отечественных и зарубежных исследований, представленных в работах [3-7] не представляется возможным, в виду, того в них рассматриваются искусственные смеси, которые по виду и составу компонентов существенно отличаются от глинопесчаных смесей, изучаемых автором. Но, несмотря, на это можно отметить, одну общую характерную особенность, которая следует из анализа результатов всех этих исследований, а именно, то, что внесение в состав грунтов как не грунтовых, так и иных грунтовых компонентов, приводит к формированию смесей с иными свойствами. Это, несомненно, свидетельствует об актуальности искусственного подбора состава различных смесей (на основе природных грунтов) для достижения необходимых физико-механических показателей.

**Выводы.** На основе проведенных исследований можно сформулировать следующие основные выводы:

1. Внесение крупного песка в суглинок в количестве от 5 до 30% снижает сжимаемость глинопесчаных смесей до 6%, увеличивает их динамическую сопротивляемость почти в 2 раза и повышает плотность до 12,5%. Причем, чем больше количество добавляемого песка, тем выше эффект проявления указанных свойств;

2. Наибольший положительный эффект при уплотнении глинопесчаных смесей проявляется при линейно-возрастающем и многоступенчато-возрастающем режимах приложения ударной нагрузки;

3. При ударном уплотнении между плотностью глинопесчаной смеси в сухом состоянии и плотностью суглинка в сухом состоянии существует корреляционная зависимость (2) с высокой величиной достоверности аппроксимации экспериментальных данных  $R^{A2}$ .

В заключении следует отметить, что полученные результаты, характеризуются новизной, и показывают, что глинопесчаные смеси, состоящие из суглинка и крупного песка (с содержанием песка до 20-30%) могут быть успешно использованы на геотехнической практике в качестве материала грунтовых подушек. При этом для их послойного уплотнения в теле подушек рекомендуется использовать динамический метод с линейно-возрастающим или многоступенчато-возрастающим режимом приложения ударной нагрузки; а для прогноза их плотности в сухом состоянии - приемлема зависимость (2).

Результаты выполненных экспериментов, свидетельствуют об актуальности продолжения настоящих исследований для изучения влияния добавки песка в суглинок на деформационно-прочностные показатели таких смесей.

## Список литературы

1. *Красников Н.Д.* Динамические свойства грунтов и методы их определения. - Ленинград: Стройиздат, 1964. -156 с.

2. *Иванов П.Л.* Грунты и основания гидротехнических сооружений. - М.: Высшая школа, 1985. - 352 с.

3. *Левченко А.В., Путилин Е.И.* Укрепление переувлажненных грунтов известью в дорожном и аэродромном строительстве // Меж-

вузовский сборник научных трудов «Основания и фундаменты». - Пермь: Пермский политехнический институт, 1979. - С. 166-172.

4. Жакулин А.А. Устройство оснований из супесчаных грунтов методом уплотнения // Труды международной геотехнической конференции, посвященной году РФ в РК. - Алматы, 2014. - С.244-246.

5. Соганчин Али Синан Прочностные характеристики шинно-песчаных смесей // Основания, фундаменты и механика грунтов. - М., 2014. - №6. - С.25-27.

6. Шаншабаев Н.А., Усенбаев Б.У., Турлыбаева Б. Исследование фосфогипса для использования в качестве оснований // Труды междунауч.-практич. конф. «Современная строительная наука, состояние и перспективы развития». - Алматы, 2016. - С.91-93.

7. Колесова А.С., Шаньгина Ю.М., Гришина А.С. Анализ эффективности применения фиброармированного песка при устройстве насыпей автомобильных дорог и обратной засыпки подпорных стен // Геотехника. - М., 2016. - №4. - С. 10-15.

8. Бекбасаров И.И. Основы рационального вытрамбовывания котлованов под фундаменты. - Тараз: Тараз университету 2011. - 155 с.

**Бекбасаров И.И.**, доктор технических наук, профессор,  
e-mail: bekbasarov@mail.ru

**Источник финансирования:**

Исследования выполнены в рамках плановых НИР лаборатории инженерного профиля ТарГУ им. М.Х. Дулати, за счет средств университета и базового бюджетного финансирования.