

МРНТИ 67.09.05

**И.И. Бекбасаров**<sup>1</sup> – основной автор, | ©  
**К.Т. Суйенибаева**<sup>2</sup><sup>1</sup>Д-р техн. наук, <sup>2</sup>Магистр

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-3250-7853> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-4734-1091><sup>1,2</sup>Таразский университет им. М.Х. Дулати

Тараз, Казахстан

<sup>2</sup>[quralai.toqgoja@gmail.com](mailto:quralai.toqgoja@gmail.com)<https://doi.org/10.55956/IJOM2855>

## ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ПОЛИКОМПОНЕНТНЫХ ГРУНТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Аннотация.** Для возведения грунтовых сооружений, в том числе и насыпных гидротехнических земляных плотин широко применяются природные и искусственные грунтовые смеси. Традиционно используются двухкомпонентные смеси, основным составляющим компонентом в которых является грунт. При этом в качестве добавок в грунт используются как грунты иного вида и состава, так и негрунтовые материалы, обладающие различными свойствами. Изложен краткий анализ результатов исследований состава, уплотняемости, деформируемости, сжимаемости и сопротивляемости двухкомпонентных смесей. Установлено, что дозированное внесение в грунт иного грунтового или негрунтового материала способствует изменению его свойств. Предложены смеси, состоящие из трех компонентов, выполняющих соответственно роли несущего, вяжущего и армирующего компонентов. Представлены формулы по определению массы поликомпонентной смеси и массы данной смеси в сухом состоянии при ее послойном уплотнении в составе грунтовых сооружений. Формулы получены на основе принципа сохранения массы и с учетом ряда основных закономерностей механики грунтов, которые распространяются на показатели их физических свойств.

**Ключевые слова:** плотина, грунтовая смесь, поликомпонентная смесь, несущий компонент, вяжущий компонент, армирующий компонент, масса, плотность, влажность.



Бекбасаров, И.И. Об определении параметров поликомпонентных грунтовых материалов [Текст] / И.И. Бекбасаров, К.Т. Суйенибаева // Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №2(92). – С.342-357. <https://doi.org/10.55956/IJOM2855>

**Введение.** Для возведения грунтовых сооружений (дамб, земляных плотин, дорожных насыпей, грунтовых подушек и др.) широко применяются природные и искусственные грунтовые смеси, состоящие из разных видов грунтов. В строительной отрасли в основном используются грунты, состоящие из двух грунтовых компонентов. К природным двухкомпонентным грунтовым смесям, например, можно отнести крупнообломочные грунты с песчаным или глинистым заполнителем. В целом разновидностей двухкомпонентных природных смесей не так много. Двухкомпонентные искусственные смеси подразделяются на смеси, в которых оба компонента грунтовые, и на смеси, в которых один компонент –

грунтовый, а другой – не грунтовый. К первому виду искусственных смесей относятся:

- супесчано-суглинистые смеси [1];
- суглинисто-щебенистые смеси [2].
- суглинисто-песчаные смеси [3].

Ко второму виду искусственных смесей относятся:

- грунтобетоны, цементогрунты [4,5-7];
- глинисто-известковые смеси [5];
- песчано-шинные смеси [6];
- песчано-фосфогипсовые смеси [7];
- песчано-фибровые смеси [8].

Для искусственных смесей обоих видов характерны особые свойства, изучению которых посвящен ряд исследований. Ниже представлен краткий анализ результатов этих исследований.

В работе [1] приведены результаты испытаний супесчано-суглинистых смесей на уплотняемость в лабораторных и полевых условиях. Испытанию подвергались опытные смеси при следующих соотношениях их составных компонентов (по массе):

- 50% супеси и 50% суглинка;
- 25% супеси и 75% суглинка;
- 25% суглинка и 75% супеси.

Установлено, что наиболее оптимальным является третий состав смеси, для которого максимальная плотность в сухом состоянии составила 1,88 г/см<sup>3</sup>, а оптимальная влажность – 10,14%. Для данного состава смеси коэффициент уплотнения составил 0,93-0,95 при 8-9 опытных проходках катка. Модуль деформации смеси оказался равным 24 МПа. Из оптимального состава смеси возведена грунтовая подушка толщиной 2 м под фундаменты промышленного здания.

Авторами работы [2] выполнены лабораторные исследования по оценке сжимаемости образцов суглинисто-щебенистых смесей [2]. Компрессионные испытания выполнялись для следующих составов смесей:

- смесь со 100% содержанием фракций с размерами частиц меньше 2 мм;
- то же с 70% содержанием и наличием частиц с размерами 40 мм;
- то же с 50% содержанием и наличием частиц с размерами 40 мм.

Выявлено, что для первого состава смеси, относительные вертикальные деформации образцов в водонасыщенном состоянии находятся в пределах 5,9-7,6%, а для образцов без насыщения водой - в пределах 3,9-6,9%. Для образцов остальных двух составов, их относительные деформации достигали до 8,2%.

Повышенная деформируемость образцов второго и третьего составов рассматриваемых смесей, авторами, объясняется содержанием в них частиц с размерами 40 мм. Определено, что наличие крупных частиц в смесях сопровождается снижением их сжимаемости при действии вертикальной статической нагрузки.

В работе [3] изложены результаты экспериментов по оценке параметров уплотнения грунтовых смесей, состоящих из суглинка и крупного песка. Опыты проводились в лабораторных условиях с опытными образцами смесей при четырех режимах приложения к ним многократно-повторяющихся ударных нагрузок (постоянном, двухступенчато-возрастающем, многократно-возрастающем и линейно-возрастающем

режимах). Определено, что увеличение содержания песка в суглинке от 5 до 30% повышает величину динамической сопротивляемости суглинисто-песчаных смесей почти в 2 раза по сравнению с сопротивляемостью суглинка без добавки песка. При этом увеличивается и плотность смесей до 12,5% по сравнению с плотностью суглинка. Установлено, что между плотностью смеси в сухом состоянии и весовым содержанием крупного песка (в смеси) имеет место устойчивая корреляционная зависимость. Данная зависимость характерна для всех режимов приложения ударной нагрузки.

Хоу Б.К. в работе [4] описывает способ получения грунтобетона (грунтоцемента), который состоит в смешивании грунта с портландцементом. Такая смесь после смачивания водой, уплотнения кулачковыми катками и последующего частичного высыхания представляет собой полутвердевшее грунтоцементное вещество. Расход цемента при изготовлении грунтобетона обычно принимается не меньше 5-6% от массы самого грунта. С позиции обеспечения экономической эффективности грунтобетона, расход цемента в нем не должен превышать 12-15%. Для изготовления грунтобетона предпочтительно использовать сыпучие грунты, которые в отличие от глинистых грунтов лучше взаимодействуют с цементом. Автор отмечает, что чем больше в грунте мелких фракций, тем больше цемента требуется для улучшения его свойств. Отрицательное влияние на процесс формирования грунтобетона оказывает наличие в грунте органических примесей. При их высоком содержании имеет место риск существенного снижения связывающего эффекта цемента. Количество цемента, необходимого для изготовления грунтобетона, зависит от количества воды в порах грунта, его минералогического и гранулометрического состава, и других факторов.

Афанасьевым И.А. и Лебедевым Б.М. изучено влияние различных режимов уплотнения на прочность образцов из цементогрунта [5]. Образцы изготавливались из песка и супеси с содержанием глины до 20-25%. Добавка цемента в грунты составляла 10% от их массы. Использовался цемент марки М-400. Уплотнение образцов осуществлялось при следующих режимах приложения нагрузок:

- статическое приложение сжимающей нагрузки с созданием давления 10, 15 и 20 МПа;
- вибрационное воздействие продолжительностью 30 сек.;
- комбинированное нагружение, включающее вибрационное воздействие и последующее статическое нагружение с созданием давления 15 и 20 МПа;
- комбинированное нагружение, включающее статическое нагружение с созданием давления 15 и 20 МПа и последующее вибрационное воздействие;

По результатам исследований, авторами установлены рациональные режимы уплотнения, при которых достигается наибольшая прочность цементогрунтовых образцов. Так для песка, таким режимом является комбинированный режим, включающий в себя вибрационное воздействие и последующее статическое нагружение с созданием давления 20 МПа, а для супеси с содержанием глины 20-25% - комбинированный режим, включающий в себя вибрационное воздействие и последующее статическое нагружение с созданием давления 15 МПа.

В работе [6] Кондратовым А.Б., Малининым А.Г. и Гуляевым А.А. изложены результаты исследований образцов, состоящих из крупного песка и тампонажного цемента, в стабилометре. Добавка тампонажного цемента в

песок составляла от 2 до 20% от веса песка в сухом состоянии. На основе результатов лабораторных опытов выявлено, что содержание цемента в песке оказывает влияние на такие показатели цементогрунта как сцепление и коэффициент трения (табл.1).

Таблица 1

Значения сцепления и коэффициента трения цементогрунта

Процентное содержание тампонажного цемента в песке	Значения	
	сцепления, МПа	коэффициента трения
2	0,649	0,450
5	0,912	0,656
10	0,984	0,828
15	1,402	0,933
20	1,498	0,965

Из таблицы следует, что увеличение содержания цемента в крупном песке от 2,5 до 10 раз приводит к увеличению сцепления цементогрунта в 1,405-2,308 раза, а коэффициента трения – в 1,458-2,144 раза.

Архангельской Т.М. выполнены исследования по изучению угла внутреннего трения и удельного сцепления песчанно-цементных смесей при их различной плотности [7]. Образцы изготавливались из песка средней крупности и цемента. Содержание цемента в песке составляло 2-20%. Влажность смесей для всех образцов принималась равной 5%, а плотность – равной 1,5-1,7 т/м<sup>3</sup>. Результаты опытов свидетельствуют о том, что плотность смесей и содержание в них цемента оказывают влияние на удельное сцепление и угол внутреннего трения смесей (табл.2).

Таблица 2

Значения угла внутреннего трения и удельного сцепления песчанно-цементных смесей

Плотность смеси, кН/м <sup>3</sup>	Содержание цемента в смеси, %	Угол внутреннего трения смеси, градусы, минуты	Удельное сцепление смеси, МПа
15,0	-	29°24'	-
16,0		29°30'	-
17,0		30°30'	-
15,0	2	29°30'	0,010
16,0		29°48'	0,015
17,0		30°30'	0,020
15,0	4	30°00'	0,020
16,0		30°12'	0,025
17,0		30°24'	0,033
15,0	6	30°12'	0,028
16,0		30°18'	0,035
17,0		30°24'	0,045
15,0	10	30°18'	0,040
16,0		30°30'	0,050
17,0		30°36'	0,060
15,0	20	30°12'	0,066
16,0		30°18'	0,080
17,0		30°42'	0,095

Из таблицы следует, что с повышением содержания цемента в смеси как угол внутреннего трения, так и удельное сцепление смеси увеличиваются. Причем, чем больше плотность смеси, тем больше, значения этих параметров. Если, для угла внутреннего трения эти изменения незначительные, то для удельного сцепления они более существенные. Так при увеличении содержания цемента в смеси в 2-10 раз его удельное сцепление повышается в 2-9,5 раза.

Грунтоцементные смеси изучались и специалистами Национального исследовательского Московского государственного строительного университета [8]. Ими выявлены особенности изменения скоростей упругих поперечных волн в образцах грунтоцемента по мере изменения их влажности, плотности и напряженного состояния. Эксперименты проводились в лабораторных условиях с применением резонансной колонки и образцов грунтоцемента, отобранных на площадке проектируемой АЭС. Грунтоцемент представляет собой смесь песков (мелких и пылеватых) и порглицемента с прочностью на сжатие 21 МПа. Установлено, что увеличение плотности грунтоцементных образцов сопровождается уменьшением скорости распространения упругих поперечных волн. Аналогичная закономерность имела место и при увеличении влажности образцов. Эти закономерности описываются устойчивыми корреляционными зависимостями. Кроме того выявлено, что образцы грунтоцемента обладают:

- влажностью близкой к природной влажности, после их полного водонасыщения;
- низкой сжимаемостью и практически не уплотняются.

Исследования глинисто-известковых смесей проведены в Пермском политехническом институте и их результаты рассмотрены в работе [9]. Известь использована авторами для укрепления переувлажненных глинистых грунтов (суглинков, глин). Стандартными испытаниями выявлено, что добавка извести в глинистый грунт в количестве 1,2 и 4% (от массы самого грунта) сопровождается:

- снижением плотности смеси соответственно на 0,62, 1,86 и 3,1%;
- повышением оптимальной влажности смеси соответственно на 10,45, 18,18 и 26,82%.

Как видно добавка извести большее влияние оказывает на влажность смесей, чем на их плотность. Кроме плотности и влажности добавка извести оказывает влияние и на прочностные характеристики глинисто-известковых смесей. Так выявлено, что добавка извести в количестве 2% приводит к повышению угла внутреннего трения:

- суглинисто-известковой смеси (при ее влажности 23,8%) - на 4°30';
- суглинисто-известковой смеси (при влажности 25,9%) - на 5°30';
- глинисто-известковой смеси (при влажности 48,6%) - на 8°10'.

Добавка извести в 2% вызывает также повышение удельного сцепления:

- суглинисто-известковой смеси (при влажности 23,8%) - в 1,51 раза;
- суглинисто-известковой смеси (при влажности 25,9%) - в 1,23 раза;
- глинисто-известковой смеси (при влажности 48,6%) – в 1,41 раза.

В работе [10] приведены результаты изучения прочностных показателей песчано-шинных смесей. Путем испытаний опытных образцов на сдвиг определено, что сопротивляемость песчано-шинных смесей выше, чем сопротивляемость песков без добавок шинной крошки. Так внесение в состав песка резиновых частиц в количестве до 20% (по массе) вызывает увеличение

угла внутреннего трения смесей до  $47^{\circ} 07'$ . Это объясняется, тем, что резиновые крошки, заполняя поры песка, во-первых, хорошо сцепляются с частицами песка и, во-вторых, придают песку некоторые упругие свойства.

Параметры уплотняемости песчано-фосфогипсовых смесей изучались специалистами Таразского государственного университета им. М.Х. Дулати [11]. В опытах использовался фосфогипс, образцы которого были отобраны со складированных запасов АО «Казфосфат». Испытания проводились в лабораторных условиях по методике стандартного уплотнения. Для каждого состава смесей определялись значения плотности в сухом состоянии и оптимальной влажности. Установлено, что при 10, 20 и 30% содержании фосфогипса (по массе) в крупном песке, плотность смесей в сухом состоянии соответственно составила 1,72, 1,70 и 1,68 г/см<sup>3</sup>. Из этого следует, что увеличение содержания фосфогипса в 2 и 3 раза приводит к уменьшению плотности смесей в сухом состоянии соответственно на 1,16 и 2,33%. Также выявлено, что увеличение содержания фосфогипса в 2 и 3 раза сопровождается повышением оптимальной влажности смесей соответственно на 25,0 и 87,5%.

Как видно количество фосфогипса оказывает большее влияние на влажность смесей, чем на их плотность. Следовательно, для эффективного уплотнения песчано-фосфогипсовых смесей требуется большое количество воды для их увлажнения.

В работе [12] представлены результаты исследований прочностных характеристик песка, армированного дискретными волокнами полипропилена. В экспериментах использовались образцы речного мелкозернистого, однородного песка нарушенной структуры с влажностью 28% и плотностью в сухом состоянии 16,4 кН/м<sup>3</sup>. Для армирования песка применялись волокна полипропилена длиной 6 мм, диаметром 20 мкм, прочностью на растяжение 1,0 МПа и удлинением до разрыва 150-250%. Образцы фибропеска испытывались на трехосное сжатие с определением разрушающей нагрузки при их всестороннем обжатии давлением в 100 кПа. Установлено, что при содержании в песке волокон полипропилена от 0,5 до 5%, разрушающая нагрузка, повышается от 677 до 1439 кПа. Таким образом, увеличение содержания волокон полипропилена в песке в 3-10 раз вызывало повышение разрушающей нагрузки в 1,292-2,125 раза. По сравнению с неармированным песком, разрушающая нагрузка для фибропеска, оказалась в 1,128-2,398 раза.

Офрихтером В.Г. и Офрихтером Я.В. экспериментально оценена механическая ползучесть фибропеска [13]. Фибропесок изготовлялся из природного песка и полипропиленовых волокон длиной 12 мм и диаметром 20 мкм. Для волокон полипропилена характерны следующие показатели:

- плотность – 0,91 г/см<sup>3</sup>;
- прочность на растяжение -170-260 МПа;
- удлинение на разрыв -150-250%;
- масса нити длиной 10000 м - 28;
- температура воспламенения – 320°;
- температура плавления - 160°.

Расход фибры на образец составил 0,93% от массы песка, а плотность частиц фибропеска - 2,58 г/см<sup>3</sup>. Образцы подвергались компрессионному испытанию на ползучесть при постоянной нагрузке 400 кПа в течение 141 суток. На основе анализа графиков испытаний установлено, что процесс

компрессионного сжатия фибропеска состоит из двух характерных фаз: первая фаза - прямая компрессия; вторая – механическая ползучесть.

В работе [14] представлены результаты исследований песчано-фибровых смесей, в которых, в качестве фибр, приняты волокна полипропилена длиной 12 мм и диаметром 25-35 мкм. Стандартными испытаниями на ударную уплотняемость определено, что с увеличением содержания фибр от 0,5 до 1,5% (по массе сухого песка) плотность смесей в сухом состоянии уменьшается до 6-8%, а оптимальная влажность остается постоянной и составляет 8,5%.

Испытания образцов смесей на одноплоскостной сдвиг показали, что при количестве фибр в них 0,5, 1,0 и 1,5% угол их внутреннего трения увеличивается в 1,12, 1,22 и 1,41 раза, а удельное сцепление, также соответственно увеличивается в 3,35, 3,75 и 1,85 раза по сравнению с аналогичными показателями песка без фибр. Из этих данных следует, что по удельному сцеплению, более предпочтительно использовать, смеси с содержанием фибр 0,5 - 1,0%, а по углу внутреннего трения - смеси с содержанием фибр 0,5 - 1,5%.

Гришиной А.С. в работе [15] в качестве армирующего компонента грунта предложено использовать волокна пропилен. При этом автор считает, что содержание данного компонента в грунте не должно быть более 0,5% от массы сухого грунта. Так исследованиями установлено, что при содержании в грунте 0,25% волокон пропилен, удельное сцепление фибропеска повышается почти в 3 раза, а угол внутреннего трения – на 13%. При содержании в грунте полипропиленовых волокон более 0,5% уменьшается их способность к перемешиванию. В результате этого имеет место крайне неравномерная концентрация фибр в грунте, что отрицательно отражается на сопротивляемости грунта сдвигу. Выявлено также, что применение базальтовых волокон для улучшения свойств песка менее эффективно, чем применение полипропиленовых волокон. Экспериментально определено, что использование фибропеска в качестве материала для обратной засыпки подпорных стен ведет к повышению критической нагрузки (до 8 раз), которую способно выдержать сооружение без потери устойчивости, а также к снижению горизонтальных перемещений стенок (почти в 50 раз).

Из вышеизложенного анализа видно, что уплотняемость, деформируемость, сжимаемость и сопротивляемость двухкомпонентных смесей отличается от грунтов, состоящих из одного компонента. В целом дозированное внесение в грунт иного грунтового или негрунтового материала способствует улучшению его свойств. Анализ состава двухкомпонентных смесей показывает, что вносимый в грунт второй компонент (песок, цемент, известь, фосфогипс, фибры и, др.) используется в качестве:

- компонента - заполнителя, повышающего долю крупных твердых частиц в смеси;
- вяжущего компонента, связывающего или скрепляющего частицы грунта между собой;
- армирующего компонента, придающего жесткость и структурную целостность грунту.

Традиционно перечисленные компоненты, вносятся в состав грунта по отдельности, не вместе, хотя каждый из них обладает разными, но полезными для грунта свойствами. Учитывая данное обстоятельство, на наш взгляд,

было бы эффективным создание поликомпонентных грунтовых смесей, которые включают в себя одновременно следующие компоненты:

- несущий компонент (глинистый, песчаный грунт, или их смесь);
- вяжущий компонент (цемент, фосфогипс, барит, известь и др.);
- армирующий компонент (неметаллические фибры – полипропилен, базальтовые, стекловолоконные и др.).

Создание поликомпонентных грунтовых смесей и разработка методики подбора их оптимального состава положены в основу грантового проекта «Жас ғалым» на 2025-2027 годы по приоритету «Энергия, передовые материалы и транспорт» по направлению науки «Архитектура и строительство» на тему: ИРН АР25795533 «Создание поликомпонентных грунтовых материалов, оптимизация их составов и разработка методов прогноза их параметров для возведения насыпных плотин». В соответствии с этим проектом важным составляющим методики подбора оптимального состава поликомпонентных смесей служит разработка теоретического метода определения их параметров. Исходя из этого, в настоящей работе, представлены основные положения данного метода, ценность которого подтверждается актуальностью реализуемого проекта.

**Условия и методы исследований.** В качестве теоретической основы метода принят принцип сохранения массы грунта, предложенный Бекбасаровым И.И. Принцип использован автором для определения параметров уплотнения грунтов при вытрамбовывании (выштамповывании) в них котлованов (траншей) [16-18]. Кроме данного принципа учтены основные закономерности механики грунтов, относящиеся к их физическим характеристикам [19].

Исходными предпосылками для разработки метода служат следующие положения:

- поликомпонентная смесь формируется из грунта с влажностью меньшей, чем ее оптимальная влажность;
- грунт является глинистым, песчаным либо их смесью, нарушенной структуры, без содержания иных примесей (органических, солевых, техногенных и др.);
- в порах грунта содержится вода, без содержания растворимых и нерастворимых веществ, природного или искусственного происхождения;
- вид и свойства используемых негрунтовых компонентов, соответствуют действующим нормативам и стандартам;
- вода для приготовления поликомпонентной смеси, не содержит в себе растворимые и нерастворимые примеси, и соответствует требованиям действующих стандартов;
- влажность смеси после добавления в нее воды достигает оптимальной величины.

**Результаты исследований.** На основе принципа сохранения масс можно записать следующее исходное равенство:

$$m_p = m_N + m_a + m_e + m_w, \quad (1)$$

где:  $m_p$  - масса поликомпонентного грунтовой смеси (материала);  $m_N$  - масса несущего компонента;  $m_a$  - масса армирующего компонента;  $m_e$  - масса вяжущего компонента;  $m_w$  - масса воды, добавляемой в смесь.

Примем следующие соотношения:

$$\alpha_a = m_a/m_N, \quad (2)$$

$$\alpha_e = m_e/m_N, \quad (3)$$

Массу несущего компонента  $m_N$  с влажностью  $W_N$  в равенстве (1) можно записать в виде:

$$m_N = m_N^c + m_N^w = m_N^c + W_N m_N^c = m_N^c(1 + W_N), \quad (4)$$

где:  $m_N^c$  - масса несущего компонента в сухом состоянии;  $m_N^w$  - масса воды в порах несущего компонента.

С учетом соотношений (2) и (3), а также формулы (4), равенство (1), можно преобразовать в следующий вид:

$$m_p = [m_N^c(1 + W_N) \times (1 + \alpha_a + \alpha_e)] + m_w, \quad (5)$$

Учитывая, что армирующий и вяжущий компоненты вносятся в смесь в сухом состоянии, допускаем, что суммарная масса воды  $m_N^w$ , содержащейся в порах несущего компонента и массы воды  $m_w$ , добавляемой в смесь, достаточна для доведения ее до оптимальной влажности  $W_p^o$ , можно записать выражение:

$$(m_w + m_N^w)/m_p^c = W_p^o, \quad (6)$$

где:  $m_p^c$  - масса поликомпонентной смеси в сухом состоянии.

Определяя из равенства (6) массу воды  $m_w$  и подставляя полученное выражение в формулу (5) можно записать следующее выражение:

$$m_p = [m_N^c(1 + W_N) \times (1 + \alpha_a + \alpha_e)] + (W_p^o m_p^c - m_N^w), \quad (7)$$

Принимаем:

$$m_p = m_p^c + m_p^w = m_p^c + m_p^c W_p^o = m_p^c(1 + W_p^o), \quad (8)$$

где:  $m_p^w$  - масса воды в порах поликомпонентной смеси.

В правой части равенства (7) заменяя массу  $m_p$  на  $m_p^c(1 + W_p^o)$  можно получить следующую формулу:

$$m_p^c = m_N^c(1 + W_N) \times (1 + \alpha_a + \alpha_e) - m_N^w, \quad (9)$$

Принимая массу  $m_N^c$  равной отношению  $m_N^w/W_N$  формулу (8) можно представить в виде:

$$m_p^c = m_N^w \{ [(1 + W_N) \times (1 + \alpha_a + \alpha_e)] / W_N - 1 \}, \quad (10)$$

**Обсуждение научных результатов.** Формула (5) может быть использована для определения массы поликомпонентной смеси. При этом масса несущего компонента  $m_N^c$  в сухом состоянии и масса воды  $m_w$ , добавляемой в смесь, предварительно определяются на основе проведения лабораторных опытов с применением образцов несущего компонента смеси.

Так масса  $m_N^c$  устанавливается по следующей формуле:

$$m_N^c = m_n^c \cdot m_N / m_n, \quad (11)$$

где:  $m_n^c$  – масса образца несущего компонента в сухом состоянии, определяемая по результатам лабораторных опытов;  $m_N$  – масса несущего компонента в сухом состоянии;  $m_n$  – масса образца несущего компонента, определяемая по результатам лабораторных опытов.

Масса воды  $m_w$ , добавляемой в поликомпонентную смесь, устанавливается по следующей формуле:

$$m_w = m_w' \cdot V_p / V_p', \quad (12)$$

где:  $m_w'$  – масса воды, добавляемой в образец смеси для доведения ее влажности до оптимальной величины, определяемая по результатам лабораторных опытов;  $V_p$  – объем смеси;  $V_p'$  – объем образца смеси, определяемая по результатам лабораторных опытов.

При послойном уплотнении поликомпонентной смеси (в теле грунтового сооружения) ее объем  $V_p$  в формуле (12) равен объему уплотняемого слоя  $V_{us} = F_{us} \cdot h_{us}$  (где:  $F_{us}$  – площадь уплотняемого слоя;  $h_{us}$  – толщина уплотняемого слоя).

На основе формулы (5) можно получить формулу для определения плотности поликомпонентной смеси в следующем виде:

$$\rho_p = \{m_N^c(1 + W_N) \times (1 + \alpha_a + \alpha_e) + m_w\} / V_p, \quad (14)$$

Формула (5) может быть представлена также и в виде формул (15) и (16) для определения массы армирующего компонента и массы вяжущего компонента смеси соответственно.

$$m_a = m_N \{[(m_p - m_w) / m_N^c(1 + W_N)] - (1 + \alpha_e)\}, \quad (15)$$

$$m_e = m_N \{[(m_p - m_w) / m_N^c(1 + W_N)] - (1 + \alpha_a)\}, \quad (16)$$

Формула (10) может быть использована для определения массы поликомпонентной смеси в сухом состоянии. При этом масса воды  $m_N^w$  в порах несущего компонента предварительно определяется на основе проведения лабораторных опытов с применением образцов несущего компонента смеси.

Масса воды  $m_N^w$  в формуле (10) с использованием результатов лабораторных опытов определяется по формуле:

$$m_N^w = m_n^w \cdot m_N / m_n, \quad (17)$$

где:  $m_n^W$  - масса воды в порах образца несущего компонента, определяемая по результатам лабораторных опытов;  $m_N$  - масса несущего компонента;  $m_n$  - масса образца несущего компонента, определяемая по результатам лабораторных опытов.

На основе формулы (10) можно получить формулу по определению плотности поликомпонентной смеси в сухом состоянии в следующем виде:

$$\rho_{ap} = (m_N^W/V_p) \cdot \{[(1 + W_N) \times (1 + \alpha_a + \alpha_e)]/W_N - 1\}, \quad (18)$$

Формула (10) может быть представлена также и в виде формул (19) и (20) для определения массы армирующего компонента и массы вяжущего компонента смеси соответственно.

$$m_a = m_N \{ \{ W_N [(m_p^c/m_N^W) + 1] / (1 + W_N) \} - (1 + \alpha_e) \}, \quad (19)$$

$$m_e = m_N \{ \{ W_N [(m_p^c/m_N^W) + 1] / (1 + W_N) \} - (1 + \alpha_a) \}, \quad (20)$$

В формулах (5), (10), (14) - (16) и (18) - (20) коэффициенты  $\alpha_a$  и  $\alpha_e$  можно принимать по таблице 1. Они могут быть использованы для сравнительной количественной оценки параметров различных компонентов поликомпонентной смеси.

Таблица 1

Значения коэффициентов  $\alpha_a$  и  $\alpha_e$ , установленные по данным работ [4-8].

Вид армирующего компонента смеси	Значения коэффициента $\alpha_a$	Вид вяжущего компонента смеси	Значения коэффициента $\alpha_e$
Резиновые крошки (частицы шины)	0,20	Цемент	не менее 0,05-0,06, но не больше 0,12-0,15
Волокна полипропиленовые	0,005-0,015	Известь	0,01-0,04
		Фосфогипс	0,10-0,30

Для сравнительной проверки полученных формул выполнены соответствующие расчеты. Исходные данные к расчетам представлены в таблице 2.

Таблица 2

Исходные данные для расчетов

Параметры	Значения параметров	
	вариант 1	вариант 2
Масса несущего компонента смеси $m_N^c$ , кг	500	1000
Влажность несущего компонента смеси $W_N$	0,18	0,18
Масса воды $m_w$ , добавляемой в смесь, кг	150	300
Площадь уплотняемого слоя смеси, $F_{us}$ , м <sup>2</sup>	25	25
Толщина уплотняемого слоя, $h_{us}$ , м	0,20	0,4
Коэффициент $\alpha_a$ (армирующий компонент смеси – полипропиленовые волокна)	0,01	0,01
Коэффициент $\alpha_e$ (вяжущий компонент смеси – цемент)	0,06	0,06

Результаты выполненных расчетов приведены в таблице 3.

Таблица 3

## Результаты расчетов

Параметры	Значения параметров	
	вариант 1	вариант 2
Масса смеси $m_p$ по формуле (5), кг	781,3	1562,6
Плотность смеси $\rho_p$ по формуле (14), т/м <sup>3</sup>	1,562	1,562
Масса армирующего компонента смеси $m_a$ по формуле (15), кг	5,9	11,8
Масса вяжущего компонента смеси $m_b$ по формуле (16), кг	35,4	70,8
Масса смеси в сухом состоянии $m_p^c$ по формуле (10), кг	541,3	1082,59
Плотность смеси в сухом состоянии $\rho_{dp}$ по формуле (18), т/м <sup>3</sup>	1,08	1,08
Масса армирующего компонента смеси $m_a$ по формуле (19), кг	5,9	11,79
Масса вяжущего компонента смеси $m_b$ по формуле (20), кг	35,34	70,79

Из таблицы 3 видно, что формулы (15) и (19), а также формулы (16) и (20) позволяют получать одинаковые результаты, что свидетельствует их равнозначности и правильной теоретической обоснованности. Для оценки достоверности формул (5), (10) и (14) и (18) необходимо проведение соответствующих экспериментальных исследований.

**Заключение.** На основе изложенных результатов исследований можно сформулировать следующие выводы:

1. Формулы (5) и (10) соответственно рекомендуются использовать для определения массы поликомпонентной смеси и массы данной смеси в сухом состоянии при ее послойном уплотнении в составе грунтовых сооружений. Формулы предусматривают предварительное проведение лабораторных опытов по определению параметров образцов несущего компонента и самой смеси;

2. Формулы (14) и (18) соответственно можно использовать для определения плотности поликомпонентной смеси и ее плотности в сухом состоянии;

3. Формулы (15) и (16), а также формулы (19) и (20) рекомендуется использовать для определения массы армирующего компонента и массы вяжущего компонента смеси соответственно;

4. Формулы, предназначенные для определения параметров поликомпонентной смеси получены на основе принципа сохранения массы и с учетом ряда основных закономерностей механики грунтов, которые распространяются на показатели их физических свойств.

5. Формулы (5), (10) и (14) и (18) подлежат экспериментальной проверке.

**Список литературы**

1. Жакулин, А.А. Устройство оснований из супесчаных грунтов методом уплотнения [Текст] / А.А. Жакулин // Труды международной геотехнической конференции, посвященной году РФ в РК. – Алматы: Казахская геотехническая ассоциация, 2004. – С.244-246.
2. Орман, А.О. Некоторые вопросы сжимаемости суглинисто-песчаных и гравийно-щебенистых грунтов [Текст] / А.О. Орман, К.И. Ибрагимов, Б.К. Керимкулов // Труды международной геотехнической конференции, посвященной году РФ в РК. – Алматы: Казахская геотехническая ассоциация, 2004. – С.700-702.
3. Бекбасаров, И.И. Глинопесчаные смеси в качестве материала для устройства грунтовых подушек [Текст] / И.И. Бекбасаров // Научно-технический журнал / Новости науки Казахстана. – Алматы: НЦ ГНТЭ, 2018. – №1(135). – С.85-98.

4. Хоу, Б.К. Основы инженерного грунтоведения [Текст] / Б.К. Хоу // Перевод с английского языка и общая редакция д.т.н., профессора Маслова Н.Н. – М.: Стройиздат, 1966. – 457 с.
5. Афанасьев, И.А. Пути повышения прочности цементогрунтовых оснований уплотнением [Текст] / И.А. Афанасьев, Б.М. Лебедев // Межвузовский сборник научных трудов / Основания и фундаменты в геологических условиях Урала. – Пермь: РИО Пермского государственного технического университета, 1994. – С.136-141.
6. Кондратов, А.Б. Исследование объемной прочности породобетона на основе песка и тампонажного цемента [Текст] / А.Б. Кондратов, А.Г. Малинин, А.А. Гуляев // Труды международной конференции по проблемам свайного фундаментостроения. – Фундаменты. – Пермь: РИО Пермского государственного технического университета, 1996. – Том III. – С.151-156.
7. Архангельская, Т.М. Геотехнические свойства цементогрунта [Текст] / Т.М. Архангельская // Сборник статей международной научно-технической конференции / Геотехника Беларуси: наука и практика. – Минск: БНТУ, 2008. – С.286-292.
8. Соболев, Е.С. Экспериментальные исследования скоростей упругих поперечных волн в грунтоцементе в зависимости от плотности, влажности и напряженного состояния [Текст] / Е.С. Соболев, А.З. Тер-Мартirosян, Д.С. Морев // Геотехника. – М., 2019. – № 3. – С.6-21.
9. Левченко, А.В. Укрепление переувлажненных грунтов в дорожном и аэродромном строительстве [Текст] / А.В. Левченко, Е.И. Путилин // Межвузовский сборник научных трудов / Основания и фундаменты. – Пермь: РИО Пермского политехнического института, 1979. – С.166-172.
10. Согоанчин Али Синан. Прочностные характеристики шинно-песчаных смесей // Основания, фундаменты и механика грунтов. – М: Стройиздат, 2014. – №5. – С.25-27.
11. Шаншабаев, Н.А. Исследование фосфогипса для использования в качестве основания [Текст] / Н.А. Шаншабаев, Б.У. Усенбаев, Б. Турлыбаева // Труды международной научно-практической конференции / Современная строительная наука, состояние и перспективы развития. – Алматы: КазНИИССА, 2016. – С. 91-93.
12. Кузнецова, А.С. Исследование прочностных характеристик песка, армированного дискретными волокнами полипропилена [Текст] / А.С. Кузнецова, В.Г. Офрихтер, А.Б. Пономарев // Вестник ПНИПУ / Строительство и архитектура. – Пермь: ПНИПУ, 2012. – №1. – С.44-55.
13. Офрихтер, В.Г. Оценка механической ползучести фибропеска по результатам компрессионных испытаний [Текст] / В.Г. Офрихтер, Я.В. Офрихтер // Известия Казанского ГАСУ / Основания и фундаменты, подземные сооружения. – Казань: КГАСУ, 2014. – №4(30). – С.222-229.
14. Колесова, А.С. Анализ эффективности применения фиброармированного песка при устройстве насыпей автомобильных дорог и обратной засыпки подпорных стен [Текст] / А.С. Колесова, Ю.М. Шаньгина, А.С. Гришина // Геотехника. – М., 2016. – № 4. – С.10-15.
15. Гришина, А.С. Анализ работы фиброармированного грунта в качестве обратной засыпки удерживающих конструкций: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. [Текст] / Гришина, А.С. // Специальность: 2.1.2. – Пермь: ПНИПУ, 2022. – 121 с.
16. Бекбасаров, И.И. Определение диаметра уплотненной зоны грунта, формирующейся вокруг вытрамбовываемого котлована неглубокого заложения [Текст] / И.И. Бекбасаров // Труды КарГТУ. - Караганда, 2004. – №4(17). – С.85-88.
17. Бекбасаров, И.И. Об определении диаметра уплотненной зоны, формирующейся в грунте вокруг фундамента с уширенным основанием [Текст] / И.И. Бекбасаров, Б.А. Алимбаев // Материалы Международной научно-практической конференции по проблемам водного хозяйства. – Тараз, 2006. – С.251-255.

18. Бекбасаров, И.И. Основы рационального вытрабовывания котлованов под фундаменты [Текст] / И.И. Бекбасаров // Монография. – Тараз: Издательство «Тараз университеті» 2011. – 155 с.
19. Болдырев Г.Г. Механика грунтов. Основания и фундаменты [Текст] / Г.Г. Болдырев, М.В. Малышев: учеб. пособие / 4-е изд., перераб. и доп. – Пенза: ПГУАС, 2009. – 412 с.

*Материал поступил в редакцию 29.04.26, принят 11.06.26.*

**И.И. Бекбасаров<sup>1</sup>, К.Т. Суйеншбаева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан*

#### **ПОЛИКОМПОНЕНТТІ ТОПЫРАҚ МАТЕРИАЛДАРЫНЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН АНЫҚТАУ**

**Аңдатпа.** Топырақ құрылымдарында, оның ішінде үйінді топырақ бөгеттерін тұрғызу кезінде табиғи және жасанды топырақ қоспалары кеңінен қолданылады. Дәстүрлі түрде негізгі құраушы компоненті топырақ болып табылатын екі компонентті қоспалар пайдаланылады. Бұл ретте топыраққа қоспа ретінде басқа түрдегі және құрамдағы топырақтармен қатар, әртүрлі қасиеттерге ие топырақ емес материалдар да қолданылады. Екі компонентті қоспалардың құрамы, тығыздалғыштығы, деформацияланғыштығы, сығылғыштығы және беріктікке қарсыласуы бойынша жүргізілген зерттеулер нәтижелеріне қысқаша талдау берілген. Топырақ қоспасына топырақ немесе топырақ емес материалдарды қосақан кезде оның қасиеттеріне ықпал ететіні анықталды. Көтергіш, байланыстырғыш және арматуралаушы қызмет атқаратын үш компоненттен тұратын қоспалар ұсынылған. Поликомпонентті қоспаның массасын және оны топырақ құрылыстары құрамында қабаттап тығыздау кезінде құрғақ күйдегі массасын анықтауға арналған формулалар ұсынылды. Бұл формулалар массаның сақталу принципіне және топырақ механикасының олардың физикалық қасиеттерінің көрсеткіштеріне қатысты бірқатар негізгі заңдылықтарын ескерек отырып алынған.

**Түйін сөздер:** бөгет, топырақ қоспасы, поликомпонентті қоспа, көтергіш компонент, байланыстырғыш компонент, арматуралаушы компонент, масса, тығыздық, ылғалдық.

**I. Bekbasarov<sup>1</sup>, K. Suienshbayeva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*M.Kh.Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan*

#### **ON DETERMINING THE PARAMETERS OF POLYCOMPONENT SOIL MATERIALS**

**Abstract.** Natural and artificial soil mixtures are widely used for the construction of soil structures, including embankment hydraulic earth dams. Traditionally, two-component mixtures are employed, in which soil is the main constituent component. In this context, both soil of different types and compositions, as well as non-soil material with various properties, are used as additives. A brief analysis of research results on the composition, compactability, deformability, compressibility, and resistance of two-component mixtures is presented. It has been established that the controlled addition of different soil or non-soil materials into soil contributes to changes in its properties. Mixtures consisting of three components, performing the roles of load-bearing, binding, and reinforcing components, are proposed. Formulas for determining the mass of a polycomponent mixture and its dry mass during layer-by-layer compaction in soil

structures are presented. There formulas are derived based on the principle of mass conservation and taking into account several fundamental law of soil mechanics related to the indicators of their physical properties.

**Keywords:** dam, soil mixture, polycomponent mixture, load-bearing component, binding component, reinforcing component, mass, density, moisture content.

#### References

1. Zhakulin A.A. Ustroystvo osnovaniy iz supeschanykh gruntov metodom uplotneniya [Construction of foundations from sandy loam soils using the compaction method] // Proceedings of the International Geotechnical Conference dedicated to the Year of the Russian Federation in the Republic of Kazakhstan – Almaty: Kazakhskaya geotekhnicheskaya assotsiatsiya [Almaty: Kazakh Geotechnical Association Almaty: Kazakh Geotechnical Association] 2004. P. 244-246 [in Russian]
2. Orman A.O., Ibragimov K.I., Kerimkulov B.K. Nekotoryye voprosy szhimayemosti suglinisto-peschanykh i graviyno-shchebenistykh gruntov [Some issues of compressibility of loamy-sandy and gravel-crushed stone soils] // Proceedings of the International Geotechnical Conference dedicated to the Year of the Russian Federation in the Republic of Kazakhstan – Almaty: Kazakhskaya geotekhnicheskaya assotsiatsiya [Almaty: Kazakh Geotechnical Association Almaty: Kazakh Geotechnical Association] 2004. P. 700-702 [in Russian]
3. Bekbasarov I.I. Glinopeschanyye smesi v kachestve materiala dlya ustroystva gruntovykh podushek [Clay-sand mixtures as a material for the construction of soil cushions] // Scientific and technical journal. Science news of Kazakhstan. – Almaty: NC GNTE. 2018. No.1(135). P.85-98. [in Russian]
4. Howe B.K. Osnovy inzhenernogo gruntovedeniya. Perevod s angliyskogo yazyka i obshchaya redaktsiya d.t.n., professora Maslova N.N. [Fundamentals of Engineering Soil Science. Translation from English and general editing by Doctor of Technical Sciences, Professor N.N. Maslov.] Moscow: Stroyizdat, 1966. 457 p. [in Russian]
5. Afanasyev I.A., Lebedev B.M. Puti povysheniya prochnosti tsementogruntovykh osnovaniy uplotneniyem [Ways to increase the strength of cement-soil foundations by compaction] // Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov [Interuniversity collection of scientific papers] Osnovaniya i fundamenty v geologicheskikh usloviyakh Urala [Foundations and foundations in the geological conditions of the Urals.] Perm: RIO Perm State Technical University, 1994. P.136-141. [in Russian]
6. Kondratov A.B., Malinin A.G., Gulyaev A.A. Issledovaniye ob"yemnoy prochnosti porodobetona na osnove peska i tamponazhnogo tsementa [Study of bulk strength of rock concrete based on sand and oil well cement] // Trudy mezhdunarodnoy konferentsii po problemam svaynogo fundamentostroyeniya. - fundamenty [Proceedings of the international conference on problems of pile foundation construction. - foundations] Perm: RIO Perm State Technical University, 1996. Volume III. P.151-156. [in Russian]
7. Arkhangel'skaya T.M. Geotekhnicheskiye svoystva tsementogrunta [Geotechnical properties of cement soil] // Sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Collection of articles of the international scientific and technical conference] / Geotekhnika Belarusi: nauka i praktika. [Geotechnics of Belarus: science and practice] Minsk: BNTU, 2008. P. 286-292. [in Russian]
8. Sobolev E.S., Ter-Martirosyan A.Z., Morev D.S. Eksperimental'nyye issledovaniya skorostey uprugikh poperechnykh voln v gruntotsemente v zavisimosti ot plotnosti, vlazhnosti i napryazhennogo sostoyaniya [Experimental studies of the velocities of elastic transverse waves in soil cement depending on density, moisture content and stress state] // Geotechnics. - M., 2019. No.3. P. 6-21. [in Russian]
9. Levchenko A.V., Putilin E.I. Ukrepleniye pereuvlazhnennykh gruntov v dorozhnom i aerodromnom stroitel'stve [Strengthening waterlogged soils in road and airfield construction] // Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov / Osnovaniya i

- fundamenty [Interuniversity collection of scientific papers / Foundations and foundations] Perm: RIO Perm Polytechnic Institute, 1979. P.166-172. [in Russian]
10. Sogancin Ali Sinan. Prochnostnyye kharakteristiki shinno-peschanykh smesey [Strength characteristics of tire-sand mixtures] // Strength characteristics of tire-sand mixtures [Foundations, foundations and soil mechanics] M: Stroyizdat, 2014. No.5. P. 25-27. [in Russian]
  11. Shanshabaev N.A., Usenbaev B.U., Turlybaeva B. Issledovaniye fosfogipsa dlya ispol'zovaniya v kachestve osnovaniya [Study of phosphogypsum for use as a base] // Trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii / Sovremennaya stroitel'naya nauka, sostoyaniye i perspektivy razvitiya. [Proceedings of the international scientific and practical conference / Modern construction science, state and development prospects] Almaty: KazNISSA, 2016. P. 91-93.
  12. Kuznetsova A.S., Ofrikhter V.G., Ponomarev A.B. Issledovaniye prochnostnykh kharakteristik peska, armirovannogo diskretnymi voloknami polipropilena [Study of strength characteristics of sand reinforced with discrete polypropylene fibers] // Vestnik PNIPU / Stroitel'stvo i arkhitektura [Bulletin of PNIPU / Construction and architecture] Perm: PNIPU, 2012. No. 1. P.44-55. [in Russian]
  13. Ofrikhter V.G., Ofrikhter Ya.V. Otsenka mekhanicheskoy polzuchesti fibropeska po rezul'tatam kompressionnykh ispytaniy [Evaluation of mechanical creep of fiber sand based on the results of compression tests] // Izvestiya Kazanskogo GASU / Osnovaniya i fundamenta, podzemnyye sooruzheniya [News of Kazan State University of Architecture and Civil Engineering / Foundations and bases, underground structures] Kazan: KSUACE, 2014. No.4(30). P.222-229. [in Russian]
  14. Kolesova A.S., Shangina Yu.M., Grishina A.S. Analiz effektivnosti primeneniya fibroarmirovannogo peska pri ustroystve nasypey avtomobil'nykh dorog i obratnoy zasyпки podpornykh sten [Analysis of the efficiency of using fiber-reinforced sand in the construction of road embankments and backfilling of retaining walls] // Geotechnics. M., 2016. No.4. P.10-15. [in Russian]
  15. Grishina A.S. Analiz raboty fibroarmirovannogo grunta v kachestve obratnoy zasyпки uderzhivayushchikh konstruktsiy: dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. [Analysis of the performance of fiber-reinforced soil as backfill for retaining structures: dissertation for the degree of candidate of technical sciences] Specialty: 2.1.2. – Perm: PNIPU, 2022. 121 p. [in Russian]
  16. Bekbasarov I.I. Opredeleniye diametra uplotnennoy zony grunta, formiruyushchey vokrug vytrambovyvayemogo kotlovana neglubokogo zalozheniya [Determination of the diameter of the compacted soil zone formed around a shallow rammed pit] // Proceedings of KSTU. - Karaganda, 2004. No 4(17). P. 85-88. [in Russian]
  17. Bekbasarov I.I., Alimbaev B.A. Ob opredelenii diametra uplotnennoy zony, formiruyushchey v grunte vokrug fundamenta s ushirenym osnovaniyem [On determining the diameter of the compacted zone formed in the soil around a foundation with a widened base] // Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii po problemam vodnogo khozyaystva [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference on Water Management Problems] Taraz, 2006. P.251-255. [in Russian]
  18. Bekbasarov I.I. Osnovy ratsional'nogo vytrabovyvaniya kotlovanov pod fundamenty. Monografiya. [Fundamentals of rational excavation of foundation trenches. Monograph] // Taraz: Taraz University Publishing House, 2011. 155 p. [in Russian]
  19. Boldyrev G.G., Malyshev M.V. Mekhanika gruntov. Osnovaniya i fundamenty [Soil Mechanics. Foundations and Footings] [Text]: textbook / 4th ed., revised and enlarged. – Penza: PGUAS, 2009. – 412 p. [in Russian].