

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **045723**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.12.20

(21) Номер заявки
202390809

(22) Дата подачи заявки
2023.04.06

(51) Int. Cl. **E01C 7/04** (2006.01)
E01C 7/02 (2006.01)
E01C 7/00 (2006.01)
E01B 1/00 (2006.01)

(54) **БАЛЛАСТНАЯ ПРИЗМА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ**

(43) **2023.12.19**

(96) **2023000061 (RU) 2023.04.06**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ
ОБЩЕСТВО "РОССИЙСКИЕ
ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ" (RU)**

(72) Изобретатель:
**Ашпиз Евгений Самуилович, Загитов
Эльдар Данилович, Соболев Даниил
Николаевич (RU)**

(74) Представитель:
Наумова М.А. (RU)

(56) RU-U1-111543
RU-U1-79569
CN-A-109267442
EP-A1-3071753

(57) Изобретение относится к конструкции верхнего строения железнодорожного пути, а именно к зерновому (гранулометрическому) составу балластной призмы железнодорожного пути, которая используется в подшпальном основании для снижения нагрузок, передаваемых на основную площадку земляного полотна, балластная призма железнодорожного пути, характеризующаяся тем, что состоит из смеси щебня следующего зернового состава, мас. %: фракция 50-63 мм 5-15; фракция 45-50 мм 15-30; фракция 40-45 мм 13-20; фракция 30-40 мм 32-20; фракция 25-30 мм 15-5; фракция 20-25 мм 8-5; фракция 10-20 мм 10-4, весь оставшийся массовый объем фракция щебня менее 10 мм, при этом секущий модуль деформации балластной призмы составляет не менее 80 МПа при вертикальном давлении до 325 кПа. Обеспечивается повышение удельного сцепления и одновременно увеличение объемного и касательного модулей деформации за счет массово-габаритных характеристик зернового (гранулометрического) состава балластной призмы, а также повышение стабильности геометрии рельсовой колеи за счет повышения деформационных и прочностных характеристик, что снижает динамическое воздействие от подвижного состава и увеличивает долговечность конструкции железнодорожного пути в целом.

B1

045723

045723

B1

Область техники

Изобретение относится к конструкции верхнего строения железнодорожного пути, а именно к зерновому (гранулометрическому) составу балластной призмы железнодорожного пути, которая используется в подшпальном основании для снижения и распределения нагрузок, передаваемых на основную площадку земляного полотна.

Балластный слой должен обеспечивать стабильное положение геометрии рельсовой колеи как по уровню (горизонтали и вертикали), так и в продольном направлении железнодорожного пути.

Уровень техники

Из уровня техники известен источник информации RU 2431008 С2, 10.10.2011 (аналог), в котором раскрывается изобретение, касающееся способа производства балластных призм для их использования в сооружении рельсовых путей и в дорожном строительстве, а также в сооружении валов (дамб, запруд, земляных плотин). Балластная призма в указанном источнике состоит из балластного слоя из щебня и из полиуретановых пенопластов на основе реакционной смеси, состоящей из полиизоцианатов и соединений, имеющих группы, реакционноспособные по отношению к изоцианатным группам.

Технический результат известного технического решения заключается в повышении стабильности и сроков эксплуатации балластных призм.

К недостаткам известного из уровня техники технического решения можно отнести применение технологии вспенивания (добавление в пустоты балластной призмы связующих растворов), которую применяют для рельсового пути, а именно балластной призмы, что существенно нарушает паро- и водоотведение от земляного полотна железнодорожного пути, нарушает фильтрационную способность балластной призмы, поскольку использование связующих растворов, в большинстве случаев имеющих водонепроницаемые свойства, не позволяют влаге свободно проходить через балластную призму.

Скопление воды в толще объема балластной призмы и земляного полотна негативно сказывается на ресурсе (долговечности) конструкции железнодорожного пути, поскольку может приводить к морозному пучению водонасыщенных грунтов, тем самым изменяя объем грунта и, как следствие, нарушая стабильную работу железнодорожного пути.

Кроме того, использование данной технологии вспенивания связующих растворов в толщу объема балластной призмы, приводит к образованию монолитных тел, состоящих из скрепленных между собой зерен щебня и пенополиуретана (как правило).

Однако, при проведении работ по текущему содержанию железнодорожного пути и его ремонтов, омоноличивания отдельных зерен щебня в кластеры (объединение нескольких зерен щебня в единую конструкцию, укрупнение зерен) повышают трудоемкость выполнения работ, связанных в первую очередь с возможностью проведения выправочных работ для постановки рельсовой колеи в проектное положение, вследствие того, что образованные монолитные тела имеют большие массогабаритные параметры и превращает балластную призму из сыпучего тела в монолитное. При проведении ремонтных работ и текущего содержания железнодорожного пути сыпучим телом намного проще корректировать геометрию рельсовой колеи, в отличие от монолитных тел, при которых указанные выше работы с балластной призмой более трудоемки.

Также стоит отметить о недостатках такого типа укрепления балластной призмы, связанных с трудностями, вызванными утилизацией пенополиуретана после замены балластной призмы железнодорожного пути, что также оказывает негативное влияние и на окружающую среду с точки зрения экологии. При естественном распаде, а также при нагреве полиуретан выделяет в атмосферу производные фенолов и формальдегида, которые являются ядовитыми веществами.

Из уровня техники известен источник информации RU 179905 U1, 28.05.2018, в котором раскрыта конструкция, балластной призмы рельсового пути, содержащая щебеночный слой, зерна которого соединены связующим, причем щебеночный слой выполнен в виде двухкомпонентного монолитного композита, зерна щебня которого соединены связующим по зонам контакта, на глубину укрепления балластной призмы, при этом, по крайней мере, одна из зон контакта композита включает соединительный слой между двумя щебенками мелкой и/или крупной фракций из отвердевшего вяжущего из реакционноспособной смеси (РСС), обволакивающего зерно щебня по элементам его шероховатости и геометрии, при этом, по крайней мере, одна из зон контакта композита, дополнительно включает, по крайней мере, один соединительный слой отвердевшего вяжущего из РСС, контактирующий с зерном щебенки в межзерновом пространстве и, по крайней мере, одно отвердевшее вяжущее в виде нити в межзерновом пространстве между неконтактирующими участками зерна щебня.

Недостатками известного технического решения, а именно конструкции балластной призмы являются укрепление связи между зернами поверхностного слоя балластной призмы лишь в точках их соприкосновения, которые являются концентраторами напряжений, нарушение связей которых приводит к быстрой деградации свойств полученных за счёт данного усиления.

Кроме того, известному техническому решению присущи недостатки, описанные выше, а именно усложнение проведения ремонтов и текущего содержания железнодорожного пути, а также сам процесс укрепления балластной призмы является трудоемким, поскольку перед укладкой щебня в железнодорожный путь его необходимо смешать с РСС, что является крайне сложным технологическим процессом,

а это в свою очередь приводит к существенному удорожанию и замедлению проведению ремонтных работ.

Из уровня техники известен источник информации RU 111543 U1, 20.12.2011, в котором раскрыта конструкция дорожной одежды, состоящая из основания, которое включает дренирующий слой, щебеночное основание и асфальтобетонное покрытие, при этом щебеночное основание выполнено из щебеночно-песчаной смеси осадочных известняковых горных пород, при этом щебеночно-песчаная смесь имеет следующий гранулометрический состав: фракция 40-80 мм 25-30%, фракция 20-40 мм 25-30%, фракция 10-20 мм 18-22%, фракция 5-10 мм 5-7%, фракция 0-5 мм свыше 8%, при этом динамический модуль упругости щебеночного основания составляет не менее 65 МПа.

К недостаткам известного технического решения, следует отнести то, что данный зерновой состав состоит более чем на 50% из мелких фракций (менее 20 мм), что позволяет сделать вывод о низком содержании пустот в известном сыпучем теле, данный факт позволяет сделать вывод о том, что балластная призма, сложенная из такого зернового состава, будет обладать ограниченной аккумулятивной способностью, которая обуславливает способность накопления мелких частиц-загрязнителей, которые при накоплении меняют физико-механические свойства балластной призмы, т.е. объем накопления таких частиц довольно мал, из-за низкого содержания пустот в объеме балластной призмы, а также это приводит к снижению прочностных и деформационных характеристик.

Кроме того, известное техническое решение с таким зерновым составом будет приводить к снижению дренирующих функций балластной призмы, поскольку объем пустот в объеме балластной призмы, через который осуществляется водоотведение, достаточно мал, так как больше половины объема зернового состава состоит из мелких фракций щебня (менее 20 мм), что снижает при их комбинации пустоты или делает их объем незначительным.

Данное обстоятельство может повлечь за собой инфильтрацию частиц нижележащих слоев, а также приводит к снижению прочности.

Прочность сыпучего тела (балластной призмы) характеризуется сопротивлением сдвигу (возможностью тела сопротивляться сдвиговым деформациям), которое описывается функцией с двумя параметрическими значениями: углом внутреннего трения, который описывает угол наклона зависимости сопротивления сдвига от нормальных вертикальных напряжений и удельного сцепления, которое обусловлено величиной прямолинейной зависимости сопротивления срезам от давления.

В свою очередь, снижение прочности приводит к локальным сдвиговым деформациям щебня, а это в свою очередь нарушает положение геометрии рельсовой колеи, повышению динамических воздействий от подвижного состава на железнодорожный путь, а также к снижению сопротивления железнодорожного пути сдвигу.

Из проработанного существующего уровня техники видно несколько серьезных недостатков, например укрепление балластной призмы с применением полиуретановых пенопластов нарушает паро- и водоотведение от конструкции железнодорожного пути, которое приводит к водонасыщению грунтов основной площадки земляного полотна, что в свою очередь негативно сказывается на её прочностных и деформационных свойствах, а также может приводить к морозному пучению грунтов. Укрепление балластной призмы с применением РСС значительно увеличивают трудоёмкость ремонтов и текущего содержания железнодорожного пути. Балластный слой из мелких зёрен обладает меньшим количеством пустот, следовательно аккумулятивные способности щебня ниже, это приводит к тому что «выплески» появляются раньше, а они в свою очередь снижают сопротивления сдвиговым деформациям рельсошпальной решетки в поперечном направлении пути.

Раскрытие сущности изобретения

Задачей, на решение которой направлено заявляемое изобретение, является устранение недостатков известного уровня техники, а именно повышение ресурса (долговечности) при эксплуатации балластной призмы железнодорожного пути.

Технический результат, достигаемый при осуществлении заявляемого изобретения, заключается в обеспечении повышения удельного сцепления балластной призмы с одновременным увеличением объемного и касательного модулей деформации за счет массово-габаритных характеристик зернового (гранулометрического) состава щебня балластной призмы.

Как следствие применения зернового (гранулометрического) состава щебня с заявляемыми характеристиками приведёт к повышению стабильности геометрии рельсовой колеи за счет повышения деформационных и прочностных характеристик, что позволит распределить равномерно давление в толще балластного слоя и увеличит долговечность конструкции железнодорожного пути в целом.

Сущность технического решения заявляемого изобретения заключается в том, что балластная призма железнодорожного пути, характеризующаяся тем, что состоит из смеси щебня следующего зернового состава, мас. %: фракция 50-63 мм 5-15; фракция 45-50 мм 15-30; фракция 40-45 мм 13-20; фракция 30-40 мм 32-20; фракция 25-30 мм 15-5; фракция 20-25 мм 8-5; фракция 10-20 мм 10-4, остальное фракция щебня менее 10 мм, при этом секущий модуль деформации балластной призмы составляет не менее 80 МПа при вертикальном давлении до 325 кПа.

Новым в заявляемом изобретении является массово-габаритные характеристики зернового (грану-

лометрического) состава щебня балластной призмы.

Заявляемое изобретение, а именно балластный слой железнодорожного пути, с зерновым составом щебня, входящим в него, полученный путем смешивания разных по габаритам количеств фракций щебня, а также комбинаций их содержания по массовым процентам, значительно повысило деформационные и прочностные характеристики балластного слоя железнодорожного пути, что позволило достичь меньших деформаций от динамических нагрузок подвижного состава, а также привело к снижению перемещений между зёрнами щебня, что, в свою очередь, снизило истирания зерен фракций щебня в процессе эксплуатации балластной призмы, кроме того, повысило сопротивление сдвиговым деформациям рельсошпальной решетки.

Как следствие, указанные выше положительные эффекты обеспечивают повышение долговечности эксплуатации балластной призмы.

Использование в зерновом составе 7 фракций щебня, а именно 50-63 мм; 45-50 мм; 40-45 мм; 30-40 мм; 25-30 мм; 20-25 мм; 10-20 мм; с шагом размера зерна щебня не более 10 мм, позволяет скомбинировать крупные и мелкие фракции щебня с увеличением числа точек контакта (концентраторов напряжений), что обеспечивает снижение абсолютных значений напряжений, а также позволяет

распределить их более равномерно по всему объёму балластной призмы, что в свою очередь приводит к снижению разрушения наиболее нагруженных зёрен щебня.

Увеличение точек контакта между зёрнами щебня балластной призмы с помощью мелких фракций вместо усиления существующих незначительных контактов повышает их (точек контакта) количество в разы, что приводит к более равномерному распределению напряжений внутри балластной призмы, а также снижает абсолютные значения напряжений в точках контакта.

Данное обстоятельство приводит к меньшим деформациям балластной призмы, повышению стабильности геометрии рельсовой колеи, снижает засорение дренирующих пустот продуктами собственного разрушения, поскольку при малом количестве точек контакта (как в известном уровне техники) на них возрастают значения контактных напряжений, что приводит к разрушению зерен щебня на более мелкие фракции, которые снижают паро- и водоотведение.

Кроме того, более равномерное распределение напряжений заявляемого изобретения обеспечило равноупругие характеристики подшпального основания, позволяющее равномерно накапливать остаточные деформации в продольном направлении пути, что также снижает динамические нагрузки от подвижного состава.

Еще одним показателем, обуславливающим достижение заявляемого технического результата, является массовая характеристика каждой из указанной в зерновом составе фракции щебня, выраженная в массовых процентах.

Данный показатель, выраженный в виде интервала числовых значений, обусловлен тем, что при производстве фракций щебня невозможно контролировать зерновой состав с точностью до процента. Зерновые составы щебня указываются с допустимыми интервалами.

Так, например, если в зерновой состав щебня балластной призмы будет входить большое количество (более 20 мас.%) крупной фракции (50-63 мм), это приведет к тому, что шпала будет опираться на небольшое количество зерен щебня, что приведет к снижению площади контакта шпалы с балластной призмой, и тем самым передаёт нагрузку лишь на малую площадь опирания шпалы, что создаст значительные нагрузки на зёрна щебня, что может вызвать их разрушение.

Кроме того, это влечёт за собой появление отступлений и неисправностей в геометрии рельсовой колеи и вызывает повышение динамического воздействия от подвижного состава на железнодорожный путь.

Однако, стоит отметить, что зерновой состав щебня для балластной призмы, состоящий только из крупной фракции щебня (50-63 мм), обладает большими пустотами (пространством между зёрнами щебня), что значительно повышает аккумулятивную и дренирующую способности балластной призмы, а также более равномерно распределяет напряжения по глубине балластной призмы.

Таким образом, оптимальное количество крупной фракции щебня, обеспечивающее как аккумулятивные и дренирующие способности балластной призмы, так и равномерное распределение нагрузок на зерна щебня, было рассчитано с помощью показателя коэффициента неоднородности и деформационных показателей балластной призмы.

Для того, чтобы увеличить количество точек контакта, а также снизить значения напряжений в их концентраторах (точки концентрирования напряжений) в зерновой состав балластной призмы добавляется более мелкие фракции щебня 20-25 мм; 10-20 мм, в количестве от 9-18 мас.%.

Усиление балластной призмы железнодорожного пути с помощью добавления в оптимальном количестве мелких частиц не мешает паро- и водоотведению газов и жидкостей от конструкции железнодорожного пути, так как в отличие от вяжущих веществ данный метод усиления не нарушает пористость зерен щебня.

При этом добавление мелких фракций в зерновой состав не должно быть в большом количестве (более 20 мас.%), так как они снижают пустотность (пространством между зёрнами щебня), что оказывает негативное влияние на аккумулятивную и дренирующую способности щебня балластной призмы.

Балластная призма, сложенная из комбинации крупных и мелких фракций щебня, остаётся сыпучим телом, что не приводит к увеличению трудозатрат, как при методах использующих омоноличивание.

Щебень, сложенный из "чистых" фракций, без добавления полимерных вяжущих и полиуретановых пенопластов, не воздействует отравляюще на окружающую среду, а также может быть использован повторно в более простых эксплуатационных условиях (например, на подъездных или станционных путях).

Комбинация только крупных и мелких фракций заполняет пустоты между зернами щебня в ограниченном объёме, так как их габаритных характеристик не хватает для заполнения пустот между крупными фракциями. Для лучшей заполняемости свободного пространства добавляются промежуточные фракции щебня 45-50 мм; 40-45 мм; 30-40 мм; 25-30 мм, в количестве, мас. %: 15-30; 13-20; 20-32; 5-15; соответственно, которые были рассчитаны на основе двух интервалов числовых количественных значений крупных и мелких фракций, с учётом коэффициента неоднородности щебня.

Объём пустот у балластной призмы, сложенной из различных фракций, обладает большим количеством пустот, чем щебень, сложенный из одной лишь мелкой фракции.

Такая комбинация фракций зернового состава щебня позволила увеличить количество точек контакта, что снизило значения напряжений в точках контакта зёрен фракций щебня, а также повысило деформационные и прочностные характеристики балластной призмы.

Наличие в зерновом составе щебня фракции с размерами зерен менее 10 мм обусловлено тем, что в процессе производства, а также при транспортировке щебня до мест укладки невозможно добиться их отсутствия, так как под вибрационными воздействиями при доставке щебня к месту эксплуатации происходит незначительное истирание и разрушение зерен щебня.

Кроме того, стоит отметить, что в рамках заявляемого изобретения, деформационные характеристики балластной призмы, характеризовались при помощи значения секущего модуля деформации, которые были получены при максимально допустимом давлении шпалы на балласт от подвижного состава, которое в соответствии с нормативным документом в железнодорожной области техники составляет 325 кПа (Методика оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения надёжности, утверждённая распоряжением ОАО "РЖД" от 22 декабря 2017 г. № 2706р).

При этом для заявляемой балластной призмы железнодорожного пути, с указанным выше зерновым составом щебня полученный секущий модуль деформации балластной призмы составил не менее 80 МПа при вертикальном давлении до 325 кПа, что указывает на меньшее количество перемещения зерен щебня под нагрузкой, по сравнению с известным уровнем техники.

Результаты, полученные в ходе проведения экспериментов, подтверждающие данные утверждение, приведены ниже.

Таким образом, основными положительными эффектами заявляемого изобретения, достигаемыми за счёт включения в состав балластной слоя комбинации различных фракций щебня, является:

- увеличение количества точек контакта между частицами, что приводит к снижению абсолютного значения напряжений в их точках контакта и более равномерному распределению напряжений;
- увеличение деформационных характеристик балластной призмы железнодорожного пути;
- снижение перемещений зерен, друг относительно друга в толще балластного слоя, что приводит к увеличению долговечности при эксплуатации балластной призмы;
- увеличение удельного сцепления щебня, что повышает сопротивление выбросу железнодорожного пути.

Краткое описание чертежей

Сущность заявляемого изобретения, балластной призмы железнодорожного пути, поясняется ниже-следующим описанием и иллюстрациями, на которых показано:

Фиг. 1 представлен внешний вид балластной призмы.

Фиг. 2 представлен вид установки для проведения трёхосного сжатия.

Фиг. 3 представлена диаграмма, отображающая сравнение точек контакта зерен щебня для разных фракционных составов балластной призмы.

Осуществление изобретения

На фиг. 1 представлен вид балластной призмы, с указанием её составных элементов.

Так балластная призма состоит из двух откосов (1), поддерживающих балластную призму от расползания в поперечном направлении, двух плеч (2), удерживающих рельсо-шпальную решетку от поперечных деформаций, подшпального основания (3), на которое опирается шпала (4), указанные участки состоят из щебня заявляемого зернового состава (5), при этом балластная призма располагается на основании (6).

В подтверждение заявляемого технического результата, заключающегося в повышении удельного сцепления с одновременным увеличением объемного и касательного модулей деформации за счет массо-габаритных характеристик зернового (гранулометрического) состава балластной призмы, были проведены испытания методом трёхосного сжатия образцов зерновых составов щебня, используемых в конструкции заявляемой балластной призмы, а также составов щебня известного уровня техники.

Под удельным сцеплением щебня (грунтов) (с, кПа) понимается параметр прямой зависимости сопротивления щебня (грунтов) срезу от вертикального давления, определяемый как отрезок прямой на оси

ординат (Болдырев Г.Г. Методы определения механических свойств грунтов. Состояние вопроса: монография / Г.Г. Болдырев. - Пенза: ПГУАС, 2008. 696 с).

Касательным модулем деформации (E_{tan} , МПа), является характеристика щебня (грунта), которая описывает его сжимаемость и связывающая напряжения с деформациями (Болдырев Г.Г. Методы определения механических свойств грунтов. Состояние вопроса: монография / Г.Г. Болдырев. Пенза: ПГУАС, 2008. 696 с).

Секущим модулем деформации является приращение механического напряжения, вызывающее единичное приращение относительной деформации щебня (грунта) соответствующего вида (сдвига, линейного или объемного сжатия) и рассчитываемое как отношение приращения приложенных напряжений к возникшему при этом общему приращению деформаций щебня (грунта) (Болдырев Г.Г. Методы определения механических свойств грунтов. Состояние вопроса: монография / Г.Г. Болдырев. Пенза: ПГУАС, 2008. 696 с).

Модуль объёмной деформации (K , МПа) характеристика деформируемости щебня (грунта), определяемая отношением среднего нормального напряжения к объёмной деформации (ГОСТ 12248.3-2020 Грунты. Определение характеристик прочности и деформируемости методом трёхосного сжатия. -М: Стандартинформ, 2020. - 31с).

Испытания по определению прочностных и деформационных характеристик проводились на системе измерительной "АСИС 2017" (номер свидетельства о поверке С-ВМ/01-02-2022/128275803 от 1 февраля 2022 года).

На фиг. 2 представлен вид установки для проведения трёхосного сжатия, где 7 - основание камеры; 8 - корпус камеры; 9 - шток; 10 - образец в оболочке; 11 - верхний штамп; 12 - нижний штамп; 13 и 14 - магистрали системы дренажа (соответственно), измерения порового давления и противодействия; 15 - магистраль давления в камере.

Метод трёхосного сжатия заключается в том, что на образец, погруженный в эластичную оболочку (10), прикладывается постоянное боковое давление (16), а через верхний штамп (11) прикладывается вертикальное разрушающая нагрузка (17). Шток (9), соединённый с верхним штампом (11), фиксирует вертикальные перемещения, а в магистрали давления камеры (15) находится датчик (не показан), фиксирующий изменение объёма жидкости в камере. В соответствии с полученными числовыми значениями изменения объёма жидкости, а также вертикальных перемещений определяются прочностные и деформационные характеристики (согласно ГОСТ 12248.3-2020).

Зерновой состав щебня заявляемой балластной призмы был составлен с учётом коэффициента неоднородности сыпучих тел.

Согласно (Г.М. Шахунянц, Железнодорожный путь. - М.: Транспорт, 1969. 536 с.) коэффициент неоднородности это величина, описывающая зерновой (гранулометрический) состав сыпучего тела. Определяется данная величина, как отношение линейного размера частиц, которых по массе содержится менее 60% к линейному размеру частиц, которых по массе меньше 10%:

$$k = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Для того, чтобы мелкие зёрна щебня не заполняли пустоты, которые выполняют дренирующую и аккумулятивную функции, коэффициент неоднородности должен находиться в пределах от 1 до 3 (UIC CODE 719 R Earthworks and track bed for railway lines, International Union of Railways, 2008. 117 p.).

При испытаниях зерновых составов щебня заявляемой балластной призмы и известных из уровня техники использовались следующие составы щебня.

А. Зерновой состав 1, в масс. %:

фракция щебня 63 – 80 мм 0 – 3 %;

фракция щебня 50 – 63 мм 0 – 32 %;

фракция щебня 40 – 50 мм 35 %;

фракция щебня 31,5 – 40 мм 50 – 29%;

фракция щебня 22,4 – 31,5 мм 13 – 1 %;

весь оставшийся массовый объём менее 22,4 мм.

Б. Зерновой состав 2, в масс. %:

фракция щебня 38 – 50 мм 0 – 10 %;

фракция щебня 25 – 38 мм 20 – 45 %;

фракция щебня 19 – 25 мм 65 – 45 %;

фракция щебня 10 – 19 мм 10 – 0 %;

весь оставшийся массовый объём менее 10 мм.

В. Зерновой состав 3 (согласно заявляемого изобретения), в масс. %:

фракция 50 – 63 мм 5 – 15 %;

фракция 45 – 50 мм 15 – 30 %;

фракция 40 – 45 мм 13 – 20 %;

фракция 30 – 40 мм 32 – 20;

фракция 25 – 30 мм 15 – 5 %;

фракция 20 – 25 мм 8 – 5 %;

фракция 10 – 20 мм 10 – 5 %

весь оставшийся массовый объём менее 10 мм.

В результате проведенных испытаний были получены следующие экспериментальные данные, представленные в табл. 1-3.

Поскольку, заявляемый технический результат достигается количественными значениями, выраженными в виде интервала непрерывно изменяющихся значений параметра (массово-габаритными), то значения прочностных и деформационных характеристик определялись для трех точек: минимального, среднего (промежуточного) и максимального значения каждого из интервалов параметров.

Таблица 1

Прочностные и деформационные характеристики щебня (грунта) для минимальных значений, массовых параметров зерновых составов щебня

Исследуемые составы щебня балластной призмы	Прочностные характеристики	Деформационные характеристики	
		c , кПа	E_{tan} , МПа
Зерновой состав 1	50,1	52,845	95,464
Зерновой состав 2	20,3	79,1	85,22
Зерновой состав 3	85,1	103,5	112

Согласно представленным в табл. 1 экспериментальным данным для минимальных значений массовых параметров зернового состава щебня следует, что удельное сцепление (c) зернового состава щебня под номером 3 (заявляемого изобретения) составляет 85,1 кПа, что больше в 1,69 и 4,19 раз, чем удельное сцепление (c) зерновых составов щебня известного уровня техники (составы 1 и 2 соответственно).

Также наилучшими деформационными свойствами обладает зерновой состав щебня 3 (заявляемое изобретение), у которого касательный модуль деформации (E_{tan}) составил 103,5 МПа, что значительно больше, чем у известных из уровня техники зерновых составов 1 и 2, значения которых равнялись соответственно 52,8 и 79,1 МПа.

Кроме того, модуль объемной деформации (K), характеризующий перемещения щебня не только в вертикальном направлении, а также в продольном и поперечном, оказался значительно выше значений зерновых составов щебня (составы 1 и 2 известного уровня техники), а именно 112 МПа, против 95,46 и 85,22 соответственно.

Таблица 2

Прочностные и деформационные характеристики щебня (грунта) для промежуточных (средних) значений, массовых параметров зерновых составов щебня

Исследуемые составы щебня балластной призмы	Прочностные характеристики	Деформационные характеристики	
	c , кПа	E_{tan} , МПа	K , МПа
Зерновой состав 1	47,2	64,25	83,72
Зерновой состав 2	27	47,2	69
Зерновой состав 3	88,9	72,13	81

Согласно представленным в табл. 2 экспериментальным данным для максимальных значений массовых параметров зернового состава щебня следует, что удельное сцепление (c) зернового состава щебня под номером 3 (заявляемого изобретения) составляет 88,9 кПа, что больше в 1,88 и 3,29 раз чем удельное сцепление (c) зерновых составов щебня известного уровня техники (составы 1 и 2 соответственно).

Также наилучшими деформационными свойствами обладает зерновой состав щебня 3 (заявляемое изобретение), у которого касательный модуль деформации (E_{tan}) составил 72,13 МПа, что значительно больше, чем у известных из уровня техники зерновых составов 1 и 2, значения которых равнялись соответственно 64,25 и 47,2 МПа.

Кроме того, модуль объёмной деформации (K), характеризующий перемещения щебня не только в вертикальном направлении, а также в продольном и поперечном, оказался у зернового состава 3 значительно выше значения зернового состава щебня 2 известного уровня техники, а именно 81 МПа, против 69 МПа.

Однако максимальное значение модуля объёмной деформации было достигнуто зерновым составом щебня 1, которое составило 83,72 МПа, при этом значение модуля объёмной деформации для заявляемого изобретения составило 81 МПа, что всего лишь на 2,72 МПа отличается от максимального полученного значения зернового состава 1, что составляет менее 3%.

При этом стоит учесть, что референсные значения исследуемых параметров, таких как удельное сцепление, касательный модуль деформации для известных из уровня техники составов 1 и 2 отличаются в разы от заявляемого состава 3, а коэффициент объёмной деформации (K) заявляемого зернового состава 3 отличается от максимального значения зернового состава 1 всего лишь в пределах 3%, что указывает на лучший суммарный положительный эффект от применения заявляемого зернового состава щебня 3, по сравнению с зерновыми составами щебня 1 и 2 известного уровня техники.

Таблица 3

Прочностные и деформационные характеристики щебня (грунта) для максимальных значений, массовых параметров зерновых составов щебня

Исследуемые составы щебня балластной призмы	Прочностные характеристики	Деформационные характеристики	
	c , кПа	E_{tan} , МПа	K , МПа
Зерновой состав 1	46,3	59,94	130,1
Зерновой состав 2	28,7	65,12	97,5
Зерновой состав 3	98	74,533	127,66

Согласно представленным в табл. 3 экспериментальным данным следует, что удельное сцепление (c) зернового состава щебня 3 (заявляемого изобретения) составляет 98 кПа, что больше в 2,11 и 3,31 раз чем удельное сцепление (c) зерновых составов щебня известного уровня техники (составы 1 и 2 соответственно).

Также наилучшими деформационными свойствами обладает зерновой состав щебня 3 (заявляемое изобретение), у которого касательный модуль деформации (E_{tan}) составил 74,53 МПа, что значительно больше, чем у известных из уровня техники зерновых составов щебня 1 и 2, значения которых равнялось соответственно 59,94 и 65,12 МПа.

В отношении модуля объёмной деформации (K), характеризующей перемещения щебня не только в

вертикальном направлении, а также в продольном и поперечном, для максимальных значений интервалов параметров массово-габаритных характеристик стоит отметить, что также как и для средних (промежуточных) значений модуль объемной деформации для зернового состава щебня 3 не являлся максимальным.

Однако, как указывалось выше (см табл. 2) данное значение модуля объемной деформации отличается от максимального (зерновой состав щебня 1) несущественно, по сравнению с другими референтными показателями сравниваемых зерновых составов щебня, при этом суммарный положительный эффект от применения зернового состава щебня 3 (заявляемого изобретения) является лучшим по сравнению с зерновыми составами щебня 1 и 2 известного уровня техники.

Полученные незначительные отличия в значениях модуля объемной деформации, который в процентном соотношении составили менее 3%, между зерновыми составами щебня 1 и 3, обусловлены в первую очередь присутствием в первом зерновом составе щебня сверх крупных фракций (63-80 мм) как по габаритным, так и по массовым показателям, однако о недостатках такого зернового состава указывалось выше, а также подтверждено значениями референтных показателей, таких как удельное сцепление и касательный модуль деформации, что в совокупности с ними даёт менее стабильную работу балластной призмы, включающей зерновой состав щебня 1.

Кроме того, следует отметить, что зерновой состав щебня 3 (заявляемое изобретение) достиг схожих показателей модуля объемной деформации без использования в своём составе сверх крупных фракций.

Таким образом, полученные в ходе испытаний по трёхосному сжатию, экспериментальные данные указывают на обеспечение зерновым составом щебня 3 использованного в конструкции балластной призмы (заявляемое изобретение) минимальных деформаций, что снижает разрушения зерен щебня, предотвращая тем самым загрязнение её (балластной призмы) пустот продуктами собственного разрушения.

Как следствие, сохраняется паро- и водоотведение от конструкции железнодорожного пути, нагрузки, действующие на балластную призму, распределяются более равномерно по всему её объему, возрастает долговечность (ресурс) балластной призмы при её эксплуатации.

Для подтверждения равномерности распределения нагрузок по объему балластной призмы, который характеризуется увеличением числа точек контактов зерен щебня заявляемого изобретения и известного уровня техники были произведены расчёты в программном комплексе "Altair EDEM".

На фиг. 3 представлены результаты расчётов для 3 зерновых составов щебня.

Так для зернового состава щебня 1 количество точек контактов между зёрнами щебня составило: 114916, для зернового состава щебня 2: 116855, а для зернового состава щебня 3: 425071.

Полученные расчётные данные указывают на максимальное количество значение точек контакта у зернового состава щебня 3 (заявляемое изобретение).

Увеличение точек контакта между зёрнами щебня снижает значения напряжений в их концентраторах, что позволяет более равномерно передавать нагрузки по объему балластного слоя.

Таким образом, было установлено, что балластная призма железнодорожного пути с заявляемым зерновым составом щебня, обладающим указанными массово-габаритными параметрами, позволяет достичь повышения удельного сцепления балластной призмы с одновременным увеличением объемного и касательного модулей деформации, как следствие, продлить долговечность эксплуатации балластного слоя железнодорожного пути.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Балластная призма железнодорожного пути, характеризующаяся тем, что состоит из смеси щебня следующего зернового состава, мас. %:

фракция 50-63 мм 5-15;

фракция 45-50 мм 15-30;

фракция 40-45 мм 13-20;

фракция 30-40 мм 32-20;

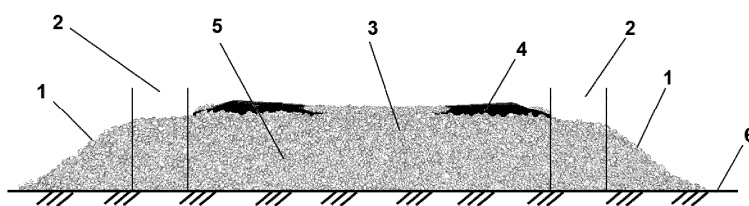
фракция 25-30 мм 15-5;

фракция 20-25 мм 8-5;

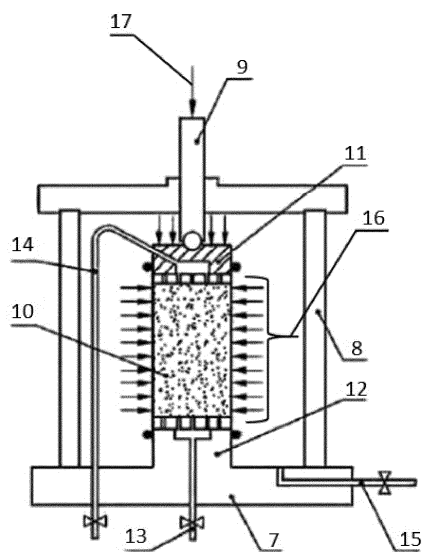
фракция 10-20 мм 10-4;

весь оставшийся массовый объём фракция щебня менее 10 мм,

при этом секущий модуль деформации балластной призмы составляет не менее 80 МПа при вертикальном давлении до 325 кПа.

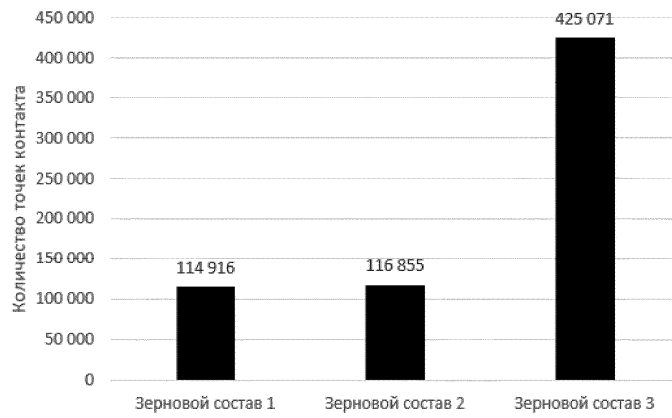


Фиг. 1



Фиг. 2

БАЛЛАСТНАЯ ПРИЗМА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ



Фиг. 3