



МРНТИ 73.29.81

Е.Т. Ауесбаев<sup>1</sup>, М.И. Арпабеков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казахская головная архитектурно-строительная академия, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>ТОО «Center Innovation», Нур-Султан, Казахстан

E-mail: eauesbaev@mail.ru, arpabekov\_m@mail.ru

## Усиление железнодорожного пути на участках с тяжеловесным и скоростным движением поездов

**Аннотация.** В статье описаны способы и методы усиления нижнего и верхнего строения железнодорожного пути для отдельных участков с тяжеловесным и скоростным движением поездов. Предложены размеры осадок рельса по центру колеса вагона, способы уменьшения упругих вертикальных деформаций верхнего строения железнодорожного пути под поездами, приведены предлагаемые конструкции пути для тяжеловесного движения грузовых поездов. Повышение прочности слабых грунтов верхнего земляного полотна до уровня прочных и гидрофобных за короткое время, возможно, включив стабилизацию грунтов основной площадки в программу капитального или среднего ремонта пути. Для этого необходимо применить высокопроизводительные технологии и механизации – например, технологии холодного ресайклинга. Необходимые машины и механизмы для стабилизации грунта основной площадки железнодорожного земляного полотна, используемые в транспортном строительстве – это цементовозы, распределители цемента (или золоцементной смеси), дорожные фрезы и ресайклеры, автогрейдеры, поливочные машины, катки и т.д. Также рассмотрены технические требования для скоростного движения пассажирских поездов.

**Ключевые слова:** железнодорожный путь; тяжеловесное движение; деформации земляного полотна, стабилизаторы, конечно-элементные модели железнодорожного пути, оптимальный прогиб рельса.

DOI: [doi.org/10.32523/2616-7263-2022-138-1-7-14](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2022-138-1-7-14)

### Введение

Недостаток провозной способности отдельных участков железных дорог Республики Казахстан заставляет вводить тяжеловесное движение поездов, в которых вес поезда превышает 6000т, а статическая осевая нагрузка вагонов составляет 25-27 тс/ось. Повышение нагрузки на элементы пути приводит к росту их упругих и остаточных деформаций. Уже при осевых вагонных нагрузках в 20тс/ось возникают многочисленные вертикальные деформации основной площадки земляного полотна, которые приходится устранять подъемками пути на балласт.

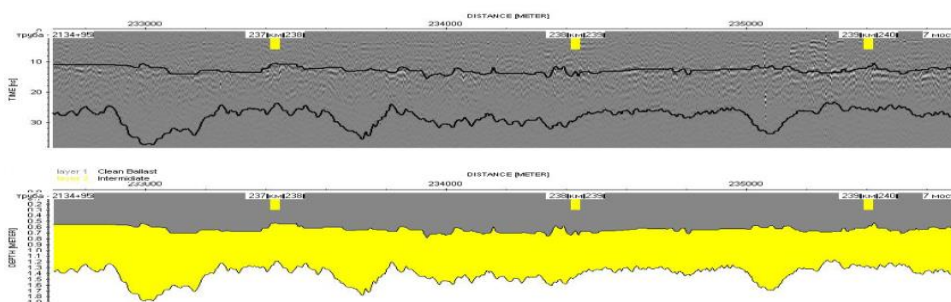


Рисунок 1. Деформации верхнего земляного полотна из глинистых грунтов в процессе эксплуатации (желтым показана песчаная подушка под щебнем)

На рисунке 1 приведены результаты съемки деформаций пути георадаром перед капитальным ремонтом пути. На всем протяжении путь покрыт просадками, перекосами, участками с грязевыми выплесками, а зимой пучинами разной высоты. По данным ОАО «Российские железные дороги», увеличение осевой вагонной нагрузки с 20тс/ось к 25тс/ось приводит к росту интенсивности деформаций пути не менее, чем на 20%. В итоге из-за потребности в проведении ремонтов пути снижается доступность инфраструктуры и растут эксплуатационные расходы. Анализ мирового опыта тяжеловесного движения [1] показал, что снижение эксплуатационных расходов при тяжеловесном движении достигается при уменьшении вертикальных осадок рельсов под колесами до 2.5-3.5 мм при вертикальном давлении колеса на рельс в 16.3 тс.

### Основная часть

На железных дорогах АО «Национальная компания «Казахстан темир жолы» вертикальные деформации рельсов под колесами составляют 6-8мм и более. Для введения этих деформаций в оптимальный диапазон 2.5-3.5мм требуется уменьшение вертикальных упругих деформаций, как верхнего строения пути, так и основной площадки земляного полотна. Необходимое усиление пути должно содержать такие мероприятия, которые можно выполнить при капитальном ремонте пути.

Уменьшение упругих вертикальных деформаций верхнего строения пути под поездами может быть достигнуто:

- повышением вертикальной жесткости подрельсовых и нашпальных прокладок от 50-90Мн до 200-300Мн и уменьшением толщины пластиковых прокладок до 6-8мм,
- разделением 40см щебеночного слоя под шпалой на два слоя по 20см и пропиткой нижнего щебеночного слоя битумной эмульсией с уплотнением «врасклинку», что позволяет увеличить его модуль деформации до 800Мпа, а верхний слой щебня укладывается по обычной технологии с модулем деформации 200 Мпа.

Уменьшение вертикальных деформаций грунтов основной площадки земляного полотна может быть достигнуто упрочнением местного грунта при его механизированном перемешивании со специальными добавками. В качестве добавок используются отходы промышленности, цемент, известь, битумная и др. эмульсии.

Наибольшее распространение на территории Казахстана имеют глинистые грунты различного генезиса [2]. Основным сдерживающим фактором широкого их применения в дорожном строительстве является изменение физико-механических характеристик в худшую сторону при увлажнении. Но смесь этих грунтов со стабилизаторами и небольшим количеством вяжущих изменяет свойства грунтов, превращая их в гидрофобную и морозоустойчивую среду.

Положительное воздействие стабилизаторов на глинистый грунт связано с частичным разложением воды на ионы  $H^+$  и  $OH^-$ , ионным обменом, пластифицирующим и гидрофобизирующим воздействием.

За счет разложения воды и активного ионного обмена уменьшается толщина пленок воды на поверхности грунтовых агрегатов, разрушается электростатический потенциальный барьер в грунтовой конгломератной системе. Органические ионы, содержащиеся в стабилизаторе, проникают внутрь кристаллической решетки глинистых минералов и вытесняют оттуда ионы  $H^+$  и  $OH^-$ , а также катионы металлов, что способствует более прочной связи между пакетами кристаллов. Происходит агрегирование грунта, снижается его оптимальная влажность, повышается плотность, прочность и водостойкость [3].

По данным Когана А.Я., с введением тяжеловесного движения поездов растут вертикальные и боковые силы, передаваемые от вагона на путь. Особенно это проявляется в кривых участках пути. Академиком Лазаряном В.А. установлено, что при неустановившемся

режиме торможения и скорости 15—20 км/час в поезде возникают значительные продольные силы, которые могут быть в 2,0—2,5 раза больше максимальной силы тяги локомотива по сцеплению. По данным испытаний ОАО «ВНИКТИ» максимальные продольные усилия сжатия в составах соединенных поездов превысили норматив в 50тс и были равны 120тс в поезде массой 12600т и 140тс в поезде массой 14200т.

На участках тяжеловесного движения отмечен рост на 17-18% эксплуатационных расходов на текущее содержание 1 км пути, на некоторых участках пути происходит осадка пути, ухудшается покิโลметровая бальная оценка, ускоряется накопление деформаций земляного полотна и верхнего строения пути. Увеличение прогибов рельсов ведет к снижению ресурса наработки тоннажа рельсами и шпалами и повышению затрат на тягу поездов.

Расчетный прогиб рельсов Р65 конструкции пути при вертикальном давлении колеса 16.3тс и при модулях деформации грунтов земляного полотна от 10 до 30 МПа и высоте насыпи в 4м составляет соответственно от 9 до 5мм.

Обобщение мирового опыта тяжеловесного движения [8] показало, что оптимальный модуль упругости пути должен возрасти при росте поездных нагрузок, а оптимальный прогиб рельса под колесом вагона должен находиться в диапазоне от 1.3 до 3.8мм.

На железных дорогах Казахстана существенный вклад в величину прогиба рельса Р65 вносят деформации подрельсовых и нашпальных прокладок. Сжатие подрельсовых и нашпальных прокладок достигает 50% общей вертикальной деформации рельса под поездной нагрузкой. Длительное время считалось, что снижение вертикальной жесткости прокладок и увеличение их толщины способствует лучшему распределению поездной нагрузки на шпалы, увеличивая длину волны прогиба рельса. В расчетах длины волны прогиба рельса при этом не учитывалась деформация земляного полотна. Также не учитывалось, что большой ход напряжений в клеммах и рельсах при значительном сжатии прокладок снижает ресурс наработки тоннажа упругих клемм и рельсов.

### Обсуждение

Можно повысить прочность слабых грунтов верха земляного полотна и сделать эти грунты прочными и гидрофобными за короткое время, включив стабилизацию грунтов основной площадки в программу капитального или среднего ремонтов пути. Необходимые для этого высокопроизводительные технологии и механизация есть – это, например, технологии холодного ресайклинга. Машины, необходимые для стабилизации грунта основной площадки железнодорожного земляного полотна используются в транспортном строительстве. Это: цементовозы, распределители цемента (или золоцементной смеси), дорожные фрезы и ресайклеры, автогрейдеры, поливочные машины и катки.

Главным рабочим агрегатом холодных ресайклеров является фрезерно-смесительный барабан. На быстро вращающемся барабане располагаются особые резцы, которые поворачиваются против хода движения машины (ресайклера), разрушая и дробя грунты и материал балластной призмы. При движении по рабочему участку, в смесительный отсек вращающегося фрезерно-смесительного барабана подается вода, которая поступает по упругому рукаву из автомобильной цистерны. Цистерна едет впереди ресайклера. Объем воды регулируется насосом с микропроцессорным управлением, вращающийся барабан тщательно смешивает её с материалом, который был измельчен фрезерным барабаном, чтобы влажность итоговой смеси идеально подходила для ее уплотнения. Вяжущие жидкого типа могут быть также добавлены непосредственно в смесительный отсек барабана. Через распределительную рампу в смесительный отсек может быть добавлен вспененный битум. Вяжущие

порошкообразного типа, к примеру, гашеная известь, обычно наносятся слоем на существующую дорогу перед ресайклером.

Ресайклером грунт смешивается с вяжущими и ферментами, доводится до оптимальной влажности, затем планируется автогрейдером и укатывается тяжелыми вибрационными катками. Укатка обработанного грунта идет сразу же за ресайклером, но не позже 3-х часов после обработки грунта. Глубина обработки грунта - до 50см – что достаточно для участков с тяжеловесным движением поездов. Для участков высокоскоростного движения пассажирских поездов достаточно стабилизировать верхние 25-30см грунта основной площадки. Модуль деформации стабилизированного грунта составляет от 120МПа до 600МПа в зависимости от рецептуры добавок. За смену комплекс обрабатывает 5000-8000 м<sup>2</sup> грунта основной площадки и может быть вписан в технологический процесс капитального ремонта пути на закрытом перегоне.

### Результаты

На рисунках 2 и 3 приведены предлагаемые конструкции пути для тяжеловесного движения грузовых поездов.

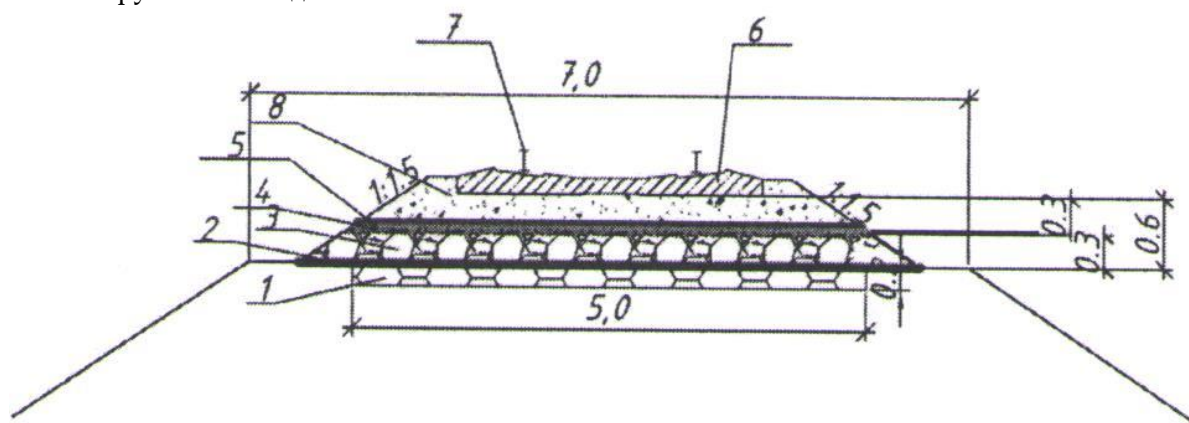


Рисунок 2. Поперечный профиль насыпи однопутного пути

1- стабилизированный слой местного глинистого грунта  $E_d=120\text{МПа}$ , 2-геосетка, 3- слой щебня укатанный врасклинку, пропитанный битумом, 4- геотекстиль, 5-геосетка, 8-слой щебня после уплотнения не менее 0,3м, 6 -ж.б. шпала,7 - рельс Р65 бесстыкового пути.

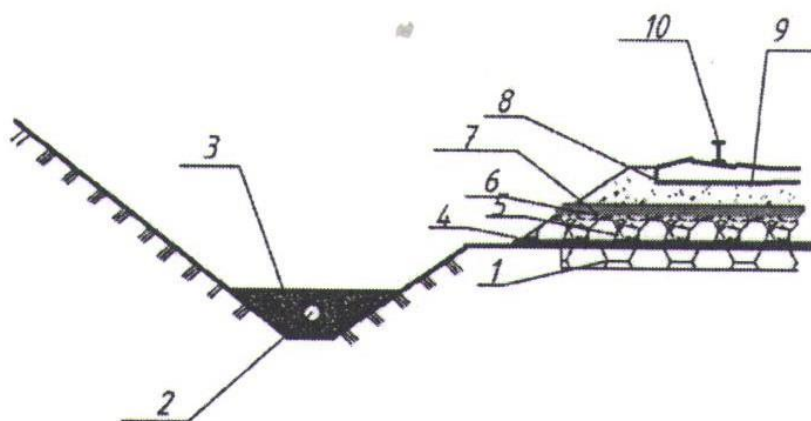


Рисунок 3. Поперечный профиль выемки однопутной железной дороги

1-стабилизированный слой местного грунта  $E_d=120\text{МПа}$ , 2- дренажная перфорированная труба диаметром 100мм, 3- засыпка кювета дренирующим грунтом, 4-геосетка, 5- слой щебня укатанный врасклинку и пропитанный битумом, 6- геотекстиль, 7- геосетка, 8- слой щебня толщиной более 0.3м, 9- ж.б. шпала, 10 – рельс Р65.

Необходимая толщина и прочность стабилизированного слоя грунтовых смесей может быть получена расчетом конечно-элементных моделей пути численными методами [4,5] (рис. 4).

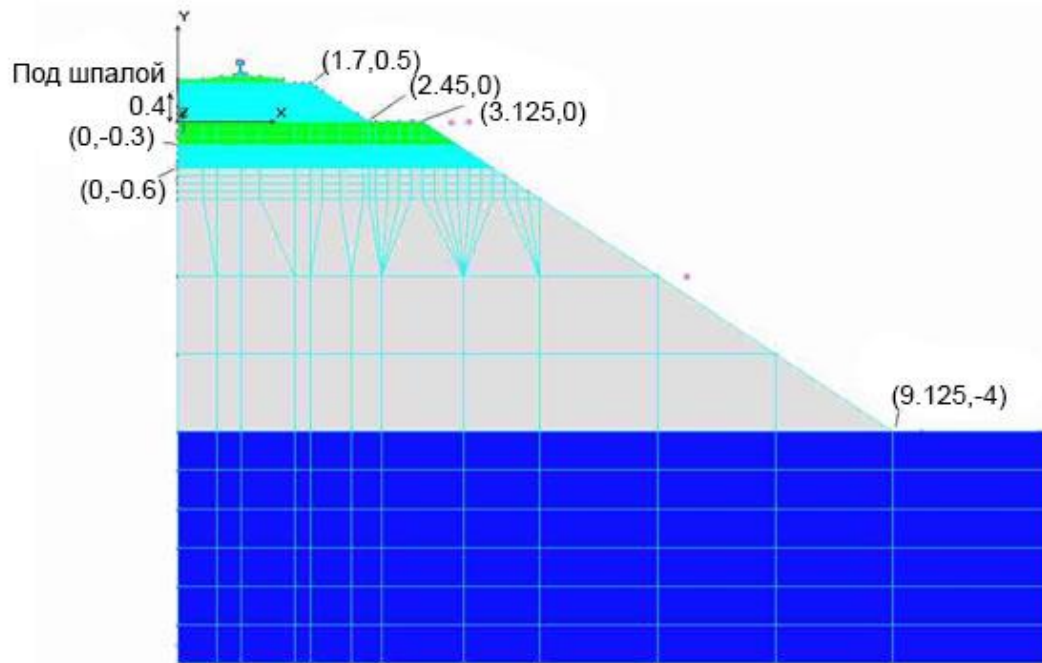


Рисунок 4. Конечно-элементная модель насыпи со стабилизированным слоем грунта основной площадки

Таблица 1

Осадка рельса по центру колеса вагона, мм

| Модуль деформации грунта насыпи, МПа | Типовой вариант конструкции пути | Вариант с двухслойной балластной призмой и стабилизированным на 0.5м верхом земляного полотна (200МПа) | Вариант с двухслойной балластной призмой и стабилизированным на 0.5м верхом земляного полотна (500МПа) |
|--------------------------------------|----------------------------------|--|--|
| 10                                   | 8,4                              | 6,0  | 3,5  |
| 20                                   | 6,0                              | 5,0  | 3,0  |
| 30                                   | 5,0                              | 4,0  | 2,6  |
| 40                                   | 4,5                              | 3,5  | 2,4  |

При скоростном движении поездов с осевой нагрузкой 140 кН/ось прогиб рельса под колесом составит около 1,2 мм, что близко к техническим требованиям для скоростного движения пассажирских поездов.

## Выводы

Предложенные в данной статье конструкции пути для участков тяжеловесного и скоростного движения поездов осуществимы при капитальном ремонте пути на закрытом перегоне. Они позволят снизить эксплуатационные расходы и повысить доступность транспортной инфраструктуры. Повышение прочности слабых грунтов верха земляного полотна до уровня прочных и гидрофобных за короткое время, возможно, включив стабилизацию грунтов основной площадки в программу капитального или среднего ремонтов пути.

Для участков с тяжеловесным движением поездов необходима корректировка нормативов оценки состояния пути и Инструкции по текущему содержанию пути, Действующие нормативы не в полной мере учитывают динамику взаимодействия пути и подвижного состава, что не позволяет обеспечить безопасность движения поездов на должном уровне.

## Список литературы

1. Обобщение мирового опыта тяжеловесного движения. Конструкция и содержание железнодорожной инфраструктуры. -М: ИННА. -2012. - 568 с.
2. Омаров А.Д. Земляное полотно железных дорог Казахстана. Алматы: - Бастау. - 2000. -208 с.
3. Безруков В.М. Основные принципы укрепления грунтов. -М.: -Транспорт, 1987. - 126 с.
4. Исаенко Э.П., Ауесбаев Е.Т., Косенко С.А. Расчеты конструкций железнодорожного пути для скоростного движения поездов. - Алматы. -2006. -134 с.
5. Омаров А.Д., Исаенко Э.П., Омарова Б.А., Омарова Г.А. Стабильный железнодорожный путь. – Алматы, КУПС. -2019. - 312 с.
6. Auesbaev, Y., Abdullaev, S., Baky, G., Aikumbekov, M., Bondar, I. (2021). Determination of natural modes of railway overpasses. Journal of Applied Research and Technology, 19(1), 1-10. <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2021.19.1.1487>
7. Parida, A., Stenstrom, C. and Kumar, U. Performance measurement for managing railway infrastructure. International Journal of Railway Technology, 2014. vol. 2, no. 4, pp. 888-901.

*Е.Т. Әуесбаев<sup>1</sup>, М.И. Арнабеков<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Қазақ Бас сәулет-құрылыс академиясы, Алматы, Қазақстан*

*<sup>2</sup>ЖШС «Center Innovation», Нұр-Сұлтан, Қазақстан*

## Ауыр және жүрдек пойыздар қозғалысы бар учаскелерде теміржол жолын нығайту

**Аңдатпа.** Мақалада ауыр салмақты және жүрдек поездар қозғалысы бар бөлек учаскелерге арналған теміржолдың төменгі және жоғарғы құрылысын нығайту тәсілдері мен әдістері сипатталған. Вагон доңғалағының ортасындағы рельс шөгінділерінің өлшемдері, пойыз астындағы теміржолдың жоғарғы құрылымының серпімді тік деформацияларын азайту әдістері ұсынылған және жүк поездарының ауыр салмақты қозғалысы үшін ұсынылатын жол конструкциялары келтірілген. Негізгі алаңдағы топырақты тұрақтандыруды күрделі немесе орташа жөндеу бағдарламасына қосу арқылы қысқа уақыт ішінде жер төсемінің жоғарғы жағындағы әлсіз топырақтардың беріктігін берік және гидрофобты деңгейге дейін арттыру мүмкіндігі. Ол үшін жоғары өнімді технологиялар мен механикаландыруды қолдану қажет. Мысалы, суық ресайклинг технологиясы. Көлік құрылысында пайдаланылатын темір жол жер төсемінің негізгі алаңының топырағын тұрақтандыру үшін қажетті машиналар мен тетіктер - бұл

цемент тасушылар, цемент (немесе күл-цемент қоспасы) таратушылар, жол фрезалары мен ресайклерлер, автогрейдерлер, суаратын машиналар, аунақтар және т.б. Сондай-ақ, жолаушылар пойыздарының жедел қозғалысына қойылатын техникалық талаптар қарастырылған.

**Түйін сөздер:** теміржол жолы, ауыр салмақты қозғалыс, жер төсемінің деформациясы, стабилизаторлар, теміржолдың элементтік модельдері, рельстің оптималдық иілуі.

Ү.Т. Ауесбаев,<sup>1</sup> М.И. Арпабеков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kazakh Head Architecture and Civil Engineering Academy, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>TOO «Center Innovation», Nur-Sultan, Kazakhstan

### Strengthening the railway track on sections with heavy and high-speed train traffic

**Abstract.** This study describes the ways and methods of strengthening the lower and upper structure of the railway track for separate sections with heavy and high-speed train traffic. The dimensions of the rail settlements in the center of the car wheel, methods of reducing the elastic vertical deformations of the upper structure of the railway track under the trains are proposed, the proposed track designs for the heavy traffic of freight trains are given. Increasing the strength of soft soils at the top of the subgrade to the level of strong and hydrophobic ones in a short time, possibly by including soil stabilization of the main site in the program of major or medium repairs of the track. This requires the use of high-performance technologies and mechanization - for example, cold recycling technology. The necessary machines and mechanisms for stabilizing the soil of the main site of the railway subgrade used in transport construction are cement trucks, distributors of cement (or ash-cement mixture), road milling machines and recyclers, motor graders, watering machines, rollers, etc. In addition, the technical requirements for high-speed passenger trains are considered.

**Keywords:** railway track; heavy movement; deformations of the roadbed, stabilizers, finite element models of the railway track, optimal rail deflection.

### References

1. Generalization of the world experience of heavy traffic. Construction and maintenance of railway infrastructure. – M: ИИНА. -2012. -568 p.
2. Omarov A.D. The roadbed of the railways of Kazakhstan. –Almaty: Bastau, -2000, -208 p.
3. Bezrukov V.M. Basic principles of soil strengthening. - M: Transport, -1987.-126 p.
4. Isaenko E.P., Auyesbayev Y.T., Kosenko S.A. Calculations of railway track structures for high-speed train traffic. –Almaty. -2006. -134 p.
5. Omarov A.D., Isaenko E.P., Omarova B.A., Omarova G.A. Stable railway track. –Almaty: KUR - 2019. -312 p.
6. Auesbaev, Y., Abdullaev, S., Baky, G., Aikumbekov, M., Bondar, I. (2021). Determination of natural modes of railway overpasses. Journal of Applied Research and Technology, 19(1), 1-10. <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2021.19.1.1487>
7. Parida, A., Stenstrom, C. and Kumar, U. Performance measurement for managing railway infrastructure. International Journal of Railway Technology, 2014. vol. 2, no. 4, pp. 888-901.

**Сведения об авторах:**

*Ауесбаев Е.Т.* – доктор технических наук, Казахская головная архитектурно-строительная академия, Алматы, ул. Рыскулбекова, 28, Казахстан.

*Арпабеков М.И.* - доктор технических наук, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.

*Auyesbayev Y.T.* – Doctor of technical sciences, Kazakh Head Architecture and Civil Engineering Academy, Almaty, Ryskulbekov street, Kazakhstan.

*Arpabekov M.I.* – Doctor of technical sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National university, Nur-Sultan.