

**В.А. ГАПАНОВИЧ, А.Г. АКОПЯН, И.К. МИХАЛКИН,
А.М. ЗАМЫШЛЯЕВ, И.Б. ШУБИНСКИЙ**

**ТЕХНОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДОТКАЗНОГО СОСТОЯНИЯ
ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ
ИНФРАСТРУКТУРЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИИ
РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГРУППЫ СТАНДАРТОВ
УРРАН**

Представлены особенности применения технологии определения предотказного состояния технических объектов железнодорожной инфраструктуры по результатам контроля геометрии рельсовой колеи. Для решения указанной задачи выявлена необходимость применения группы стандартов УРРАН (Управление Ресурсами, Рисками на этапах жизненного цикла и Анализ Надежности). Предложена технология работы УРРАН как комплекса стандартов и методик, применяемых для управления процессами технического содержания объектов и сложных систем. Обоснована эффективность применения УРРАН в инфраструктурных проектах и, в частности, в путевом хозяйстве. Проанализирована система функционирования УРРАН в условиях ресурсных ограничений при необходимости рационального содержания железнодорожной инфраструктуры.

Ключевые слова: железнодорожная инфраструктура, путевое хозяйство, стандарты УРРАН, рациональное содержание, предотказное состояние.

В настоящее время одним из основных вопросов железнодорожного транспорта является оптимизация инвестиций, поступающих в железнодорожную инфраструктуру, в части решения текущих и перспективных задач перевозки грузов. Необходимость развития скоростного и высокоскоростного движения, строительства новых магистралей требует значительных дополнительных вложений. Поэтому сейчас становятся особенно актуальными вопросы обеспечения поступательного развития инфраструктуры, её соответствия требованиям времени в условиях ограниченного финансирования за счет рационального содержания, опирающегося на фактическое состояние инфраструктуры.

Одним из ориентиров инновационного развития железнодорожной отрасли являются требования к безотказности, эксплуатационной готовности, ремонтно-пригодности и, в первую очередь, безопасности инфраструктуры.

Рост цен на материалы и увеличение себестоимости ремонтов требуют дифференцированного подхода к назначению ремонтов. Функционирование скоростных магистралей и участков с высокой грузонапряженностью накладывает дополнительные технологические ограничения на периодичность и интенсивность выполнения ремонтных работ. В результате нарастает протяженность

участков пути и число других объектов инфраструктуры с просроченными ремонтами различного вида.

Выходом в создавшихся условиях может стать применение технологии комплексного управления надежностью и рисками на железнодорожном транспорте с использованием методологии обеспечения безотказности, готовности, ремонтпригодности и безопасности (RAMS). В ОАО “РЖД” эта методология была дополнена и распространена на стоимость всего жизненного цикла. Эта доработанная технология получила название “УРРАН” (УРРАН – Управление Ресурсами, Рисками на этапах жизненного цикла и Анализ Надежности).

Главной задачей любой транспортной системы является **оптимизация затрат на обеспечение заданного перевозочного процесса на заданном уровне рисков с заданной системой обслуживания**. Успешное решение этой задачи позволяет обеспечить эффективное управление инфраструктурой. Знание реального состояния объектов инфраструктуры дает возможность рационально управлять ресурсами, вкладываемыми в её содержание, оценивать потребные затраты при изменении заданного перевозочного процесса (повышение скоростей движения, увеличение грузонапряженности), варьировать риски, совершенствовать систему обслуживания.

Одними из базовых параметров в методологии УРРАН-RAMS являются отказы технических средств и объектов инфраструктуры. Произошедшие отказы фиксируются в различных автоматизированных системах ОАО “РЖД”. На основе их анализа оцениваются интенсивность отказов, наработка на отказ, рассчитывается коэффициент готовности и т.д. Учет в расчетах отказов как произошедших событий, накладывающих эксплуатационные ограничения на перевозочный процесс, эффективен при работе на представительном статистическом материале: с оценкой на большом временном интервале значительного по протяженности участка пути (на полигоне дороги или, как минимум, дистанции).

При попытке детализации на уровне перегона или километра приходится сталкиваться с тем, что отказы за период наблюдения на этих участках могут вообще отсутствовать. Как в этом случае определить интенсивность отказов и осуществить прогнозирование развития такого ограниченного участка для своевременного принятия мер по недопущению его перехода в опасное состояние? А вместе с тем каждый участок все время как-то изменяется, но это никак себя не проявляет до тех пор, пока не произойдет отказ. И в этом случае необходимо определить, является ли этот отказ случайностью или же закономерным следствием особенностей развития участка. Ответ на этот вопрос определяет комплекс мер, которые должны быть приняты, и, в конечном итоге, объем ресурсных затрат.

С целью решения этих проблем ОАО “РЖД” была поставлена задача определения наступления предотказного состояния любого участка пути (вплоть

до отдельного километра или даже пикета) для организации его своевременного ремонта и обеспечения ранжирования различных участков пути для мотивации обслуживающего персонала. Для этого надо было перейти от методики, фиксирующей уже произошедшие отказы, к методике, опирающейся на реальное состояние инфраструктуры и своевременное определение её предотказного состояния. За эту работу взялась компания ИНФОТРАНС (Самара, Россия), давно работающая с ОАО «РЖД» в сфере разработки и поставки автоматизированных средств диагностики железнодорожной инфраструктуры и информационно-аналитических систем.

С самого начала было ясно, что нецелесообразно вести какой-либо анализ развития и осуществлять прогнозирование для объектов, имеющих случайный характер отказов, связанных в основном с дефектами изготовления. В целом эта задача может быть эффективно решена только для тех технических объектов инфраструктуры, в которых формируются и развиваются деградиционные процессы, обусловленные прежде всего процессами взаимодействия с подвижным составом, а именно:

- геометрия рельсовой колеи;
- рельсы (короткие неровности на поверхности катания, износы, эквивалентная конусность, внутренние дефекты, связанные с усталостными процессами);
- рельсошпальная решетка (скрепления, шпалы);
- рельсовые цепи;
- балласт;
- земляное полотно;
- контактная сеть (эластичность подвески, натяжение контактного провода, его износ).

Эти же объекты, в свою очередь, в основном и определяют безопасность и готовность инфраструктуры к обеспечению перевозочного процесса и требуют наиболее значительных ресурсных вложений.

Рельсовая колея является самым нагруженным и активным объектом железнодорожной инфраструктуры, участвующим в перевозочном процессе. Её состояние в значительной степени зависит от пропущенного тоннажа. Оно определяется не только взаимодействием с подвижным составом, но и состоянием балластной призмы и всего земляного полотна. В силу этих причин рельсовая колея подвержена постоянным изменениям и нуждается в постоянном контроле. По геометрии рельсовой колеи на всех российских дорогах накоплена огромная база данных, собранная за несколько лет работы путеизмерителей КВЛ-П производства ИНФОТРАНС, являющихся основным средством обеспечения безопасности движения в ОАО «РЖД». Поэтому в качестве первой очереди разраба-

тываемой системы определения предотказного состояния инфраструктуры была выбрана именно геометрия рельсовой колеи.

Для геометрии рельсовой колеи был разработан интегральный параметр – индекс состояния пути, который был сформирован на основе данных по нестабильности положения пути по всем трем осям пути: по крену (уровень), курсу (положение в плане) и по тангажу (продольный профиль). Идеальный путь с нулевым индексом – путь, полностью соответствующий нормативам. Чем больше степень расстройств пути, тем больше индекс. На рис. 1 в качестве примера приведены графики индексов состояния для двух разных участков пути. Второй участок, несмотря на то, что на нём пока нет отказов, находится в гораздо более худшем состоянии, чем первый, на котором уже зафиксированы отказы. И если первый участок можно привести в порядок в рамках технического обслуживания, устранив локальные неисправности, то второй необходимо срочно ремонтировать.



Рис. 1

График индекса состояния пути позволяет сравнивать между собой различные участки пути, а динамика развития индекса во времени позволяет не только выявить участки с деградацией пути, но и увидеть участки с “восстанавливающимися” пути после проведенных ремонтов расстройств (рис. 2). Это означает, что истинная причина развивающихся нарушений в процессе ремонта не была устранена.

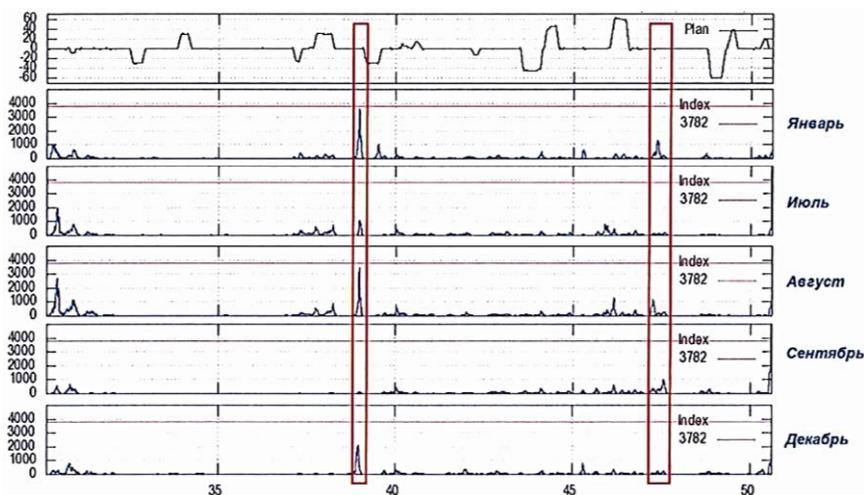


Рис. 2

В методику формирования индекса состояния заложены возможности учета установленных скоростей движения и индивидуальных особенностей конструкции и устройства железнодорожного пути с приведением к эталонному километру. Под эталонным километром понимается километр, используемый для нормирования всех остальных километров, имеющий четко определенные характеристики конструкции и устройства и требующий на содержание “эталонного” уровня затрат. Остальные километры приводятся к нему через систему коэффициентов, учитывающих их индивидуальные особенности и позволяющих установить уровень затрат, необходимых на их содержание.

Недостаточно просто иметь возможность сопоставления различных участков пути между собой, необходимо знать, насколько они близки к критическому состоянию и способны эффективно выполнять свою задачу по обеспечению перевозочного процесса. В качестве отправной точки для масштабирования индекса состояния была взята статистика за год по отказам, связанным с геометрией пути, по всей Северной дороге, являющейся полигоном для отработки методологии УРРАH-RAMS.

Установленная в итоге связь между реально зафиксированными отказами и индексом позволила выйти на определение уровня предотказности пути. Причем уровень предотказного состояния может быть определен уже не только для всей дороги в целом или для дистанции пути, но и для каждого перегона или даже километра.

При рациональном содержании пути состояние участков должно лежать в заданном интервале по уровню предотказного состояния (рис. 3). Ширина этого интервала определяет диапазон существования участка от ремонта до ремонта.

Участки, лежащие левее заданного интервала, содержатся с избыточным уровнем затрат, правее – с недостаточным уровнем затрат или некачественным (неэффективным) содержанием пути.

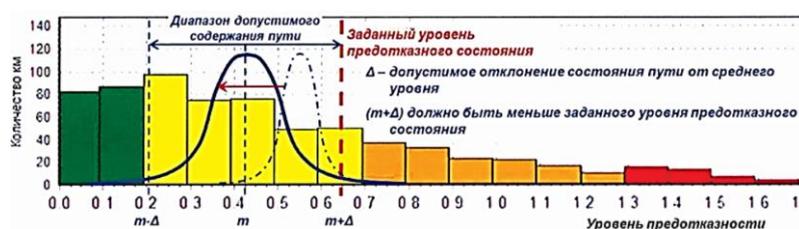


Рис. 3

Заданный интервал не должен быть слишком узким, так как содержание пути в узком интервале потребует дополнительных неоправданных затрат за счет частых выездов на участки ремонта. Также интервал не должен быть слишком широким, так как расширение интервала возможно только в области с меньшими состояниями предотказности, а это избыточные вложения в сферу, где этого можно не делать.

В теории на достаточно представительной выборке распределение участков по интенсивности предотказов должно иметь характер нормального распределения. Смещение максимума относительно середины допустимого интервала вправо означает необходимость планирования ремонтов пути, так как существующая система обслуживания уже не справляется с общим ухудшением состояния пути, или необходимость увеличения расходов на систему обслуживания, или необходимость изменения требований к участку по обеспечению перевозочного процесса, например, уменьшение скоростей движения.

Отработка методики определения предотказного состояния рельсовой колеи велась на полигоне Северной железной дороги. В отработке использовались данные за трехлетний период, полученные с путеизмерителей КВЛ-П и многофункционального диагностического поезда “ЭРА”, также производства ИНФОТРАНС. Найденные решения были реализованы в программном обеспечении автоматизированного расчета предотказного состояния по результатам контроля геометрии рельсовой колеи.

Программное обеспечение решает следующие основные задачи:

- расчет предотказного состояния геометрии рельсовой колеи как по участкам, так и по километрам;
- определение динамики изменения предотказного состояния во времени (с прогнозированием наступления предотказного состояния);
- формирование карты развития предотказного состояния геометрии рельсовой колеи;

- формирование матрицы ранжирования участков пути по уровню предотказного состояния как на текущий момент, так и по результатам прогнозирования на заданный период;
- формирование информации для планирования ремонтов пути;
- оценка качества выполненного ремонта.

Программное обеспечение автоматизированного расчета предотказного состояния позволяет вести постоянный мониторинг состояния пути и определять темпы его деградации (рис. 4). На карте развития предотказного состояния геометрии рельсовой колеи (рис. 5) хорошо видно, как в течение почти четырех лет (по вертикали снизу вверх: синий – зима, голубой – весна, зеленый – лето и коричневый – осень) развивается участок протяженностью 100 км (по горизонтали). В качестве примера (рис. 6) приведена матрица ранжирования участков пути по предотказному состоянию геометрии рельсовой колеи.

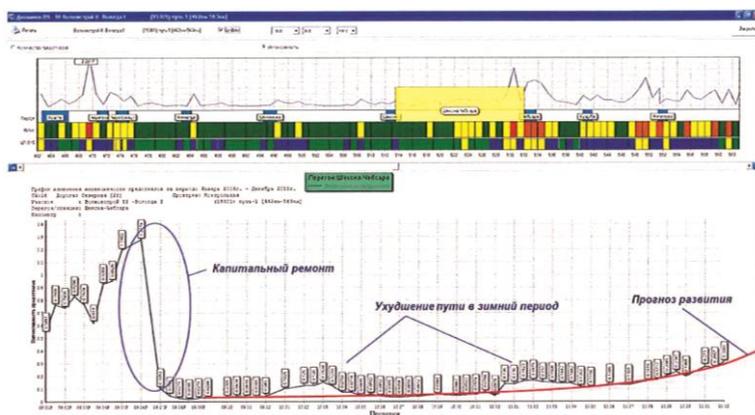


Рис. 4

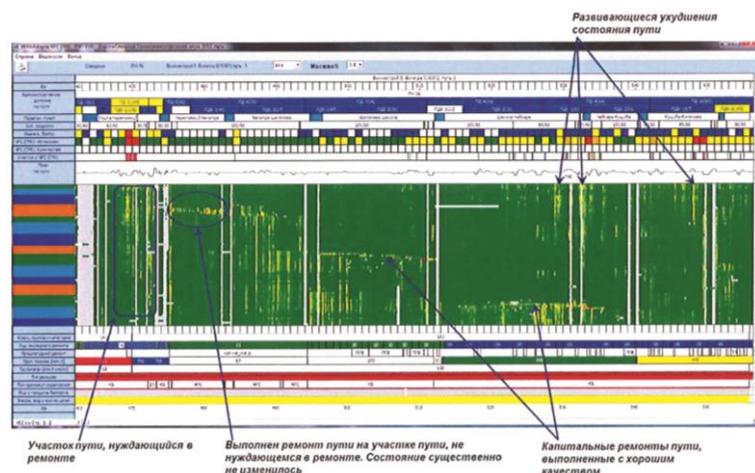


Рис. 5

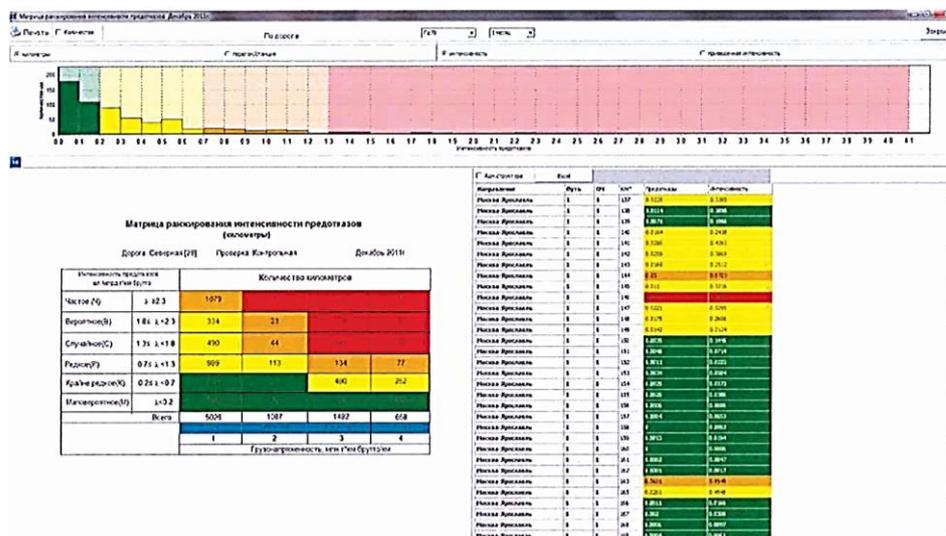


Рис. 6

На основе анализа состояния пути появляется возможность осуществлять:

- прогнозирование его развития;
- прогнозирование вероятных сроков наступления нежелательного или недопустимого состояния пути;
- своевременное планирование необходимых ремонтных работ с целью недопущения перехода пути в состояние, при котором может произойти отказ.

Прогнозирование развития предотказного состояния можно осуществлять как для отдельных участков, так и для дороги в целом – имеется возможность рассчитать прогнозную матрицу ранжирования и на ее основе определить участки, требующие первоочередного ремонта.

Для наглядности отобразим на одном графике текущую и прогнозную интенсивности развития предотказного состояния. На графической диаграмме (рис. 7) приведены графики текущего состояния пути и прогноз на 6 месяцев для целого направления протяженностью около 700 км. Отчетливо видны участки, на которых наблюдается рост развития предотказного состояния и переход в нежелательное или недопустимое состояние.

Помимо ранжирования по предотказному состоянию участков пути, становится возможным осуществление ранжирования административных подразделений. На примере рис. 8 для каждой дистанции пути показано количество километров, находящихся в неучитываемом, допустимом, нежелательном и недопустимом состояниях.

Заложенные в программное обеспечение автоматизированного расчета предотказного состояния возможности позволяют применять результаты анализа

для планирования ремонтных работ и оценки их эффективности. Программное обеспечение прошло отработку на пилотных дорогах и внедрено на всей сети российских железных дорог.

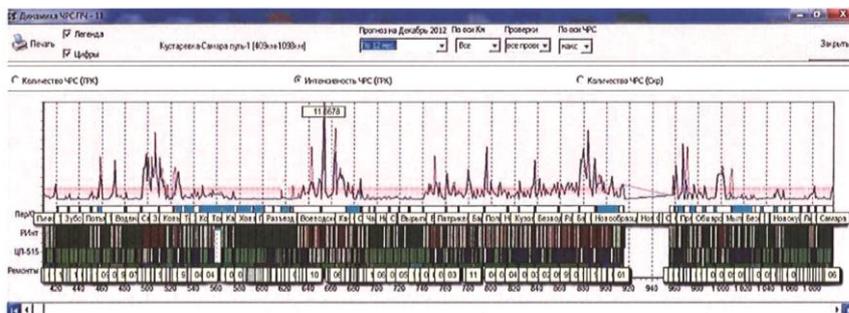


Рис.7

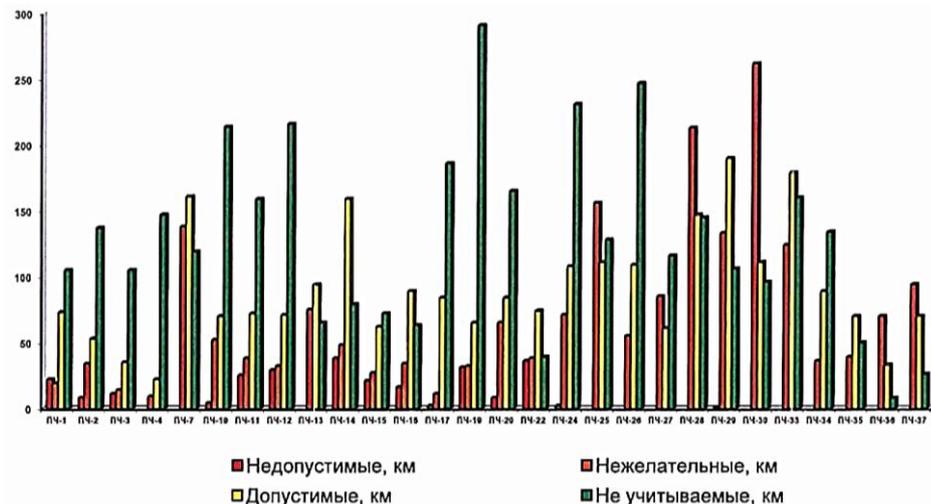


Рис.8

Большим достоинством технологии является то, что она опирается на данные вагонов-путеизмерителей КВЛ-П производства ИНФОТРАНС и не требует для запуска длительного периода накопления данных. Для того чтобы система начала работать, достаточно загрузить в неё все уже имеющиеся в центре диагностики данные с вагонов.

Сейчас эта технология постоянно развивается и совершенствуется. Также на основе данных вагонов-путеизмерителей КВЛ-П ведется мониторинг и определяются ослабленные рельсовые крепления. На основе результатов определения состояния пути по его геометрии и состоянию креплений реализовано планирование планово-предупредительных и средних ремонтов пути.

Ведутся работы по выходу на планирование капитальных ремонтов пути и модернизаций. На базе технологии УРРАН разработана система комплексной оценки состояния бесстыкового пути.

ОАО “РЖД” Материал поступил в редакцию 17.04.2015.

**Վ.Ա. ԳԱՊԱՆՆՈՎԻՉ, Ա.Գ. ՀԱԿՈԲՅԱՆ, Ի.Կ. ՄԻԽԱԼԿԻՆ, Ա.Մ. ՋԱՄԻՇԼՅԱԵՎ,
Ի.Բ. ՇՈՒԲԻՆՍԿԻ**

**ԵՐԿԱԹՈՒՂԱՅԻՆ ԵՆԹԱԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐԻ ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՕԲՅԵԿՏՆԵՐԻ
ՆԱԽԱԽԱՓԱՆՄԱՆ ՎԻՃԱԿԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆ ԸՍՏ ՌԵԼԻԱԿԱՆԻՆԵՐԻ
ԵՐԿՐԱԶՍՓՈՒԹՅԱՆ ՍՏԱՆՊԱՆ ԱՐԴՑՈՒՆՔՆԵՐԻ՝ ՌՌԿՀՎ ՍՏԱՆԴԱՐՏՆԵՐԻ
ԿԻՐԱՌՈՒԹՅԱՄԲ**

Ներկայացված են երկաթուղային ենթակառուցվածքի տեխնիկական օբյեկտների նախախափանման վիճակի որոշման տեխնոլոգիայի կիրառության առանձնահատկությունները՝ ըստ ռելամենջի երկրաչափության ստուգման արդյունքների: Նշված խնդրի լուծման համար բացահայտվել է ՌՌԿՀՎ խմբի ստանդարտների օգտագործման անհրաժեշտությունը: Առաջարկվել է ՌՌԿՀՎ-ի գործողության տեխնոլոգիա՝ որպես օբյեկտների և բարդ համակարգերի տեխնիկական շահագործման պրոցեսների կառավարման համար կիրառվող ստանդարտների և մեթոդների համալիր: Հիմնավորվել է ՌՌԿՀՎ-ի արդյունավետ օգտագործումը ենթակառուցվածքային նախագծերում, մասնավորապես՝ ճանապարհային տնտեսությունում: Վերլուծվել է ՌՌԿՀՎ-ի գործողության համակարգը՝ սահմանափակ ռեսուրսների երկաթուղային ենթակառուցվածքի ռացիոնալ շահագործման անհրաժեշտության տեսանկյունից:

Առանցքային բաներ. երկաթուղային ենթակառուցվածք, ճանապարհային տնտեսություն, ՌՌԿՀՎ ստանդարտներ, ռացիոնալ շահագործում, նախախափանման վիճակ:

**V.A. GAPANOVICH, A.G. HAKOBYAN, I.K. MIKHALKIN, A.M. ZAMISHLYAYEV,
I.B. SHUBINSKI**

**TECHNOLOGY OF DETERMINING THE PREFAILURE STATE OF TECHNICAL
INSTALLATIONS OF RAILWAY INFRASTRUCTURES ACCORDING TO THE
CONTROL RESULTS OF THE RAIL GAUGE GEOMETRY BY APPLYING THE
GROUP OF STANDARDS MRRRA**

The peculiarities of applying a technology for determining the prefailure state of technical installations of railway infrastructure according to the control results of the rail gauge line geometry are introduced. To solve the mentioned problem, the necessity of applying the group of standards MRRRA (Management of Resource, Risks at the stages of the life cycles and Reliability Analysis) is revealed. The technology of the MRRRA operation is proposed as a complex of standards and methods applied for managing the processes of maintaining the installations and complex systems. The efficiency of applying the MRRRA in infrastructure projects, in particular the track facilities, is substantiated. The system of the MRRRA operation under the conditions of resource limitations in case of the necessity to rationally maintain the railway infrastructure is analyzed.

Keywords: railway infrastructure, track facilities, standards MRRRA, rational maintenance, prefailure state.