

УДК 625.172

**АБДУЖАБАРОВ А.Х.** – д.т.н., профессор (Республика Узбекистан, г. Ташкент, Ташкентский государственный транспортный университет)

**МУСАЕВА Г.С.** – д.т.н., профессор (г. Алматы, Академия логистики и транспорта)

**БЕГМАТОВ П.А.** – докторант PhD (Республика Узбекистан, г. Ташкент, Ташкентский государственный транспортный университет)

## **РАЗВИТИЕ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ ПРИ СКОРОСТНОМ ДВИЖЕНИИ ПОЕЗДОВ**

### **Аннотация**

*В мире ведущее место занимает повышение безопасности движения поездов на скоростных участках железных дорог, а также разработка технологий и методов, снижающих факторов, оказывающих негативное влияние на элементы верхнего строения пути и конструкции земляного полотна. В развитых странах таких всё большее внимание уделяется уменьшению деформаций и дефектов, возникающих в элементах верхнего строения пути и конструкциях земляного полотна на магистральных путях и локальных сетях железных дорог. Поэтому уделяется особое внимание совершенствованию методов повышения прочности и устойчивости земляного полотна в современных условиях эксплуатации железных дорог, отличающихся ростом скоростей движения поездов на скоростных участках и увеличением нагрузки на ось, а также внедрением новых конструкций элементов верхнего строения пути.*

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, железнодорожный путь, верхнее строение пути, конструкция земляного полотна, повышение скоростей движения поездов, уменьшение деформаций, балластный слой, промежуточные скрепления, подрельсовые прокладки.

### **Введение.**

В мире ведущее место занимает повышение безопасности движения поездов на скоростных участках железных дорог, а также разработка технологий и методов, снижающих факторов, оказывающих негативное влияние на элементы верхнего строения пути и конструкции земляного полотна. В развитых странах таких как США, Германия, Франция, Япония, Китай и Россия всё большее внимание уделяется уменьшению деформаций и дефектов, возникающих в элементах верхнего строения пути и конструкциях земляного полотна на магистральных путях и локальных сетях железных дорог. Поэтому уделяется особое внимание совершенствованию методов повышения прочности и устойчивости земляного полотна в современных условиях эксплуатации железных дорог, отличающихся ростом скоростей движения поездов на скоростных участках и увеличением нагрузки на ось, а также внедрением новых конструкций элементов верхнего строения пути.

В Республике Узбекистан осуществляются широкомасштабные меры по развитию дорожно-транспортной инфраструктуры в направлении строительства и использования объектов железнодорожного транспорта. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики на 2017-2020 годы определены такие задачи, как «...строительство новых железнодорожных магистралей, ... реализация целевых программ по развитию и модернизации дорожно-транспортной, инженерно-коммуникационной и социальной

инфраструктуры, ... повышение уровня электрификации железных дорог ... » [1]. При выполнении данных задач важное значение имеет выявление напряжений и деформаций, возникающих в верхнем строении пути и земляном полотне на скоростных участках железных дорог, увеличение сроков службы при их эксплуатации и разработка конструктивных решений, направленных на увеличение межремонтных сроков ремонтно-путевых работ.

### **Основная часть.**

При переустройстве существующих, проектировании и строительстве новых железных дорог под скоростные движение требуется решить целый комплекс технико-экономические задач. Это, первую очередь [2-4], вопросы обеспечения безопасности движения поездов, связанные с возрастанием сил взаимодействия пути и подвижного состава, увеличением вибрации, более интенсивным накоплением остаточных деформаций, снижением сроков службы основных элементов верхнего строения пути, увеличением объемов работ по текущему содержанию и ремонтам пути.

Верхнему строению пути относится: рельсы, шпалы, балластная призма, промежуточные скрепления, стрелочные переводы.

Балластный слой обеспечивает вертикальную и горизонтальную устойчивость рельсошпальной решетки при воздействии на нее поездных нагрузок, а также распределяет равномерно давление от шпал на возможно большую основную площадку земляного полотна. Подшпальное основание должно обладать достаточной упругостью, особенно при железобетонных шпалах, т.е. служить своего рода амортизатором, смягчающим удары колес подвижного состава о рельсы. При этом желательно, чтобы балластной слой имел возможно большую равноупругость вдоль и поперек пути для большей плавности движения поездов. Балластный слой должен обеспечивать наименьшую неравномерность остаточных осадок [5].

От балластного слоя зависит срок службы всех элементов верхнего строения пути. Если для устройства балластной призмы применяют материал, имеющий недостаточную несущую способность, то появляется большое количество неравномерных просадок, толчков, перекосов, что приводит к повышенному общему и волнообразному износу рельсов, преждевременному появлению у них дефектов контактно-усталостного происхождения и даже к ним дефектов.

При анализе работ, выполняемых в путевом хозяйстве для обеспечения безопасности движения поездов, в общей сложности более 60% всех работ приходится на балластный слой и земляное полотно. Надежная работа железнодорожного пути и эффективность перевозочного процесса во многом зависит от типа балласта, его качества и определяется конструкцией подшпального основания [6].

Поэтому усиление несущей способности балластного слоя – это резерв снижения эксплуатационных расходов в путевом хозяйстве и, следовательно, – одно из важнейших требований, предъявляемых к балластному слою. В связи с этим для балласта следует применять такой материал, который позволяет наиболее качественно и наименее трудоемко выполнять выправочные работы.

Балластный слой должен хорошо отводить воду из призмы и с основной площадки земляного полотна или, как это имеет место при асбестовом балласте, не пропускать атмосферную воду в глубь призмы. Наличие воды около подошвы шпал, имеющих хотя бы незначительный потайной толчок, при загрязненном балласте приводит к появлению выплесков и прогрессирующему общему расстройству пути. Скопление воды на основной площадке земляного полотна способствует разжижению грунтов и, как следствие, появлению различных болезней земляного полотна.

Чтобы обеспечивать нормальную работу рельсовых цепей автоблокировки, балластный слой должен иметь достаточно большое электрическое сопротивление, по возможности мало меняющееся при изменении погодных условий.

Для того чтобы свою функцию, балластный слой должен [7]:

- передавать наиболее равномерно давление от рельсовых опор на возможно большую площадь земляного полотна;
- обладать возможно большей равноупругостью;
- обеспечивать наименьшую неравномерность остаточных осадок;
- оказывать максимально возможное сопротивление поперечному и продольному сдвигу работы;
- позволять наиболее качественно и удобно выполнять выправочные работы;
- устраиваться из прочного материала, хорошо сопротивляющегося механическому износу и выветриванию, не пылящего при проходе поездов с высокими скоростями;
- обеспечивать по возможности более постоянный влажностный режим вокруг деревянных шпал.

Материалы для устройства балластного слоя по происхождению, размерам частиц, их форме и способам обработки разделяются на щебеночные, гравийные, асбестовые, ракушечные и песчаные.

Балластные материалы, удовлетворяющие установленным техническим требованиям и нормам, используются для укладки в путь непосредственно из карьеров или отвалов, или после соответствующей их обработки на заводах, которая заключается в дроблении камней до установленных размеров, отсеивании мелких и загрязняющих частиц, промывке и добавлении дробленых частиц [8].

Лучшим из современных балластных материалов является щебеночный балласт, полученный из прочных магматических пород (граниты, габбро, диориты, сиениты, глубинные породы, диабазы, базальты, излившиеся породы).

Щебеночная призма из такого балласта обладает долговечностью, высокой сопротивляемостью осадкам шпал и их смещениям в горизонтальной плоскости, хорошими дренирующими, упругими и электроизоляционными свойствами.

В то же время применение на участках эксплуатируемых железнодорожных линий призмы из щебня низкого качества из слабых осадочных пород (известняки, доломиты, песчаники), особенно при железобетонных шпалах, неэффективно из-за быстрого износа и измельчения такого балласта, потери им дренирующих свойств, образования выплесков.

Наиболее пригодным материалом, могущим одновременно удовлетворить всем перечисленным требованиям, является щебень, приготовленный из прочных каменных пород. Однако эффект усиления верхнего строения пути достигается только в том случае, если укладывается щебень хорошего качества. Низкое качество щебня не обеспечивает ожидаемого эффекта в повышении устойчивости пути, увеличении срока службы элементов верхнего строения пути и сокращении расхода средств на текущее содержание.

По сравнению с другими материалами, щебень обладает наибольшей устойчивостью к усадке, особенно зимой она лучше сохраняет свои свойства скольжения, обладает хорошими дренажными свойствами и служит более длительный срок службы [9].

Асбестовый балласт состоит из зерен прочного мелкого щебня змеевика и волокон асбеста. Асбестовый балласт имеет очень высокую степень уплотнения, достигающую в отдельных случаях до 25-30%.

К недостаткам асбестового балласта относится то, что подвергается размыву на откосах при дождях и в весенний период при таянии снега. Кроме того, в связи с низкой его фильтрационной способностью на уклонах возможно передвижение скапливающейся при дождях воды по поверхности призмы вдоль пути и выход ее на откосы призмы с вымыванием из них асбестового балласта. Поэтому при асбестовом балласте во влажные периоды года необходимо постоянное наблюдение за состоянием балластной призмы и за отводом воды в местах возможного ее скопления. В сухое время года при большом содержании мелких частиц в балласте наблюдается выбивание его из-под шпал, особенно в стыках, нарушение защитной корки и пыление при движении поездов.

Сортированным гравием называется искусственная гравийно-щебеночная смесь, состоящая из гравия определенных размеров, отсортированного из гравийно-песчаной массы, и щебня, приготовленного из естественного камня или валунов.

Отсортированный гравий без добавления щебня – не устойчивый материал и потому допускается для укладки в путь в качестве балластного слоя.

Карьерным гравием называется природная гравийно-песчаная смесь, содержания не менее 50% и не более 80% гравийных частиц установленных размеров от веса смеси.

Существенным недостатком карьерного гравия является пыление песка, содержащегося в нем, в сухую погоду при скоростях движения уже более 30 км/с [10]. Из-за пыления карьерный гравий не может применяться на линиях с высокими скоростями движения поездов.

Обзор литературы по вопросам в балластном слое при повышенных осевых нагрузках и скоростное движение показал, что эта проблема исследована недостаточно широко. Известны отдельные публикации по исследованию колебательного процесса при различных скоростных движениях и осевых нагрузках. Рассмотрим ниже основные результаты, полученные в этих работах.

При расчете железнодорожного пути на прочность определяются или напряжения и деформации в балластной призме и на основной площадке земляного полотна под воздействием проходящих поездов, или такие нагрузки и скорости движения поездов, при которых напряжения и деформации в этих элементах пути не будут превосходить допустимые. Эти величины определяются также и при технико-экономическом обосновании конструкции верхнего строения пути [11].

Нарушения геометрии пути, выражающиеся, главным образом, в осадке балласта и земляного полотна, являются основным фактором, определяющим сроки и объемы путевых работ.

При этом следует отметить, что именно балласт представляет собой основной компонент путевой структуры, так как от него зависит способность пути воспринимать и оптимально распределять динамические нагрузки от движущегося подвижного состава. Кроме того, именно путем исправления балластной призмы можно восстанавливать параметры и несущую способность путевой структуры, особенно в случае ослабления основания пути.

Напряжения, возникающие в балластном слое, являются важным показателем силового воздействия подвижного состава на путь. Напряжение численно равно силе, действующей на единицу площади.

Вертикальные нормальные напряжения под подошвой шпалы в под рельсовом сечении для типовых нагрузок и скоростей движения обычно доходят до 2-3 кгс/см<sup>2</sup>. При повышении скоростей движения поездов напряжения возрастают. Например, при увеличении скорости движения от 40 до 80 км/ч напряжения повышаются 15-20%. [5].

С.Н. Поповым в 1955 г. опубликована методика [12] определения допускаемых напряжений в балластном слое по критерию накопления остаточных деформаций верхнего строения пути. Автором были получены экспериментальные зависимости накопления остаточных деформаций для различных балластных материалов от изменения вертикальной нагрузки, появления напряжений в балластном слое при проходе расчетного поезда, осадок пути и удельного протяжения исправления его по уровню. На основании этих зависимостей были разработаны графики размеров удельного протяжения исправления пути по уровню в зависимости от динамических напряжений в балластном слое. Основываясь на предположении, что наибольшие напряжения в балласте, с учетом его нахождения во влажном состоянии (то есть состояния балласта в осенний и весенний период), должны быть в пределах линейного участка графика. На основании этих данных С.Н. Попов составил предложения по нормам допускаемых напряжений на сжатие балласта. Для щебня из естественного камня и металлургических шлаков фракции 25-70

предлагаемые значения допускаемых напряжений составил: для локомотива 5 кгс/см<sup>2</sup>, для вагонов 3,25 кгс/см<sup>2</sup>; для мелкого щебня сортированного гравия и смешанного балласта при 50% мелкого щебня фракции 7-25 и 3-40 значения составили 4 кгс/см<sup>2</sup> для локомотивов и 2,75 кгс/см<sup>2</sup> для вагонов соответственно.

В работе [5] проводятся экспериментально полученные напряжения  $\sigma_6$  на прямом участке бесстыкового пути с рельсами Р65, щебеночным балластом, железобетонными шпалами максимальные значения напряжений  $\sigma_6$  под подошвой шпалы при скоростях  $v$  движения локомотива ЧС2<sup>м</sup>:

$v$ , км/ч	140	160	180
$\sigma_6$ , кгс/см <sup>2</sup>	2,96	3,83	4,33

При выше 170-180 км/ч рост напряжений становится менее интенсивным.

Таким образом, при высоких скоростях движения напряжения могут быть довольно значительными. Наибольшие напряжения, естественно, возникают при проходе тяжелых локомотивов и грузовых вагонов [5].

Увеличение мощности рельса благоприятно влияет на уменьшение напряжений в нижележащих элементах конструкций пути. Поэтому для грузонапряженных и высокоскоростных линий целесообразна укладка рельсов более тяжелых типов.

Род шпал также оказывает существенное влияние на напряжения в балластном слое. Это непосредственно связано с жесткостью самой шпалы и работой ее под нагрузкой.

Стабильность подшпального основания при вибродинамическом воздействии подвижного состава создается за счёт сил трения между частицами балласта и грунтов земляного полотна. Основная причина вибрации пути – наличие рельсовых стыков и неровностей на рельсах и колесах подвижного состава. При проходе колес по неровностям возникают дополнительные силы инерции необрессоренных масс, вызывающие вибрации верхнего строения пути и земляного полотна. С ростом скоростей движения поездов и осевых нагрузок вагонов вибродинамическое воздействие на путь увеличивается, что подтверждено рядом исследований [13, 14].

Призма балластного слоя, устроенная из любых материалов, с точки зрения работы ее под воздействием поездной нагрузки разделяется на два слоя.

Верхней слой является активным, деятельным слоем. Этот слой наиболее интенсивно подвергается изменениям по толщине, гранулометрическому составу материала, загрязнению и перемещениям частиц в различных направлениях. Указанные процессы находятся в прямой зависимости от размеров динамических участка, типа верхнего строения пути, климатических условий, района прохождения линий, условий погоды и ряда других факторов.

Последствия осадки пути и иных нарушений его геометрии чаще всего устраняют путем подбивки балласта и выправки. Однако подбивка влечет за собой еще большее разрушение частиц балласта ввиду сильного механического воздействия на них, также связанного со знакопеременными нагрузками.

Периодически повторяемые операции по подбивке, входящие в качестве неотъемлемой части в комплекс работ по обслуживанию верхнего строения пути, постепенно ведут к потере прочности и жесткости балластного слоя.

Отрицательные последствия этого процесса наиболее явно сказываются, когда измельчение балластного материала достигает критической степени и балласт теряет не только механические свойства, но и способность должным образом отводить воду с пути. На этой стадии балласт необходимо очищать или заменять, что требует большого объема путевых работ и обуславливает задержки движения поездов.

Анализируя конструкцию современного железнодорожного пути, следует отметить, что верхнее строение при рельсах Р65, бесстыковом пути со сверхдлинными плетями на железобетонных шпалах и прочном щебеночном балласте отвечают потребностям движения поездов большой массы и высоких скоростей.

Верхнее строение пути высокоскоростной магистрали на балласте принципиально не отличается от обычного пути. Верхнее строение пути содержит рельсовые плети, упругие промежуточные скрепления, железобетонные шпалы и балластную призму.

Анализ литературы что, конструкции балластной призмы пути высокоскоростной магистралей есть два существенных отличия от типовой конструкции обычного пути: толщина балласта под шпалой снижена до 30 см, а откос балластной призмы уположен до 1:1,75.

Поскольку в верхней части земляного полотна располагается защитный слой из щебеночно-гравийно-песчаной смеси, то прочность основной площадки заведомо высокая, что позволяет уменьшить толщину балластной призмы до 30 см под шпалой, тем более что нагрузка на ось также снижена по сравнению с требованиями к обычным железнодорожным линиям [15, 16].

Е.С. Варызгиным измерены [5] средние значения ускорений, полученных в балластной призме при разных осевых нагрузках вагонов и скоростях движения ( $W_n$  – ускорения, направленные вниз от положения равновесия,  $W_b$  – ускорения, направленные вверх;  $W_n = W_n + W_b$ ). Измерения проводились в зоне стыка на участках с рельсами Р50, железобетонными шпалами, скреплениями КБ, типовыми прокладками под рельсом толщиной 10 мм и на участках с рельсами Р65, деревянными шпалами, костыльным скреплением при щебне фракции 25-70 мм.

Таблица 1 – Средние значения ускорений, полученных в балласте при разных осевых нагрузках вагонов и скоростях движения

Осовая нагрузка тс/ось	Средние ускорения доли g, при скорости движения, км/ч								
	25			50			70		
	$W_n$	$W_b$	$W_n$	$W_n$	$W_b$	$W_n$	$W_n$	$W_b$	$W_n$
17	1,3	1,0	2,3	1,8/6,0	1,3/3,1	3,1/9,1	2,2	1,4	3,6
23	3,0	2,0	5,0	5,1/7,4	3,0/4,8	8,1/12,2	5,4	3,3	8,7
25	3,7	2,4	6,1	6,1/9,3	3,8/4,9	9,9/14,2	6,9	4,5	11,4

С увеличением осевой нагрузки и скорости движения растут ускорения. Особенно интенсивен рост ускорений при изменении статической нагрузки от 17 до 23 тс/ось. Это объясняется большим приращением нагрузки в этом диапазоне, чем в диапазоне 23-25 тс/ось [5].

В этих измерениях мы видим поскольку с увеличением скорости движения возрастает частота колебаний, ускорения и скорости колебаний также возрастают.

Основными причинами расстройств балластного слоя являются нарушения его прочности, устойчивости и размеров призмы, а также равнопрочности и равноупругости пути по протяжению.

Расстройства в балластном слое приводят к образованию неравномерных осадков пути как в продольном, так и поперечном направлении; в отдельных случаях они могут достигать размеров, угрожающих безопасности движения поездов.

Нарушения прочности балластного слоя происходят в первую очередь при недостатках в текущем содержании пути и балластной призмы, а также при несоответствии рода балласта условиям эксплуатации, превышении допускаемых давлений на балласт, несоблюдения требований, предъявляемых к балласту по ГОСТу, укладке балласта без уплотнения при ремонтных пути и несвоевременном выполнении работ по ремонту балластного слоя.

К недостаткам текущего содержания пути и балластной призмы относятся нарушения установленных норм содержания всех элементов пути. Особое внимание следует уделять содержанию призмы в соответствии с установленными размерами и в чистоте, водоотводов в полной исправности с обеспечением равноупругости пути в течение всего периода эксплуатации пути.

Нарушения размеров призмы балластного слоя происходят при их несоответствии условиям эксплуатации, несоблюдении норм запаса балласта на осадку при уплотнении, нарушениях технических требований по применению типовых поперечных профилей в различных условиях эксплуатации, недостаточной ширине земляного полотна и по другим причинам, указанным выше при рассмотрении вопроса нарушений прочности балластного слоя.

Нарушение равноупругости пути происходит в первую очередь при изменениях равнопрочности элементов пути по его протяжению и в поперечном направлении, например из-за наличия стыков рельсов, применения разнотипных шпал, отступлений в расстояниях между шпалами, наличия перекосов и отрясений шпал, применения разнотипного щебня или другого материала с различными размерами зерен, а также при частичных исправлениях пути по уровню, различной высоте нормальных размеров, смещения щебня различных пород и прочности, при неравномерном промерзании и оттаивании балласта, при нарушениях прочности балластного слоя, размеров его призмы и многих других причинах.

Исследованиями неравноупругости пути [17] установлено, что среднее изменение модуля упругости в соседних шпальных ящиках равнялось  $35\text{--}40 \text{ кГ/см}^2$ , максимальное  $170 \text{ кГ/см}^2$ . При нагрузке на колесо 10 Т средняя величина уклона динамического профиля оказывается равной 0,0005. Если упругие просадки соседних шпал будут иметь разницу 1,5 мм, то при расстоянии между шпалами 55 см величина уклонов этого профиля будет составлять 0,0003. По исследованиям канд. тех. наук Е.М. Бромберга, величина таких местных уклонов с учетом потайных толчков может достигать 0,004.

Равноупругий во всех сечениях путь очень устойчив и обеспечивает высокие скорости движения поездов. Однако при нарушении равноупругости пути, т.е. при наличии в пути неровностей, при движении поездов возникают дополнительные силы давления колес на рельсы, которые приводят к увеличению накопления остаточных деформаций в пути и сокращению скоростей движения поездов.

В данное время в конструкцию верхнего строения пути внесены принципиальные изменения, связанные с широким применением бесстыкового пути, термически упрочненных рельсов, железобетонных шпал, новых конструкций креплений, а также частей, относящихся к подрельсовому основанию. В совокупности это оказывает влияние на условия работы пути, методы его содержания и ремонта и связанные с этим материальные и трудовые затраты. Поэтому необходимы коррективы действующих классификаций путевых работ, их периодичности, особенно при укладке термически упрочненных рельсов, типов верхнего строения пути.

Шпалы являются наиболее важным видом подрельсовых оснований и служат для восприятия давления от рельсов и передачи его на балластный слой. Кроме того, шпалы предназначены для крепления к ним рельсов и обеспечения постоянства ширины колеи.

Необходимо, чтобы шпалы были прочными, упругими и дешевыми, а также обладали достаточно высоким электрическим сопротивлением. Материалом для шпал

служат дерево, железобетон и металл. По материалу все эти шпалы есть преимущества и недостатки.

К преимуществам железобетонных шпал относятся: длительный эксплуатационный период (в случае благоприятных условий достигает 60 лет); высокие показатели устойчивости к влиянию отрицательных факторов со стороны внешней среды; способность выдерживать высокие механические нагрузки; сравнительно низкая стоимость; отсутствие гниения, коррозии; высокий уровень сопротивляемости к перемещениям; возможность монтажа независимо от уровня загруженности; незначительные финансовые траты на эксплуатационное обслуживание; не требуется больших физических усилий в процессе монтажа и укладки; удобство при транспортировке и разгрузке из-за одинаковой ширины и длины конструкции; возможность демонтажа и повторного использования.

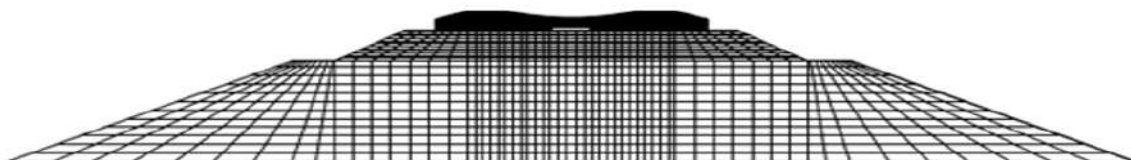
Несмотря на многочисленные преимущества, у таких изделий имеются недостатки: необходимость регулярно осматривать железнодорожные пути из-за усталостного разрушения, происходящего в бетонных шпалах; вес железобетонной шпалы равен 270 кг, поэтому устанавливать изделия можно лишь с использованием специализированной техники; для уменьшения жесткости требуются специальные упругие прокладки; относительно высокая стоимость новых изделий; необходима изоляция, поскольку такие шпалы отличаются высокой электропроводностью.

Разница в эксплуатационных расходах при применении деревянных и железобетонных шпал определяется не только их фактической стоимостью с учетом расходов на доставку к месту укладки, но и следующими факторами: неодинаковым сроком службы шпал; неодинаковым влиянием тех и других шпал на работу взаимодействующих с ними частей пути – рельсов, креплений, балласта, земляного полотна и на стабильность пути в целом; различием в системе прикрепления рельсов к шпалам и связанных с этим расходов на монтаж, содержание и разборку рельсовых звеньев; различием в технологии ремонта и содержания пути, а также в использовании существующих машин и механизмов для выполнения путевых работ.

Путь на железобетонных шпалах вследствие меньшего расхождения типоразмеров и большей жесткости железобетонных шпал обладает большей стабильностью и равноупругостью по длине по сравнению с путем на деревянных шпалах.

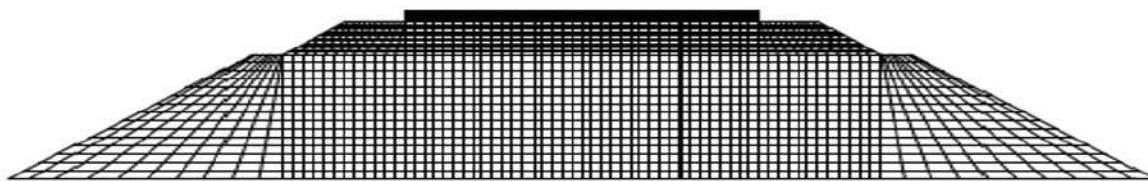
Однако напряжения по подошве железобетонной шпалы в основном периоде ее работы обычно распределяются более неравномерно, чем по подошве деревянной, а абсолютные их значения в зоне подрельсовых сечений на 20-25% выше, чем при деревянной шпале. Это обусловлено большей жесткостью железобетонной шпалы, наличием выема (канавки) в средней части шпалы по ее подошве и отрясанием концов шпал по истечении некоторого времени после их подбивки (рисунок 1).

а)



б)





а) железобетонная шпала; б) деревянная шпала

Рисунок 1 – Распределение напряжений в основании балласта

Недостатки деревянные шпалы малая срок службы и неверные обрабатывание антисептическими составами (или вовсе без обработки) шпалы подвержены гниению.

Жесткость деревянной шпалы в 8-10 раз меньше жесткости железобетонной. Это приводит к тому, что под нагрузкой деревянная шпала, изгибаясь по своей длине, более плотно прилегает к балласту. Разность осадок подрельсового сечения и середины шпалы тем меньше, чем больше её ширина и толщина.

Одним из наиболее существенных отличий железобетонных шпал от деревянных является значительно более высокая жесткость первых. Если модель упругости значительно древесины при сжатии вдоль волокон и изгибе в расчетах принимается равным  $100\,000\text{ кгс/см}^2$ , а при сжатии поперек волокон –  $5000\text{--}10\,000\text{ кгс/см}^2$ , то для железобетона модуль упругости на сжатии –  $350\,000\text{--}400\,000\text{ кгс/см}^2$ . Это отличие сильно влияет на характер взаимодействия железобетонных шпал с балластом и на общую жесткость пути с железобетонными шпалами.

Современный железнодорожный путь состоит из различных по свойствам материалов, которые, воспринимая силовое воздействие от колес подвижного состава, работают взаимосвязано. Изменение мощности или конструкции любого элемента пути отражается на условиях работы всех элементов. Например, замена деревянных шпал на железобетонные (наряду с получением ряда известных преимуществ при отсутствии прокладок оптимальной упругости резко повышает жесткость пути (а отсюда и уровень контактных сил в зоне колесо – рельс), ускоряет дробление щебня, накопление остаточных деформаций и т.д.

Жесткость пути в вертикальном направлении принято характеризовать модулем вертикальной упругости подрельсового основания  $u$  (в  $\text{кгс/см}^2$ ). Для пути с деревянными шпалами среднее значение  $u$  в летних условиях, по материалам ряда испытаний, составляет: при сплошь новых шпалах –  $350\text{--}550\text{ кгс/см}^2$ ; при шпалах, прослуживших ряд лет в пути, –  $250\text{--}300\text{ кгс/см}^2$ . Для пути с железобетонными шпалами величина  $u$  определяется в основном жесткостью рельсовых креплений и главным образом жесткостью упругих прокладок, без которых современные железобетонные шпалы не применяют. В зависимости от материала прокладок и их конструкции величина  $u$  может варьироваться в достаточно большом диапазоне. Например, по материалам ряда испытаний, проведенных ЦНИИ МПС, МИИТом и ДИИТом в действующем пути с железобетонными шпалами, средние по каждому испытанию значения  $u$ , измеренные в интервале от 4 до 8 тс нагрузки на рельс, составили: при ранее применявшихся прокладках из бакелизированной фанеры – от  $1050$  до  $1910\text{ кгс/см}^2$ ; при рифленых резиновых прокладках толщиной 5-7 мм, применяемых сейчас в креплениях КБ, порядка  $1000\text{--}1500\text{ кгс/см}^2$ , при специальных резиновых прокладках повышенной упругости средняя величина  $u$  снижалась до  $420\text{ кгс/см}^2$  [18].

Из-за более высокой жесткости пути при железобетонных шпалах любая динамическая неровность на поверхности головок рельсов или на колесах подвижного состава развивается в опасную неисправность. Это особенно сильно проявляется в рельсовых стыках, которые при этом быстрее расстраиваются, а рельсовые концы интенсивно и неравномерно сминаются, и изнашиваются. Данные ряда дорог показывают, что при железобетонных шпалах одиночный выход рельсов по повреждениям в зоне стыков в 2-3 раза выше, чем при деревянных.

Таким образом, жесткость подрельсового основания на пути с железобетонными шпалами может быть как выше так и ниже, чем на пути с деревянными шпалами.

К данному времени в «Узбекистан темир йуллари» АЖ на главных путях использованы железобетонные шпалы типа III-1-1 и BF70 (таблица 2).

Следует отметить и еще одну особенность работы железобетонных шпал. В связи с повышенной жесткостью железобетонных шпал, которая допустима при существующей ширине земляного полотна и других условиях, давление на балласт под шпалой распределяется иначе, чем при более гибких деревянных шпалах, и достигает наибольшей величины вначале у концов шпал. Поскольку в местах наибольших давлений возникают и наибольшие остаточные деформации балласта, то концы железобетонных шпал отрясаются и шпалы начинают опираться на балласт преимущественно серединой. При этом, как указано выше, резко возрастает изгибающий момент в средней части шпалы, что даже при предварительно напряженном железобетоне может привести к появлению поперечных трещин.

Таблица 2 – Применяемые в Республике Узбекистан типы железобетонных шпал

№	Типы железобетонных шпал	Страна производитель	Протяженность с данным типом железобетонных шпала (км)
1	III-1-1	Россия	2693,5
2	BF70	Великобритания	2526,1

Одним из важных параметров конструкции верхнего строения является ее способность противостоять вибрациям или быстро их гасить, если они возникли в пути при проходе подвижного состава. Волнообразный износ рельсов, неравножесткость пути определяют величину возмущающих сил. Упругие прокладки-амортизаторы между рельсом и шпалой, увеличение массы в подрельсовом сечении за счет перехода от шпал к блокам и т.п. снижают уровень вибрации. Разработаны методы расчета упругих элементов верхнего строения пути, позволяющие устанавливать оптимальные параметры этих элементов и с позиции создания в зонах их работы своеобразных фильтров вибрации наиболее вредных частот.

Одновременное повышение скоростей движения и осевых нагрузок при железобетонных шпалах резко увеличило вибрацию пути, понизив сопротивление вибрации всех элементов пути. Это ухудшило условия работы балластной призмы и основной площадки земляного полотна. Поэтому способность элементов верхнего строения гасить вибрации пути является одним из важных требований, предъявляемых к современной его конструкции.

В связи с разработкой и внедрением новых конструкций верхнего строения пути железобетонные шпалы, блочные подрельсовые основания, бесстыковой путь расширились функции рельсовых скреплений и предъявляемые к ним требования.

При применении железобетонных шпал для снижения жесткости пути, которое может быть достигнуто главным образом за счет промежуточных скреплений,

потребовалось дополнить скрепления специальными упругими – амортизирующими элементами.

Промежуточные скрепления, выполняя роль связующих элементов между рельсами и основанием, должны обеспечивать [19]:

- стабильность ширины колеи;
- прижатие рельсов к основанию, исключая отрыв и угон рельсов;
- оптимальные условия температурной работы рельсов;
- проведение регулировки положения рельсов по высоте и ширине колеи, замену деталей скреплений без перерывов в движения поездов;
- механизированную сборку и содержание узлов скреплений;
- рациональную пространственную упругость и вибростойкость узлов скреплений;
- электроизоляцию рельсов от основания;
- экономическую эффективность конструкции верхнего строения пути.

К данному времени в «Узбекистан темир йуллари» АЖ на главных путях использованы скрепления типа КБ и Pandrol Fastclip (таблица 3).

В обоих скреплениях есть преимущества и недостатки.

Недостатками конструкции скреплений КБ является многодетальность (21 деталь в каждом узле скреплений), материалоемкость (общая масса металлических и полимерных деталей на 1 км пути составляет соответственно 41,6 и 2,1 т) и наличие около 16 тыс. болтов на 1 км пути, содержание которых (очистка от грязи, смазка, подтягивание гаек) требует больших затрат.

Таблица 3 – Применяемые в Республике Узбекистан типы скрепления

№	Типы скрепления	Страна производитель	Протяженность с данным типом скрепления (км)
1	КБ	Россия	2693,5
2	Pandrol Fastclip	Великобритания	2526,1

Долговечность прокладок данного вида конструкции скрепления не соответствует заявленной «Pandrol» и составляет всего 120-130 млн. т брутто. В настоящее время отмечается массовый выход прокладок промежуточного скрепления. Все поврежденные прокладки имеют одинаковые дефекты.

Характерным признаком повреждения прокладок является их интенсивное истирание в виде треугольников по всем сторонам прокладки. Разрушению подвержена вся площадь прокладки по обеим поверхностям.



Рисунок 2 – Основные недостатки подрельсовых прокладок типа Pandrol Fastclip в железнодорожной линии

Существует мнение, что в промежуточных скреплениях главную роль играет упругая прокладка, обеспечивающая вертикальную жесткость узла рельс – шпала [20].

Экспериментально установлено, что в диапазоне частот ниже частоты свободных колебаний рельсовых скреплений усилие, приложенное к верхней поверхности упругой прокладки, передается на нижнюю в неизменной форме. В диапазоне же частот, превышающих собственную частоту колебаний скреплений, упругая прокладка уменьшает это усилие и снижает вибрационное перемещение шпалы. При частоте колебаний 550 Гц и выше, передаваемых от рельса на основание, перемещения становятся равными нулю. Нулевое значение перемещения означает, что шпала становится практически неподвижной и исчезает один из факторов, приводящих к расстройству пути.

На участках пути с железобетонными шпалами и блоками упругость рельсовой нити в вертикальной и горизонтальной плоскостях формируется в основном за счет промежуточного скрепления. Введением в узел скрепления резиновых амортизаторов и пружинных элементов можно снизить жесткость пути при железобетонном подрельсовом основании до уровня, близкого к тому, который имеет место при деревянных шпалах.

Для конструирования узла промежуточного рельсового скрепления необходимо обеспечить соотношение упругих характеристик отдельных его элементов, при которых должны удовлетворяться требования определенного упругого замыкания системы и минимального его изменения под воздействием колес подвижного состава.

Для снижения вертикальной жесткости пути с железобетонными шпалами широкое распространение получили прокладки из различных электроизолирующих материалов (кордонита, полиэтилена резины, резино-корда и т.п.), которые укладываются под рельсом и под подкладкой.

### **Выводы.**

1. Чтобы обеспечить надежную и безопасную работу балластной призмы, необходимо проделать большую инженерскую работу по подбору материала как по прочности, так и по способности более равномерного распределения напряжений по вертикали и горизонтали.

2. Работоспособность земляного полотна и его возможность обеспечения расчетной скорости подвижного состава зависит в первую очередь от правильной конструкции балластной призмы. Конструкция земляного полотна и плотность ее грунтов должна

создать условия равномерного распределения напряжений в вертикальной и горизонтальной плоскости.

### Литература

1. Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» №УП-4947.
2. Киселев И.П. Время строить ВСМ. // Транспортное строительство. – 2007. – №1. – С. 12-17.
3. Жинкин Г.Н., Прокудин И.В. Изучение поведения грунтов земляного полотна при  $v < 200$  км/ч. // ЛИИЖТ. – 1976 г.
4. Жинкин Г.Н., Прокудин И.В. Исследование колебаний грунтов при высокоскоростном движении поездов. // ЛИИЖТ. – 1976 г.
5. Содержание балластной призмы железнодорожного пути. / Под ред. Е.С. Варызгина. – М.: «Транспорт», 1978. – 142 с.
6. Ефремов Ю.В. Железнодорожный путь на асбестовом балласте: учебное пособие для специальности «Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство». – Самара: СамИИТ, 1992. – 83 с.
7. Варызгин Е.С. Исследование по выявлению оптимального зернового состава путевого щебня. / Труды ЦНИИ «Расчет и конструирование балластной призмы железнодорожного пути», 1970. – Выпуск 387. – С. 4-80.
8. Попов С.Н. Балластный слой железнодорожного пути. – М.: «Транспорт», 1965. – 183 с.
9. Амелина С.В., Яковлева Е.Г. Основы устройства и расчетов железнодорожного пути. – М.: «Транспорт», 1990. – 367 с.
10. Попов С.Н. Балластные материалы на железных дорогах и технико-экономические расчеты при их применении. / Труды ЦНИИ, 1947. – Выпуск 4.
11. Голованчиков А.М. Вертикальные нормальные напряжения в балластной призме железнодорожного пути. / Труды ЦНИИ «Расчет и конструирование балластной призмы железнодорожного пути», 1970. – Выпуск 387. – С. 81-112.
12. Попов С.Н. О допускаемых напряжениях на балласт. / Сборник трудов «Взаимодействие пути и подвижного состава и вопросы расчетов пути», 1955. – Выпуск 97. – С. 66-70.
13. Барбошин В.Ф. Повышение стабильности пути в зоне рельсового стыка. / В.Ф. Барбошин, Н.И. Анаев. – М.: «Транспорт», 1978. – 46 с.
14. Коншин Г.Г. Работа земляного полотна под поездами. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2012. – 208 с.
15. СП 119.13330.2012 «СНиП 32-01-95 Железные дороги колеи 1520 мм», утвержденный приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 30 июня 2012 г. № 276, в части пунктов СП 119.13330.2012 «СНиП 32-01-95 Железные дороги колеи 1520 мм», включенных в Перечень национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», утвержденный постановлением Правительства Российской Федерации от 26 декабря 2014 г. № 1521 (далее – Перечень), до внесения соответствующих изменений в Перечень.
16. СП 119.13330.2017 Железные дороги колеи 1520 мм. Актуализированная редакция СНиП 32-01-95.
17. Ершков О.П. Обеспечим равноупругость пути. // Путь и путевое хозяйство. – 1959. – № 3.
18. Современные конструкции верхнего строения железнодорожного пути. / Под редакцией В.Г. Альбрехта и А.Ф. Золотарского. – М.: «Транспорт», 1975. – 280 с.

19. Ершов Д.С., Питеев Н.И. Промежуточные рельсовые скрепления. / Труды IV научно-технической конференции с международным участием «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути». Москва, МИИТ. – 7-8 ноября 2007. – С. 34-36.

20. Золотарский А.Ф. и др. Железобетонные шпалы. – М.: «Трансжелдориздат», 1959. – 255 с.

### References

1. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan dated February 7, 2017 "On the strategy of actions for the further development of the Republic of Uzbekistan" No. UP-4947.

2. Kiselev I.P. Time to build a VSM. // Transport construction. – 2007. – No.1. – pp. 12-17.

3. Zhinkin G.N., Prokudin I.V. Studying the behavior of the soil of the roadbed at  $v < 200$  km/h. // LIIZHT. – 1976.

4. Zhinkin G.N., Prokudin I.V. Investigation of ground vibrations during high-speed train movement. // LIIZHT. – 1976.

5. The content of the ballast prism of the railway track. / Edited by E.S. Varyzgin. – M.: "Transport", 1978. – 142 p.

6. Efremov Yu.V. Railway track on asbestos ballast: a textbook for the specialty "Railway construction, track and track management". – Samara: SamIIT, 1992. – 83 p.

7. Varyzgin E.S. Research on the identification of the optimal grain composition of track rubble. / Trudy TSNII "Calculation and design of ballast railway track", 1970. – Issue 387. – pp. 4-80.

8. Popov S.N. The ballast of the railway track. – M.: "Transport", 1965. – 183 p.

9. Amelina S.V., Yakovleva E.G. Fundamentals devices and calculations rail journey. – M.: "Transport", 1990. – 367 p.

10. Popov S.N. Ballast materials on railways and technical and economic calculations in their application. / Proceedings of the Central Research Institute, 1947. – Issue 4.

11. Golovanchikov A.M. Vertical normal stresses in the ballast prism of a railway track. / Proceedings of the Central Research Institute "Calculation and construction of a ballast prism of a railway track", 1970. – Issue 387. – pp. 81-112.

12. Popov S.N. On permissible stresses on ballast. / Collection of works "Interaction of track and rolling stock and issues of track calculations", 1955. – Issue 97. – pp. 66-70.

13. Baroboshin V.F. Increasing the stability of the track in the area of the rail junction. / V.F. Baroboshin, N.I. Anaev. – M.: "Transport", 1978. – 46 p.

14. Konshin G.G. The work of the roadbed under trains. – M.: FGBOU "Educational and Methodological Center for education in railway transport", 2012. – 208 p.

15. SP 119.13330.2012 "SNIP 32-01-95 Railways of 1520 mm gauge", approved by the order of the Ministry of Regional Development of the Russian Federation dated June 30, 2012. No. 276, in terms of paragraphs of SP 119.13330.2012 "SNIP 32-01-95 Railways of 1520 mm gauge" included in the List of National Standards and Codes of Rules (parts of such standards and codes of rules), as a result of which compliance with the requirements of the Federal Law "Technical Regulations on the Safety of Buildings and Structures", approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated December 26, 2014 No. 1521 (hereinafter referred to as the List), is mandatory, until appropriate changes are made to the List.

16. SP 119.13330.2017 Railways of 1520 mm gauge. Updated version of SNiP 32-01-95.

17. Ershkov O.P. We will ensure the equilasticity of the path. // Path and track facilities. – 1959. – №3.

18. Modern constructions of the upper structure of the railway track. / Edited by V.G. Albrecht and A.F. Zolotarsky. – M.: "Transport", 1975. – 280 p.

19. Ershov D.S., Piteev N.I. Intermediate rail fasteners. / Proceedings of the IV Scientific and Technical Conference with international participation "Modern problems of railway track design, construction and operation". Moscow, MIIT. – November 7-8, 2007. – pp. 34-36.

20. Zolotarsky A.F. et al. Reinforced concrete sleepers. – M.: "Transzheldorizdat", 1959. – 255 p.

**АБДУЖАБАРОВ А.Х. – т.ғ.д., профессор (Өзбекстан Республикасы, Ташкент қ., Ташкент мемлекеттік көлік университеті)**

**МУСАЕВА Г.С. – т.ғ.д., профессор (Алматы қ., Логистика және көлік академиясы)**

**БЕГМАТОВ П.А. – PhD докторанты (Өзбекстан Республикасы, Ташкент қ., Ташкент мемлекеттік көлік университеті)**

### **ПОЕЗДАРДЫҢ ЖҮРДЕК ҚОЗҒАЛЫСЫ КЕЗІНДЕГІ ЖОЛДЫҢ ЖОҒАРҒЫ ҚҰРЫЛЫСЫ ЭЛЕМЕНТТЕРІНІҢ ДАМУЫ ЖӘНЕ ҚАЗІРГІ ЖАЙ-КҮЙІ**

#### **Аңдатпа**

*Әлемде темір жолдардың жүрдек учаскелерінде поездар қозғалысының қауіпсіздігін арттыру, сондай-ақ жолдың жоғарғы құрылысы мен жер төсемі конструкциясының элементтеріне теріс әсер ететін факторларды төмендететін технологиялар мен әдістерді әзірлеу жетекші орын алады. Дамыған елдерде мұндай жолдардың жоғарғы құрылымының элементтерінде және магистральдық жолдар мен жергілікті теміржол желілеріндегі жер төсемінің құрылымдарында пайда болатын деформациялар мен ақауларды азайтуға көп көңіл бөлінеді. Сондықтан теміржолдарды пайдаланудың қазіргі жағдайында жер төсемінің беріктігі мен тұрақтылығын арттыру әдістерін жетілдіруге ерекше назар аударылады, бұл жылдамдық учаскелеріндегі пойыздар жылдамдығының өсуімен және оське жүктеменің артуымен, сондай-ақ жолдың жоғарғы құрылымы элементтерінің жаңа конструкцияларын енгізумен сипатталады.*

**Түйінді сөздер:** *темір жол көлігі, темір жол, жолдың жоғарғы құрылысы, жер төсемінің конструкциясы, поездар қозғалысының жылдамдығын арттыру, деформацияларды азайту, балласт қабаты, аралық бекітпелер, рельс асты төсемдері.*

**ABDUZHABAROV A.Kh. – d.t.s., professor (Republic of Uzbekistan, Tashkent, Tashkent state transport university)**

**MUSAYEVA G.S. – d.t.s., professor (Almaty, Academy of logistics and transport)**

**BEGMATOV P.A. – PhD student (Republic of Uzbekistan, Tashkent, Tashkent state transport university)**

### **DEVELOPMENT AND CURRENT STATE OF THE ELEMENTS OF THE UPPER STRUCTURE OF THE TRACK IN HIGH-SPEED TRAIN TRAFFIC**

#### **Abstract**

*In the world, the leading place is occupied by improving the safety of train traffic on high-speed sections of railways, as well as the development of technologies and methods that reduce factors that have a negative impact on the elements of the upper structure of the track and the construction of the roadbed. In developed countries, increasing attention is being paid to*



*reducing deformations and defects that occur in the elements of the upper structure of the track and the structures of the roadbed on the main tracks and local railway networks. Therefore, special attention is paid to improving the methods of increasing the strength and stability of the roadbed in modern conditions of operation of railways, characterized by an increase in train speeds on high-speed sections and an increase in axle load, as well as the introduction of new designs of elements of the upper structure of the track.*

**Keywords:** railway transport, railway track, upper structure of the track, construction of the roadbed, increase in train speeds, reduction of deformations, ballast layer, intermediate fasteners, under-rail gaskets.

УДК 656.2

**АХМЕТОВ Б.С.** – д.т.н., профессор (г. Алматы, Казахский университет путей сообщения)

**АБУОВА А.Х.** – доктор PhD (г. Алматы, Казахский университет путей сообщения)

## **СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО АВТОМАТИЧЕСКОМУ РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ФИНАНСОВЫХ РЕСУРСОВ НА ЛИКВИДАЦИЮ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

### **Аннотация**

*Разработан и протестирован программный продукт – система поддержки принятия решений (DSS Emergency) для выработки рекомендаций в ходе выбора рациональных финансовых стратегий ситуационному центру по ликвидации чрезвычайных ситуации и ликвидаторам, работающим непосредственно на месте аварии или в зоне чрезвычайных ситуации.*

*Разработанная база знаний и искусственная нейронная сеть обеспечила не только решение прикладной задачи по распределению финансовых ресурсов, направленных на ликвидацию чрезвычайных ситуации, но также дала возможность выполнять прогнозную оценку последствий принятых решений по выбору конкретных финансовых стратегий ликвидации последствий аварий и чрезвычайных ситуации на железнодорожном транспорте в условиях структурной и параметрической неопределенности.*

*Реализация программного продукта DSS Emergency выполнена по модульному принципу, что даст возможность дополнять систему поддержки принятия решений другими модулями. Предложенный программный продукт является достаточно универсальным и может быть расширен за счет функционала других подзадач.*

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, чрезвычайные ситуации, ликвидации последствий аварии, программный продукт, финансовые стратегии, модульный принцип.

### **Введение.**

Обычно, на пути правильного принятия решений руководителем ликвидации чрезвычайных ситуации (ЧС) на железнодорожном транспорте (ЖДТ), возникает ситуация, когда приходится сталкиваться с низкой точностью оперативной информации, полученной от аварийных бригад или диспетчерских служб. Также необходимо оценить большое значительное количество вариантов развития техногенной аварии или ЧС.