

Библиографический список

1. **Расчет** оснований и сооружений / В. Г. Безрезанцев. – Ленинград : Изд-во литературы по строительству, 1970. – 212 с.

2. **Особенности** колебательного процесса грунтов насыпей, опирающихся на торфяное основание при движении поездов / А. Ф. Колос, Д. В. Крюковский // Известия ПГУПС. – 2013. – Вып. 2.

3. **Методика** определения коэффициента стабильности основания земляного полотна с учетом вибродинамической нагрузки / А. Ф. Колос, А. А. Сидоренко, В. С. Рыжов // Сб. науч. тр. Sworld по материалам Международной научно-практической конференции (Одесса, 2011). Т. 2. – 2011. – № 4. – С. 52–59.

4. **Расчет** несущей способности земляного полотна в особой точке с использованием интегрирования // Сб. науч. тр. Sworld по материалам Международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения

в науке, транспорте, производстве и образовании – 2011». Т. 2 / Д. В. Крюковский, И. С. Козлов. – Одесса : Транспорт, 2011. – 100 с.

5. **Исследование** прочностных характеристик лессовых грунтов в условиях трехосного напряженного состояния при воздействии вибродинамических нагрузок / А. Ф. Колос, М. А. Абдукаримов // Известия ПГУПС. – 2011. – Вып. 3. – С. 176–182.

6. **Колебательный** процесс грунтов железнодорожного земляного полотна, возведенного из лёссовых суглинков, при скоростном движении поездов в условиях республики Узбекистан / А. Ф. Колос, З. Э. Мирсалихов // Известия ПГУПС. – 2011. – Вып. 4. – С. 105–113.

7. **Чувствительность** щебеночного балласта к вибродинамическому воздействию / И. С. Козлов, Д. С. Николайтис // Сб. науч. тр. Sworld по материалам Международной научно-практической конференции (Одесса, 2011). Т. 2. – 2011. – № 4. – С. 23–24.

УДК 629.4.023

В. А. Кручек, Х. Р. Косимов

Петербургский государственный университет путей сообщения

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РАМЫ ТЕПЛОВОЗА UZTE16M

Безопасная эксплуатация транспортного средства определяется остаточной прочностью деталей, узлов и конструкций. Статья посвящена моделированию и анализу напряженно-деформированного состояния рамы тепловоза и определению наибольших напряжений в сечениях рамы тепловоза типа *UzTE16M*.

подвижной состав, рама тепловоза, срок службы, несущие конструкции, прочность.

Введение

Основной задачей железнодорожного транспорта любой страны является полное обеспечение перевозок народно-хозяйственных грузов и пассажиров. Повышение скоростей движения на железнодорожном транспорте, увеличение веса поездов и грузоподъемности ведут к росту динамических

воздействий на ходовую часть и диктуют повышенные требования к несущим конструкциям подвижного состава, в частности рамам тепловоза. Необходимость оценки остаточного ресурса несущих конструкций после выработки ими назначенного ресурса возникла в последние годы в связи с проведением на железнодорожном транспорте

работ по продлению срока службы подвижного состава. Потребовался новый подход к решению проблем, в том числе исследование механических и усталостных характеристик материала несущих конструкций и сопротивления усталости самих деталей после их длительной эксплуатации, обоснование влияния экстремальных условий нагружения, характеристик деталей на их напряжённое состояние, а также поиск альтернативного метода оценки их остаточного ресурса.

В сложившейся ситуации, когда потребности дорог в обновлении локомотивного парка ограничиваются их финансовыми возможностями, значительно возрастает роль ремонта и модернизации как способа поддержания тяговой техники в работоспособном состоянии.

Одним из решений в данный период, наряду с постепенным обновлением парка за счёт поставок новых локомотивов, является продление срока службы части парка путем капитальных ремонтов, в том числе с модернизацией.

В настоящее время большая часть локомотивного парка имеет срок службы более 30 лет, т. е. выработала срок службы [4]. Для продления срока службы и восстановления технического состояния тепловозов типа ТЭ10 необходимо заменить устаревшие дизели типа 10Д100 более экономичными современными дизелями, узлами и агрегатами тепловоза, а также восстановить несущие части локомотива.

В связи с выработкой ресурса, появлением дефектов и износа несущих конструкций тепловозов, с изменением действующих нагрузок на конструкции при модернизации, одной из основных проблем является обеспечение прочности, надежности и долговечности конструкций тепловоза [1].

Основной несущей конструкцией тепловозов является главная продольная рама, которая воспринимает и передает вертикальные, тяговые, тормозные и инерционные силы на тележки (оси) и ударно-тяговые приборы.

Во исполнение постановления Президента Республики Узбекистан «О комплексной программе развития и модернизации желез-

нодорожной отрасли на 2010–2015 годы» утвержден сетевой график модернизации и восстановления локомотивов, модернизации тепловозов *UzTE16M* на базе ТЭ10М. Модернизация заключается в установке дизеля 1А-9ДГ.

1 Схема нагружения рамы тепловоза

Прочностные и весовые показатели рам тепловоза определяются рядом конструктивных и технологических факторов. Это, прежде всего, принципиальная схема тепловоза, определяющая систему сил, действующих на раму; конструктивное исполнение основных несущих элементов рамы и узлов соединения этих элементов друг с другом, а также допустимый уровень концентрации напряжений.

Расчетная схема рамы принята в виде консольно-балочной системы на четырех опорах в местах опирания на шаровые опоры тележек.

Основные геометрические размеры рамы тепловоза ТЭ10М [2]:

расстояние между осями шкворней – 16 969 мм;

длина рамы – 15 940 мм;

расстояние между осями шкворней – 8600 мм;

расстояние между осями шкворневых опор тележки – 1850 мм.

Загружение рамы выполнено по данным развески тепловоза (табл. 1), сосредоточенным силам и распределенным нагрузкам, которые сгруппированы в зависимости от их расположения (табл. 2).

Расположение действующих сил на раму и расчетная схема загрузки приведены на рис. 1.

Положение центра тяжести надтележочного строения относительно условной оси тепловоза определяем по формуле:

$$X = \frac{\sum M}{\sum P},$$

где $\sum P$ – приведенные сосредоточенные силы.

ТАБЛИЦА 1. Развеска тепловоза *UzTE16M* (ось *Z* проходит через переднюю автосцепку)

Узел	Масса, кг	Плечо, мм	Момент, кг-мм
1	2	3	4
Рама дизеля	P_1	L_1	$P_1 \cdot L_1$
Блок цилиндров	P_2	L_2	$P_2 \cdot L_2$
Комплект втулок	P_3	L_3	$P_3 \cdot L_3$
Комплект поршней	P_4	L_4	$P_4 \cdot L_4$
Коленчатый вал	P_5	L_5	$P_5 \cdot L_5$
Трубокомпрессор	P_6	L_6	$P_6 \cdot L_6$
Приводной нагнетатель	P_7	L_7	$P_7 \cdot L_7$
Масляный насос	P_8	L_8	$P_8 \cdot L_8$
Водяной насос охлаждения дизеля	P_9	L_9	$P_9 \cdot L_9$
Водяной насос холодного контура	P_{10}	L_{10}	$P_{10} \cdot L_{10}$
Регулятор	P_{11}	L_{11}	$P_{11} \cdot L_{11}$
Неучтенная масса	P_{12}	L_{12}	$P_{12} \cdot L_{12}$
Генератор ГПЗ11Б	P_{13}	L_{13}	$P_{13} \cdot L_{13}$
Муфта	P_{14}	L_{14}	$P_{14} \cdot L_{14}$
Двухмашинный агрегат	P_{15}	L_{15}	$P_{15} \cdot L_{15}$
Компрессор КТ7	P_{16}	L_{16}	$P_{16} \cdot L_{16}$
Рама тепловоза	P_{17}	L_{17}	$P_{17} \cdot L_{17}$
Фильтр грубой очистки масла	P_{18}	L_{18}	$P_{18} \cdot L_{18}$
Задний редуктор	P_{19}	L_{19}	$P_{19} \cdot L_{19}$
Карданные валы	P_{20}	L_{20}	$P_{20} \cdot L_{20}$
Передний редуктор	P_{21}	L_{21}	$P_{21} \cdot L_{21}$
Вентилятор передний тележки	P_{22}	L_{22}	$P_{22} \cdot L_{22}$
Вентилятор задней тележки	P_{23}	L_{23}	$P_{23} \cdot L_{23}$
Вентилятор тягового генератора	P_{24}	L_{24}	$P_{24} \cdot L_{24}$
Топливный бак	P_{25}	L_{25}	$P_{25} \cdot L_{25}$
Водяной бак	P_{26}	L_{26}	$P_{26} \cdot L_{26}$
Теплообменник	P_{27}	L_{27}	$P_{27} \cdot L_{27}$
Воздухоочиститель	P_{28}	L_{28}	$P_{28} \cdot L_{28}$

Окончание табл. 1

1	2	3	4
Сцепное устройства переднее	P_{29}	L_{29}	$P_{29} \cdot L_{29}$
Сцепное устройство заднее	P_{30}	L_{30}	$P_{30} \cdot L_{30}$
Камера холодильника	P_{31}	L_{31}	$P_{31} \cdot L_{31}$
Секции холодильные нормальные ($UzTE16M$)	P_{32}	L_{32}	$P_{32} \cdot L_{32}$
Секции холодильные укороченные ($UzTE16M$)	P_{33}	L_{33}	$P_{33} \cdot L_{33}$
Вентилятор	P_{34}	L_{34}	$P_{34} \cdot L_{34}$
Кабина	P_{35}	L_{35}	$P_{35} \cdot L_{35}$
Кузов над двигателем с обшивкой	P_{36}	L_{36}	$P_{36} \cdot L_{36}$
Аккумуляторная батарея	P_{37}	L_{37}	$P_{37} \cdot L_{37}$
Камеры высоковольтные	P_{38}	L_{38}	$P_{38} \cdot L_{38}$
Неучтенная масса тепловоза	P_{39}	L_{39}	$P_{39} \cdot L_{39}$

ТАБЛИЦА 2. Приведенные сосредоточенны силы

Обозначение	Величина (кН)	Плечи относительно усл. оси (м)	Плечи относительно концов рамы	Сумма сил в узле (по табл. 1)
R_1	24,53	7,15	0,82	P_{29}, P_{35}
R_{15}	6,60	5,73	2,24	P_{15}
R_2	25,0	4,75	3,22	$P_{16}, P_{21}, P_{22}, P_{24}, P_{38}$
R_{13}	89,0	2,96	5,01	P_{13}
R_3	9,5	2,26	5,71	P_7, P_{14}
R_1	20,25	0,58	5,39	P_1
R_{29}	20,0	0,085	7,88	P_{25}
R_4	404,73	0,0	7,97	P_{17}, P_{37}, P_{39}
R_5	204,42	0,012	7,96	$P_3, P_4, P_5, P_2, P_{12}, P_{28}, P_{36}$
R_6	23,44	-2,27	5,70	$P_1, P_8, P_9, P_{10}, P_{11}$
R_7	15,65	-4,0	3,97	$P_{19}, P_{20}, P_{23}, P_{26}, P_{27}$
R_8	66,81	-6,51	1,46	$P_{18}, P_{31}, P_{32}, P_{33}, P_{34}$
R_{30}	11,35	-7,51	0,64	P_{30}

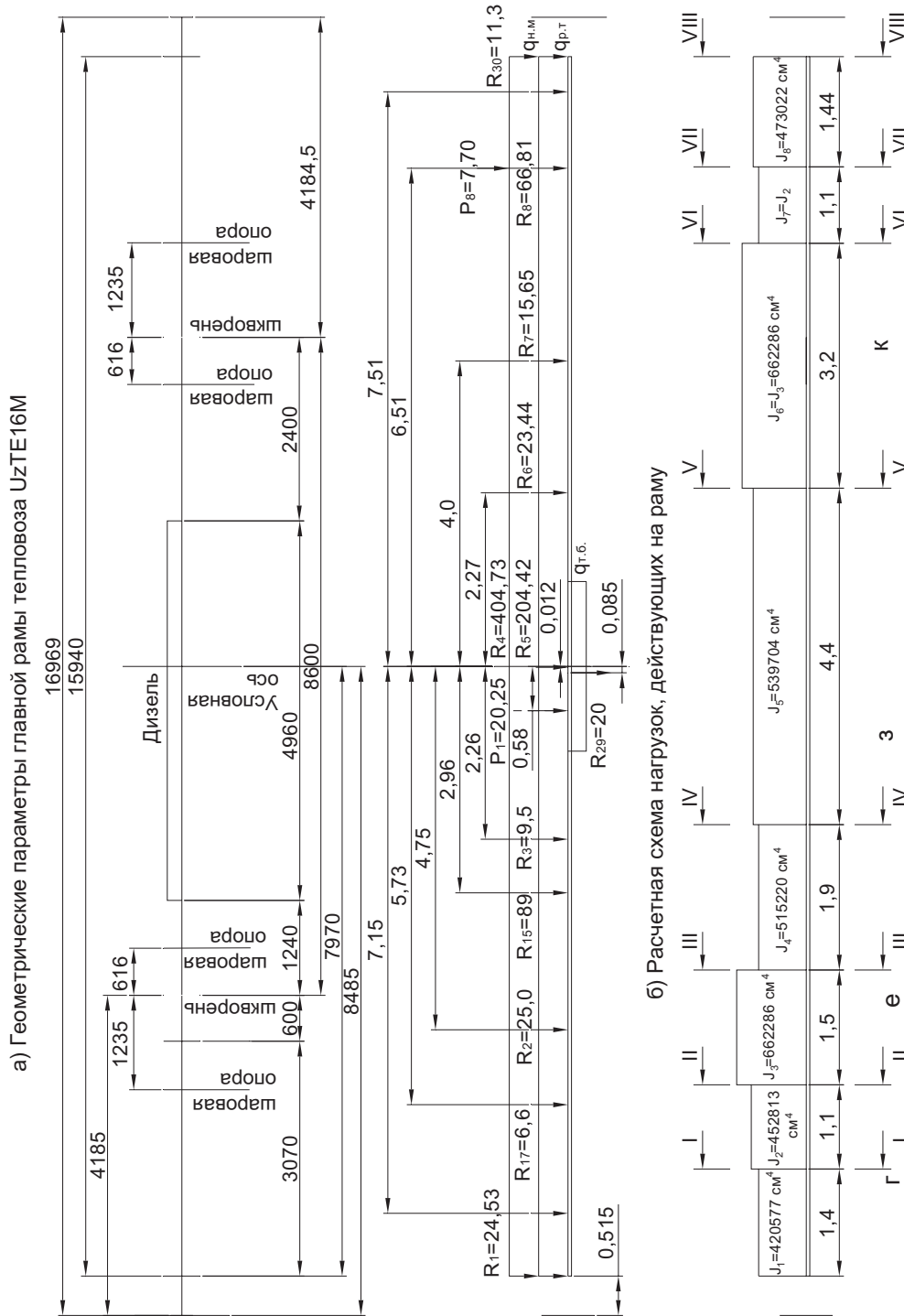


Рис. 1. Расчетная схема нагрузок, действующих на раму

Рассмотрим часть приведенных в табл. 2 сосредоточенных сил в расчетной схеме:

$$\Sigma P = R_1 + R_{17} + R_2 + R_{15} + R_3 + R_1 + R_{29} + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8 + R_{34};$$

$$\Sigma M_0 = -R_1 \cdot L_1 - R_{17} \cdot L_2 - R_2 \cdot L_3 - R_{15} \cdot L_4 - R_3 \cdot L_5 - R_1 \cdot L_6 - R_{29} \cdot L_7 - R_4 \cdot L_8 - R_5 \cdot L_9 - R_6 \cdot L_{10} - R_7 \cdot L_{11} - R_8 \cdot L_{12} - R_{30} \cdot L_1;$$

тогда $X = \frac{\Sigma M_0}{\Sigma P}$.

Для приведения суммарного веса к середине тепловоза справа от условной оси на расстоянии подвешивания 6,51 м укладываем балласт весом 7,7 кН, тогда $\Sigma P = 903$ кН.

Реакции в шаровых опорах будут одинаковыми, что обуславливается сбалансированным рессорным подвешиванием:

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4, \text{ кН.}$$

Часть приведенных в табл. 2 сосредоточенных сил для более точного построения эпюры изгибающих моментов, учитывая характер их приложения к раме, заменяем распределенными нагрузками.

Собственный вес рамы P_{17} , кН, и неучтенную массу тепловоза P_{39} , кН, распределяем по длине всей рамы L , м:

$$q_1 = \frac{P_{17} + P_{39}}{L};$$

тогда величина равнодействующей R_4 уменьшается и составит

$$R_4 = R_0 - R.$$

Собственный вес рамы P_1 дизеля распределяется по ее длине $L_{рд}$:

$$q_2 = \frac{P_1}{L_{рд}}.$$

Вес деталей дизеля и другие силы, входящие в силу R_3 , распределяем по длине части рамы дизеля $L_{рд}$ [3]:

$$q_3 = \frac{R_5}{L_{рд}}.$$

Вес топливного бака P_{25} на участке между креплениями его к раме тепловоза $L_{рд}$:

$$q_4 = \frac{P_{25}}{L_{рд}}.$$

2 Вычисление изгибающих моментов в характерных сечениях для построения эпюры

Для построения эпюры вычисляем изгибающие моменты в характерных сечениях (нумерация сечений по индексам сил):

$$M = \frac{qc^2}{2}.$$

Изгибающий момент над 1-й шаровой опорой (слева): M_{A1} и M_2 .

Изгибающий момент над 1-й шаровой опорой (слева): M_{A1} , M_{A15} и M_3 .

Изгибающий момент в середине рамы как сумма моментов всех сил слева от условной оси: $M_c^{лев}$.

Изгибающий момент в середине рамы как сумма моментов всех сил справа от условной оси: $M_c^{пр}$ и M_6 .

Изгибающий момент над 2-й шаровой опорой (справа): M_{B2} и M_7 .

Изгибающий момент над 1-й шаровой опорой (справа): M_{B1} , M_{A15} и M_{B4} .

По полученным значениям M построена эпюра изгибающих моментов (рис. 2).

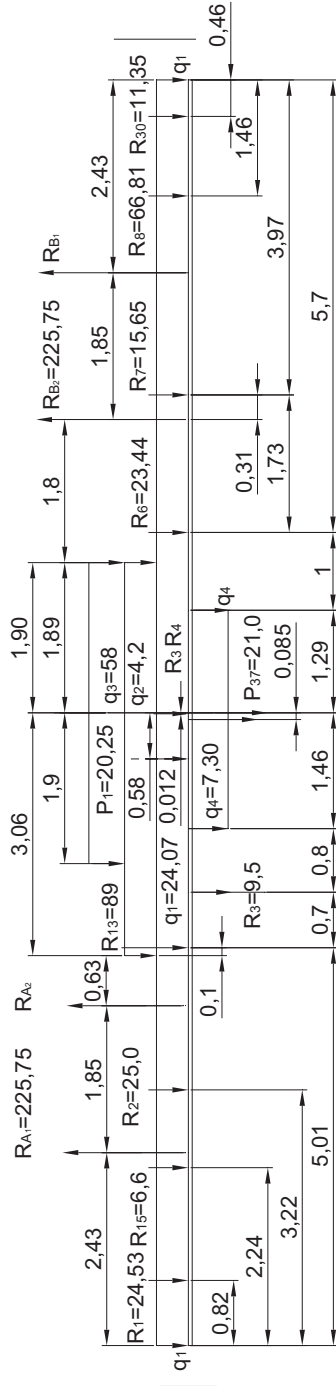
Максимальные растягивающие напряжения в середине рамы:

$$G_c = \frac{M_c}{M_H}.$$

Максимальные сжимающие напряжения в сечении над 1-й (слева) шаровой опорой [3]:

$$G_{д4} = \frac{M_c}{W}.$$

а) Расчетная схема рамы и приведенных нагрузок от собственного веса



б) Эпюра изгибающих моментов $M_{св}$

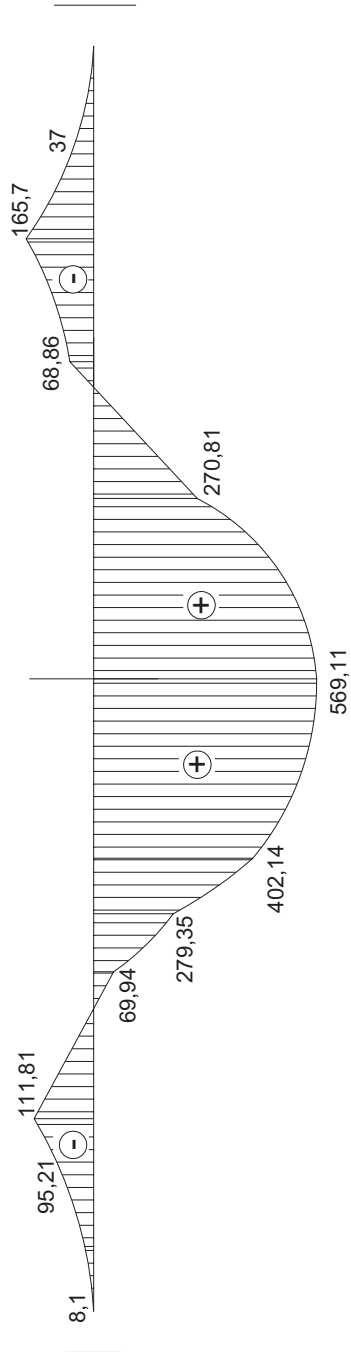


Рис. 2. Расчетная схема рамы

Заключение

Рассмотренная расчетная схема рамы тепловоза типа *UZTE16M* позволяет достаточно полно исследовать их эпюры изгибающих моментов, дать оценку возможным изменениям при их модернизации, определить эффективные способы усиления при ремонте. В результате сравнения данных расчетная схема рамы и приведенных нагрузок от собственного веса с требованиями [3] можно сделать вывод о том, что расчетная схема была выбрана правильно. На следующем этапе производится статический и динамический расчет рамы, по результатам которого можно судить о долговечности конструкции рамы тепловоза.

Библиографический список

1. **Разработка** технологий освидетельствования и восстановления рам тепловоза серии ТЭ10М для продления срока их службы : отчет по научно-исследовательской работе. – Ташкент : ТашИИТ, 2007.
2. **Теория** и конструкция локомотивов / В. А. Симонов ; под ред. Г. С. Михальченко. – Москва : Маршрут, 2006. – 584 с.
3. **Нормы** для расчета и оценка прочности несущих элементов динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм. – Москва : ВНИИЖТ, 1998. – 145 с.
4. **Оценка** остаточного ресурса рам тележек тепловозов : дис. ... канд. техн. наук / Н. С. Зайнидинов. – Санкт-Петербург, 2010. – 169 с.

УДК 656:625.45

Л. А. Лосин

ЗАО «Петербургский НИПИГрад»

Н. В. Левадная, В. А. Черняева

Петербургский государственный университет путей сообщения

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИОРИТЕТОВ РАЗВИТИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА В ГОРОДАХ

Предлагается новый подход к определению приоритетов развития общественного пассажирского транспорта в городах. На основе анализа современной транспортной ситуации определяются показатели, влияющие на структуру транспортной системы города.

городской пассажирский транспорт, улично-дорожная сеть, транспортная инфраструктура, транспортное планирование, математическое моделирование, распределение перевозок, транспортная схема, пассажиропоток, работа транспорта, досетевое моделирование, матрицы корреспонденций, геометрия транспортной сети.

Введение

Транспортную ситуацию во многих крупных городах России можно охарактеризовать как критическую. С проблемами перегрузки улично-дорожной сети ежедневно сталкива-

ются тысячи жителей городов, а мероприятия по развитию сети и совершенствованию организации дорожного движения не успевают за возрастающим спросом на передвижения. Постепенно общество и власти приходят к необходимости первоочередного вни-