

УДК 625.142.45:62-752.2

А.В. ЯКОВЛЕВ, В.А. ГУРСКИЙ, В.Г. ТРУНЕВ (Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕМПФЕРНОГО МАТА USM 2020 В КОНСТРУКЦИИ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТОННЕЛЯ

В статье приводятся результаты исследований влияния демпферных матов на величину затухания виброскоростей в различных интервалах частот с учетом сезонных температур внутри тоннельной атмосферы.

Эксплуатация железнодорожных тоннелей с верхним строением пути на жестком бетонном основании показывает, что уже в первые годы, вследствие динамического воздействия проходящих поездов в конструкции пути, нижнем строении пути и водоотводных лотках возникают опасные дефекты. При натурных обследованиях тоннелей с такой конструкцией пути обнаружены выплески воды по холодному шву между бетоном основания пути и боковой поверхностью внутренней стенки водоотводного лотка.

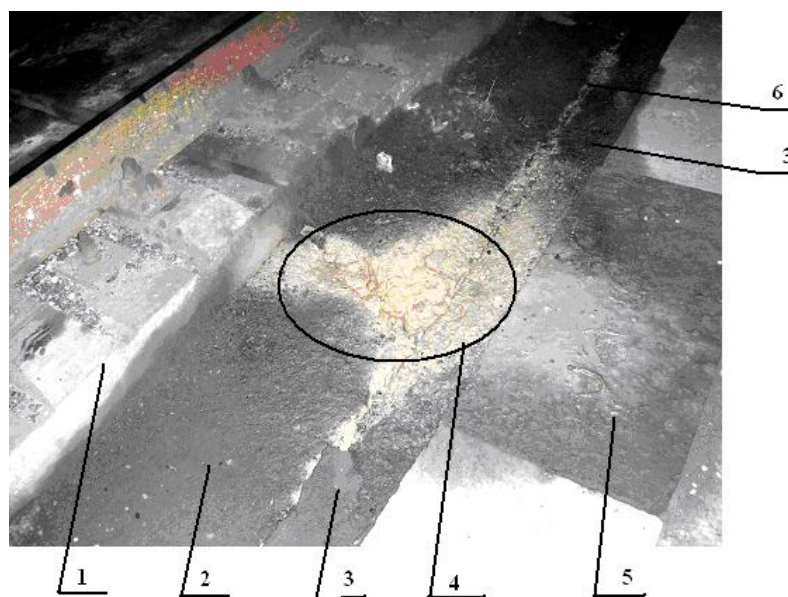


Рис. 1. Выплески воды при динамическом воздействии поездов:

- 1 — железобетонная рама типа МГР; 2 — железобетонное основание пути;
3 — керамзитобетонная стенка водоотводного лотка; 4 — зона активного разрушения бетона с выплеском воды на поверхности конструкций; 5 — крышка водоотводного лотка;
6 — трещина между стенкой лотка и основанием пути

Предполагается, что образование продольных трещин в тоннельной обделке может быть обусловлено производственными дефектами и вибрацией, возникающей от проходящих поездов. В целях предотвращения указанных дефектов в проекте строительства одного из тоннелей была разработана конструкция верхнего строения пути с демпферным матом USM 2020. Конструктивная схема верхнего строения пути представлена на рис. 2.

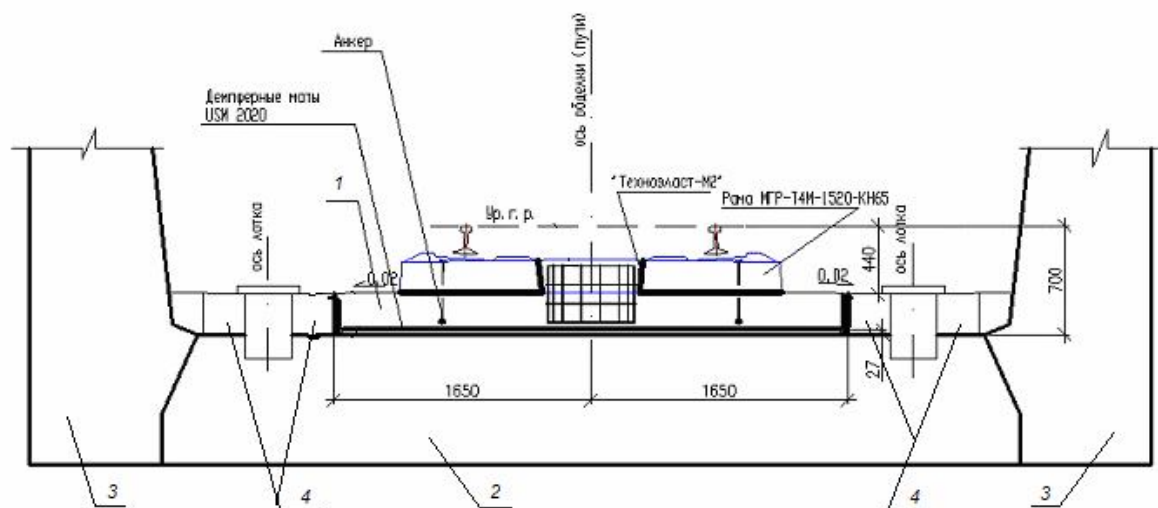


Рис. 2. Схема верхнего строения пути:

1 — путьевой бетон; 2 — обратный свод; 3 — тоннельная обделка; 4 — керамзитобетонные стены ограждения водоотводных лотков

По имеющимся данным натурных и теоретических исследований максимальные амплитуды колебаний элементов верхнего строения пути в тоннелях от проходящих поездов наблюдаются в диапазоне частот от 30 до 80 Гц.

Проведенными расчетами установлено, что демпферные маты, на которые уложен путь на малогабаритных рамах МГР-Т4М-1520-КН65 и монолитном бетонном основании, обеспечивают затухание виброскоростей до 50 %. В различных интервалах частот эффективность мата различна, что и требуется установить в натурных условиях эксплуатации пути, в том числе с учетом сезонных температур внутритоннельной атмосферы.

Для регистрации колебаний конструкций в двух сечениях тоннеля перед укладкой мат USM 2020 под каждую рельсовую нитку железнодорожного пути в обратном своде установлены сейсмоприемники. На поверхности пути и конструкций тоннеля сейсмоприемники устанавливали с помощью гипса непосредственно перед выполнением измерений. Схема размещения сейсмоприемников и их вид на конструкциях тоннеля приведены на рис. 3–5.

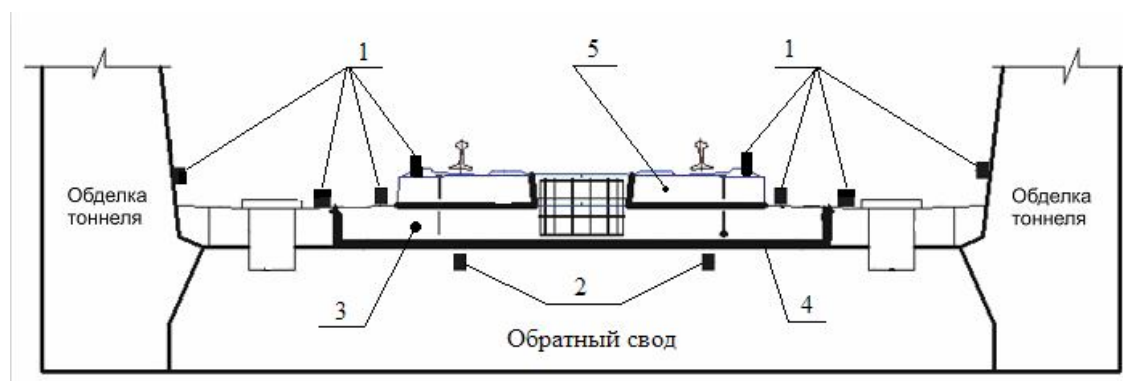


Рис. 3. Схема расположения сейсмоприемников в исследуемом сечении тоннеля:

1 — сейсмоприемники на поверхности конструкций тоннеля и пути; 2 — сейсмоприемники в обратном своде под демпферным матом; 3 — железобетонное основание пути; 4 — демпферный мат USM 2020; 5 — путьевая рама МГР



Рис. 4. Установка сейсмоприемников на раме, путевом бетоне и стенке водоотводного лотка

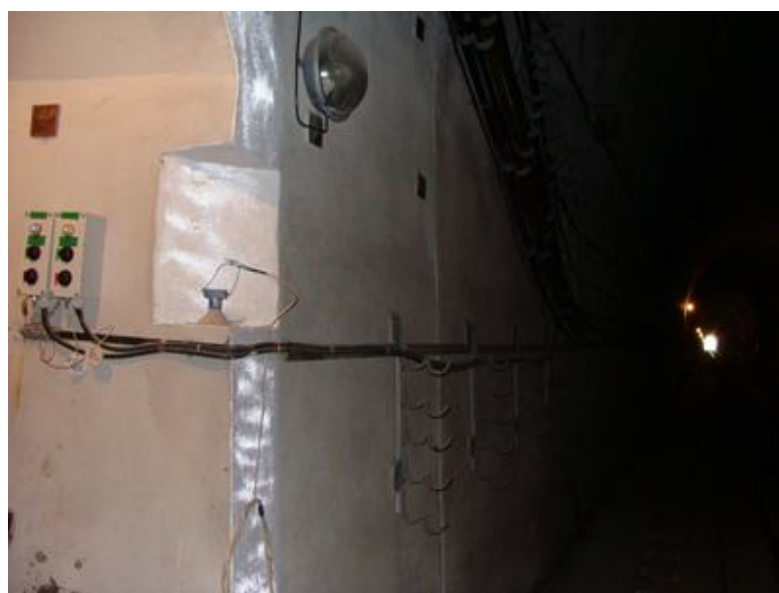


Рис. 5. Установка сейсмоприемника на обделку тоннеля

В качестве сейсмоприемников использованы геофоны GS-20DX Super (вертикальные и горизонтальные). Основные технические характеристики геофона GS-20DX Super приведены в таблице.

Основные технические характеристики геофона GS-20DX Super

Характеристика	Ед. изм.	Кол-во
1. Собственная частота	Гц	$10 \pm 2,5$
2. Верхний предел частоты пропускания	Гц	250
3. Сопротивление катушки	Ом	$395 \pm 2,5\%$
4. Гармонические искажения (при частоте 12 Гц)	—	$< 0,1 \%$
5. Степень затухания в открытой цепи		0,30
6. Чувствительность	В/м/с	27,6
7. Рабочий диапазон температур	°C	$-45 \dots +80$
8. Масса	грамм	87,6

Для регистрации колебаний к регистратору были подсоединены двенадцать сейсмоприемников. Запись велась на открытом канале, усилители, делители, фильтры и другие промежуточные элементы не использовались.

После тестовых измерений и оценки величины вибрации в вертикальной и горизонтальных плоскостях в последующих опытах сейсмоприемники горизонтальной ориентации не устанавливали. Амплитуды вибраций этой ориентации оказались незначительными и не представляющими интереса для дальнейших наблюдений.

Результаты измерения амплитудно-временных и амплитудно-частотных характеристик колебаний тоннельных конструкций и пути

В связи с недавним открытием тоннеля во время проведения эксперимента прохождение поездов по тоннелю было ограничено до скорости 25 км/ч, поэтому получение амплитудно-частотных характеристик вибрации в расширенном диапазоне скоростей поездов не представлялось возможным.

Ниже приведены результаты расшифровки записи амплитудно-частотных характеристик сигнала, зарегистрированных при проходе пассажирского поезда.

Максимальные колебания наблюдаются при подходе головы поезда к сечению, где установлены датчики. При прохождении вагонов состава амплитуда колебания уменьшается и имеет постоянный характер.

Как видно по сейсмограмме на рис. 6 максимальные амплитуды при прохождении поезда наблюдаются на верхнем строении пути. Примерно одинаковые амплитуды вибраций наблюдаются на вертикальных сейсмоприемниках, расположенных под демпферным матом и на обделке тоннеля. Горизонтальные колебания хорошо выражены только на ВСП, а на лотках и обделке тоннеля практически отсутствуют. По графикам видно, что демпферный мат гасит вибрационное воздействие подвижного состава на тоннельную обделку и обратный свод тоннеля.

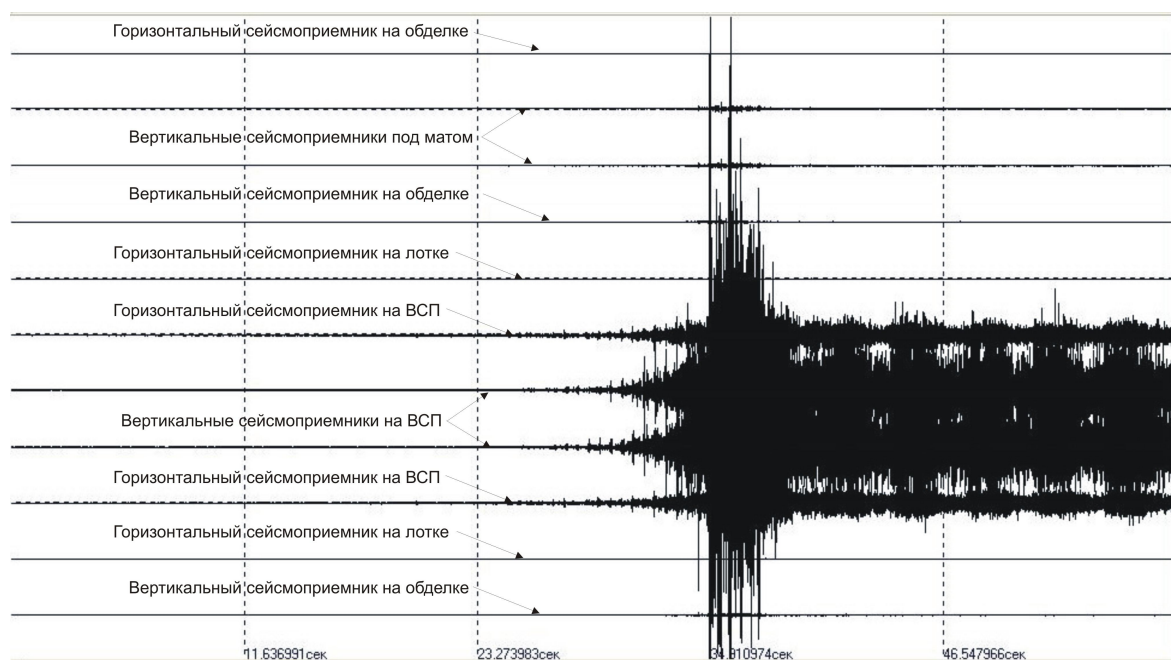


Рис. 6. Общий вид сейсмограмм при прохождении поезда через сечение тоннеля

Для оценки эффективности демпферных мат детально проанализированы сейсмограммы вибрации конструкции верхнего строения пути в сравнении с уровнем вибрации обратного свода, стенки водоотводного лотка и обделки тоннеля (см. рис. 3–5), где были установлены сейсмодатчики.

При прохождении головы состава через сечение максимальная амплитуда вертикальных колебаний на ВСП составила 482,2 мВ (рис. 7), а под демпферным матом она составила 6,45 мВ (рис. 8).

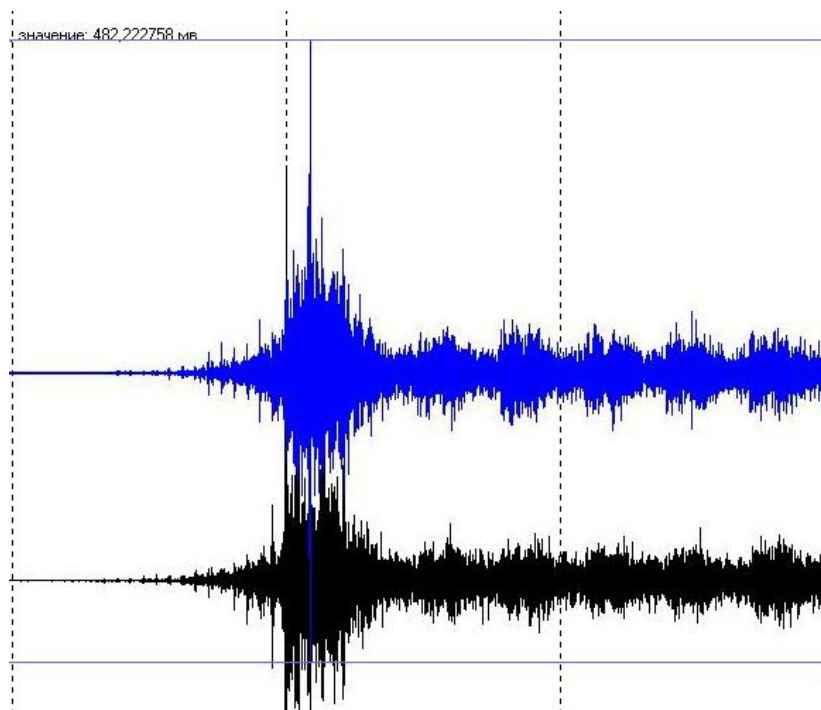


Рис. 7. Максимальная амплитуда вертикальных колебаний на ВСП при прохождении головы состава через сечение

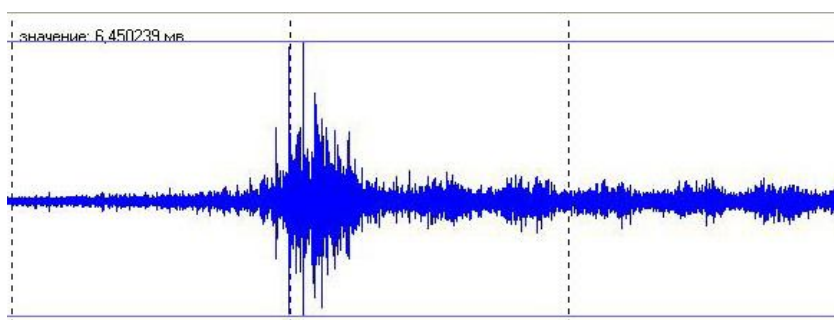


Рис. 8. Максимальная амплитуда вертикальных колебаний под демпферным матом при прохождении головы состава через сечение

Максимальная амплитуда вертикальных колебаний на ВСП при прохождении вагонов состава составила 71,98 мВ (рис. 9), а под демпферным матом соответственно составила 1,47 мВ (рис. 10).

На обделке тоннеля максимальная амплитуда вертикальных колебаний при подходе головы состава составила 1,97 мВ (рис. 11), а при прохождении вагонов состава через сечение она составила 0,27 мВ (рис. 12).

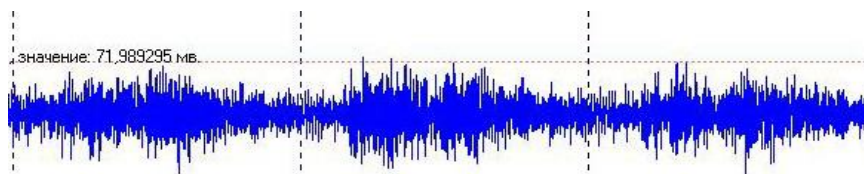


Рис. 9. Максимальная амплитуда вертикальных колебаний на ВСП при прохождении вагонов состава через сечение

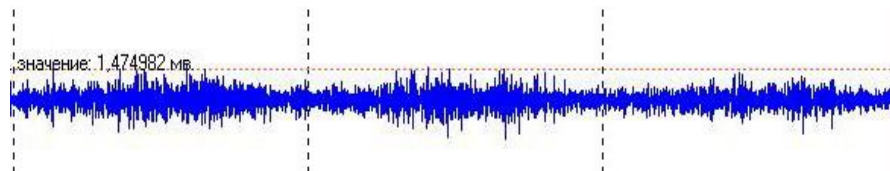


Рис. 10. Максимальная амплитуда вертикальных колебаний под демпферным матом при прохождении вагонов состава через сечение

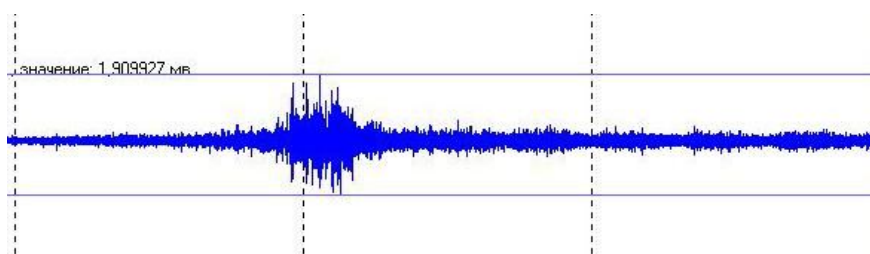


Рис. 11. Максимальная амплитуда вертикальных колебаний на обделке тоннеля при прохождении головы состава через сечение

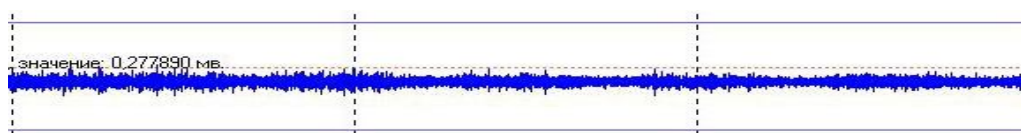


Рис. 12. Максимальная амплитуда вертикальных колебаний на обделке тоннеля при прохождении вагонов состава через сечение

Как видно из сейсмограмм наличие демпферного мата USM 2020 дает снижение максимальных амплитуд вибраций в 74,76 раза с 482,2 мВ на ВСП до 6,45 мВ под демпферным матом при проходе через сечение головы состава. При этом на обделке тоннеля максимальные амплитуды вибрации составляют 1,97 мВ, что в 244,8 раза меньше чем на ВСП.

В процессе распространения вибрационных волн от обратного свода до обделки на высоте 1м от уровня головки рельса максимальные амплитуды снижаются в 3.3 раза с 6,45 мВ под демпферным матом до 1,97 мВ.

Значительно меньшее воздействие на верхнее строение пути оказывают вагоны проходящего поезда. Максимальные амплитуды вибрации на ВСП составляют 71,98 мВ, однако демпферные маты обеспечивают их снижение в обратном своде до 1,47 мВ (в 48,9 раз), а на обделке тоннеля до 0,27 мВ, т.е. в 266,6 раз. В этих условиях максимальные амплитуды колебаний на обделке (0,27 мВ) в 5,4 раза меньше чем в обратном своде под демпферным матом (1,47 мВ). Гистограммы разницы амплитуд колебаний (в разы) приведены на рис. 13.

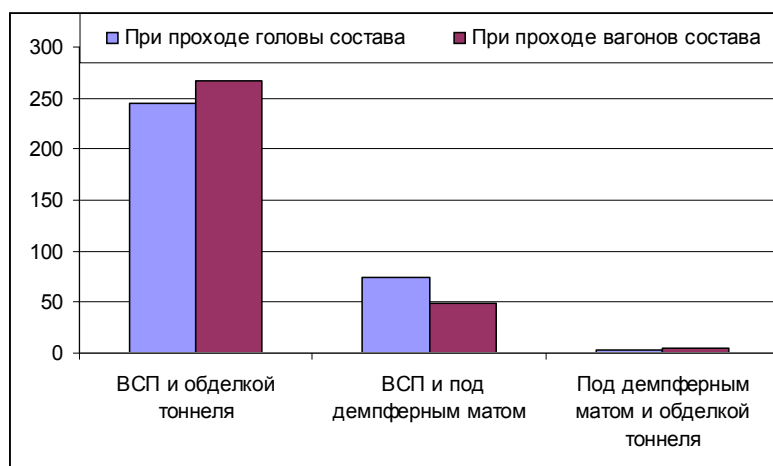


Рис. 13. Гистограмма разницы максимальных амплитуд колебаний в сечении

По результатам измерений рассчитаны виброскорости элементов исследуемых конструкций в точках установки сейсмоприемников. Значения виброскоростей при прохождении головы состава и вагонов поезда отображены на гистограммах рис. 14.

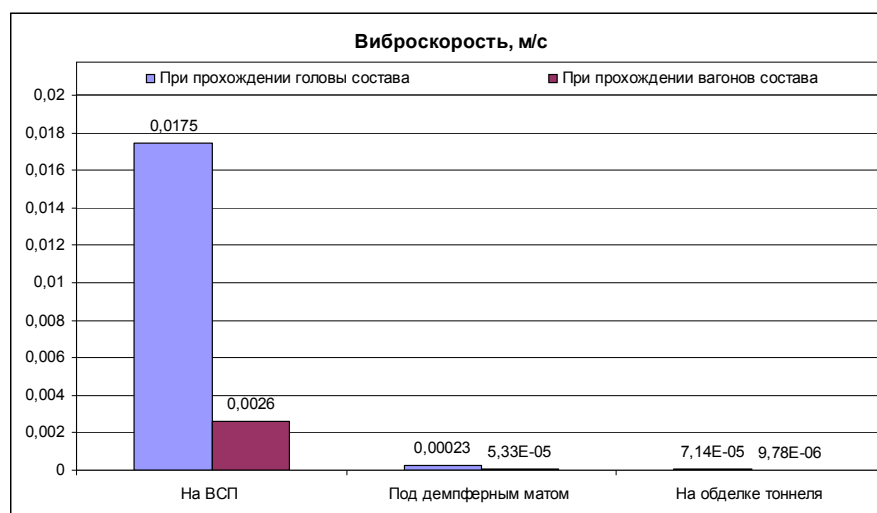


Рис. 14. Гистограммы виброскоростей в исследуемом сечении тоннеля

Дополнительные измерения вибраций в тоннеле проводились 4–5 февраля 2009 г. при температуре внутритоннельного воздуха минус 25–30 °С. В процессе этих измерений оценивали уровни вибрации в плоскости поперечного сечения тоннеля по вертикали и горизонтали. Скорость проходящего поезда, как и в предыдущих испытаниях составляла 25 км/ч.

Измерениями установлено, что при прохождении головы состава через сечение максимальная амплитуда вертикальных колебаний на ВСП составила 431 мВ при частоте колебаний 90 Гц (рис. 15), а под демпферным матом ее величина при частоте 74 Гц составила 7,9 мВ (рис. 16).

В это же время максимальная амплитуда вертикальных колебаний на стенке лотка тоннеля составила 4,43 мВ при частоте 67 Гц (рис. 17, а на обделке — 1,97 мВ при частоте колебаний 66 Гц (рис. 18).

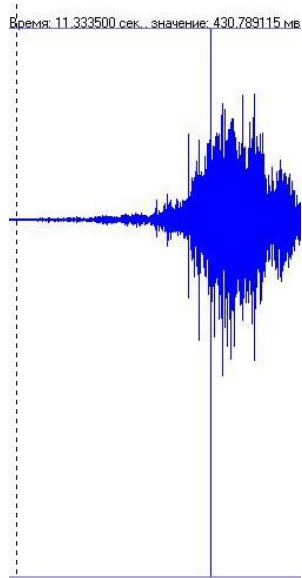


Рис. 15. Максимальная амплитуда вертикальных колебаний на ВСП

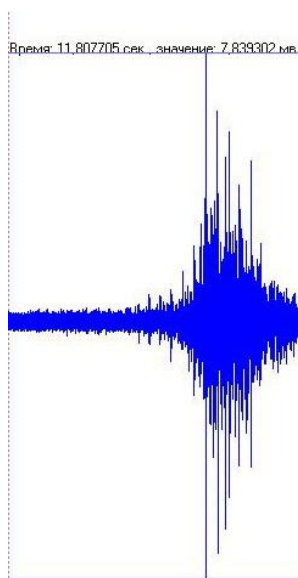


Рис. 16. Максимальная амплитуда вертикальных колебаний под демпферным матом

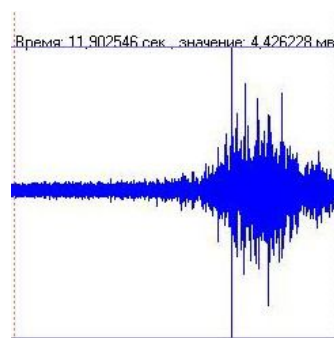


Рис. 17. Максимальная амплитуда вертикальных колебаний на стенке лотка

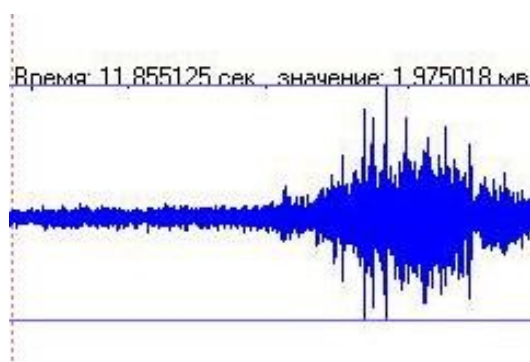


Рис. 18. Максимальная амплитуда вертикальных колебаний на обделке тоннеля

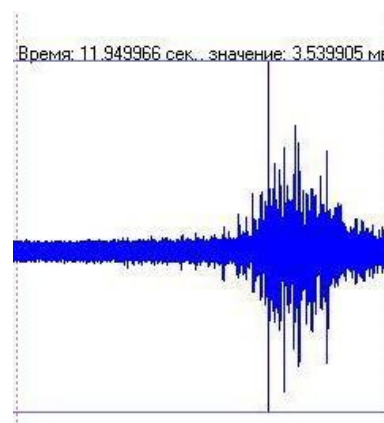


Рис. 19. Максимальная амплитуда горизонтальных колебаний на ВСП поперек пути

На ВСП максимальная амплитуда горизонтальных колебаний поперек пути при прохождении головы состава составила 3,54 мВ при частоте сигнала 70 Гц (рис. 19), а на обделке тоннеля ее значение составило 0,33 мВ, что представляет собой очень малую величину, соизмеримую с точностью отображения регистрирующего устройства (рис. 20).

Анализ результатов выполненных измерений показал на значительное снижение максимальных величин вертикальных амплитуд вибрации под демпферным матом в 55 раз и на обделке тоннеля — 217,7 раза по сравнению с амплитудами на ВСП. Измерения, выполненные в сентябре 2008 г. при положительных температурах, показали лучшую эффектив-

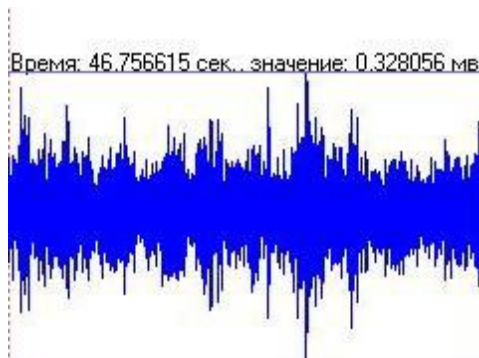


Рис. 20. Максимальная амплитуда горизонтальных колебаний на обделке

ность демпферных мат: снижение максимальных амплитуд под демпферным матом в 74,76 раза и на обделке тоннеля — 244,8 раза. Приведенные сравнительные данные могут быть объяснены некоторым повышением жесткости демпферных мат в условиях низких отрицательных температур, однако на обделке максимальные амплитуды вибраций остаются стабильно малыми.

Измерения вибраций в горизонтальной плоскости поперек оси тоннеля показали, что величина максимальных амплитуд на ВСП составляет 3,54 мВ, а на обделке 0,32 мВ, что представляет собой очень малую величину, не имеющую практического значения.

По полученным данным рассчитаны виброскорости в местах установки сейсмоприемников (рис. 21). Сравнение значений виброскоростей, полученных по данным измерений в сентябре 2008 г. (см. рис. 14), и в феврале 2009 г. дает основание считать их практически одинаковыми. Так под демпферным матом соответственно 0,00023 и 0,00029 м/с, на обделке $7,14 \cdot 10^{-5}$ и $7,17 \cdot 10^{-5}$ м/с. Виброскорости поперек оси тоннеля на обделке стремятся к нулю, а на ВСП ничтожно малы.



Рис. 21. Гистограммы виброскоростей в исследуемом сечении тоннеля

В ходе данных работ было выявлено, что демпферный мат USM 2020 эффективно гасит вибрационное воздействие подвижного состава на тоннельную обделку и обратный свод тоннеля.

Установлено, что при прохождении состава через сечение, где установлены датчики, максимальная амплитуда под демпферным матом меньше при положительных температурах в 75 раз, а при низких отрицательных температурах в 55 раз чем максимальная амплитуда на ВСП. В этих же условиях максимальная амплитуда на обделке тоннеля соответственно в 245 и 218 раз меньше чем на ВСП.

Анализ полученных виброскоростей показывает, что демпферный мат так же эффективно их гасит. Так при прохождении подвижного состава через исследуемое сечение наблюдается понижение виброскоростей от ВСП до жесткого основания пути под матами соответственно в 76 и 54 раза.