

# ТЕХНИКА ТРАНСПОРТА

УДК 625.12.033.38

Корнилов С.Н., Абдукамилов Ш.Ш.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АМПЛИТУД КОЛЕБАНИЙ В ТЕЛЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ИЗ БАРХАННЫХ ПЕСКОВ И ЗА ЕГО ПРЕДЕЛАМИ

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы распространения колебаний в теле железнодорожного земляного полотна из барханных песков и за его пределами, возникающих при движении поездов. Приведены закономерности изменения амплитуды колебаний в зависимости от скорости поездов, глубины расположения и расстояния рассматриваемой точки от оси пути. Дана формула для аналитического расчёта величины амплитуды колебаний в любой точке поперечного сечения земляного полотна из барханных песков.

Исследование выполнено при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (РФФИ), грант №14-38-50720.

**Ключевые слова:** земляное полотно, вибродинамическая нагрузка, амплитуда колебаний, затухание колебаний, барханные пески.

При проектировании и строительстве насыпей на барханных песках требуется решать задачи, связанные с их недостаточной несущей способностью, возможностью больших осадок, длительно протекающих во времени. Анализ результатов многочисленных исследований [1-7] убедительно показывает, что при движении поездов, в результате взаимодействия пути и подвижного состава, на грунты земляного полотна действуют вибродинамические нагрузки, которые снижают его несущую способность. Однако для насыпей, отсыпанных барханными песками, в литературных источниках отсутствуют количественные данные о величине вибродинамического воздействия, передающегося основной площадке земляного полотна и его основанию, о способности этих грунтов к распределению колебаний, о чувствительности к вибродинамическим нагрузкам и воздействиям. Следовательно, необходимо выявить основные закономерности распространения колебаний в теле земляного полотна, отсыпанного барханными песками, под воздействием вибродинамических нагрузок.

Исследования выполнялись на 3904 ПК на участке пути Учкудук – Мискен, оснащённых рельсами Р-65 на железобетонных шпалах со скреплениями типа КБ при щебёночном балластном слое толщиной 30 см. Земляное полотно было представлено насыпью высотой 1 м, сложенной барханными песками.

Так как колебания грунтов железнодорожного земляного полотна имеют сложный пространственный характер, существенно отличающийся от гармонического, в проведённых экспериментах регистрировались все три составляющие пространственных колебаний: вертикальная и две горизонтальные – поперёк и вдоль пути. Принципиальная схема регистрации колебаний барханных песков в теле земляного полотна и за его пределами представлена на рис.1. Резуль-

тирующая амплитуда колебаний  $A_{рез}$  определялась расчётом по закону векторной суммы по формуле

$$A_{рез} = \sqrt{A_z^2 + A_y^2 + A_x^2}, \quad (1)$$

где  $A_z$  – амплитуда колебаний в вертикальной плоскости, мкм;  $A_y$  – амплитуда колебаний в горизонтальной плоскости поперёк пути, мкм;  $A_x$  – амплитуда колебаний в горизонтальной плоскости вдоль пути, мкм.

Обработка результатов измерений осуществлялась методом сумм при доверительной вероятности 0.995. Максимальные вероятные значения амплитуд определялись следующим выражением

$$A_{max}^{вер} = A_{cp} + 2.5 \cdot S, \quad (2)$$

где  $S$  – среднеквадратичное отклонение.

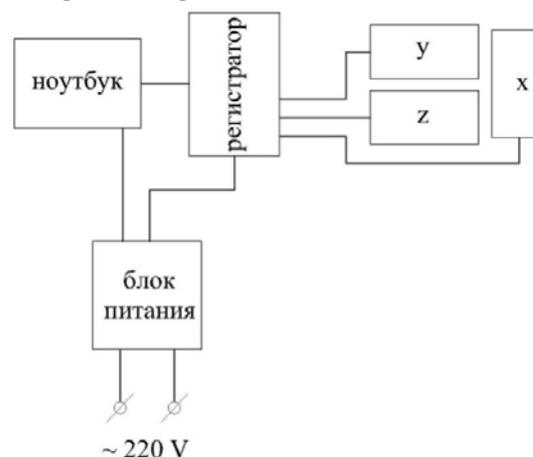
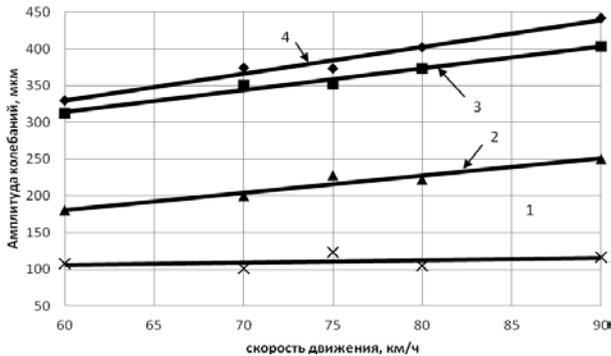


Рис. 1. Принципиальная схема регистрации колебаний грунтов земляного полотна

Эксперименты по исследованию колебаний проводились только для пассажирских поездов, в диапазоне изменения скоростей движения от 60 до 90 км/ч.

Результаты исследования амплитуд колебаний

барханных песков на основной площадке земляного полотна в зависимости от скорости движения пассажирских поездов представлены на **рис. 2**.



1 – амплитуда колебаний в горизонтальном направлении вдоль пути; 2 – то же в горизонтальном направлении поперёк пути; 3 – то же в вертикальном направлении; 4 – результирующая максимальная вероятной амплитуды колебаний

**Рис. 2. Зависимость амплитуды колебаний барханных песков от скорости движения пассажирских поездов**

Следует отметить, что важнейшей особенностью полученных результатов является резкое увеличение значений амплитуд колебаний земляного полотна, отсыпанного барханными песками, по сравнению с результатами, полученными другими исследованиями в насыпях, сложенных мелкими песками [4]. Очевидно, что такое увеличение подвижности является следствием высокой деформативности барханных песков от динамических воздействий.

Результаты анализа экспериментальных данных указывают на изменение соотношения между амплитудами различных составляющих колебаний с возрастанием скорости движения пассажирских поездов. Расчёты показывают, что во всем диапазоне изменения скоростей поездов, влияние амплитуд горизонтальной составляющей вдоль оси пути на величину максимальной результирующей амплитуды колебаний определяется величиной, не превышающей 4%. Следовательно, при определении результирующей амплитуды колебаний барханных песков, возникающей от прохода пассажирских поездов, для практических расчетов можно не учитывать горизонтальную

составляющую амплитуд колебаний вдоль пути.

Анализ и обработка результатов натурных исследований характеристик колебательного процесса позволили получить уравнение, связывающее амплитуды колебаний различных составляющих:

$$A_{\text{гп}} = A_{\text{вер}} - 138,48 - 0,22(v - 65), \quad (3)$$

при  $65 \leq v \leq 90$ ,

где  $A_{\text{гп}}$  – амплитуда горизонтальных колебаний в направлении поперек пути, мкм;  $A_{\text{вер}}$  – амплитуда вертикальных колебаний, мкм;  $v$  – скорость, для которой определяется амплитуда колебаний, км/ч.

Выявление зависимости распространения колебаний в вертикальной и горизонтальной плоскостях, определяющей глубину и расстояние, на которых происходит интенсивное затухание колебаний, является важнейшей частью исследований любого колебательного процесса. Подученные зависимости позволяют в дальнейшем решить задачу о несущей способности земляного полотна, отсыпанного барханными песками.

Выявление затухания амплитуд поверхностных волн, а также по глубине земляного полотна, осуществлялось по данным записей колебаний сейсмоприёмниками СМ-3, установленными согласно схеме **рис. 3**.

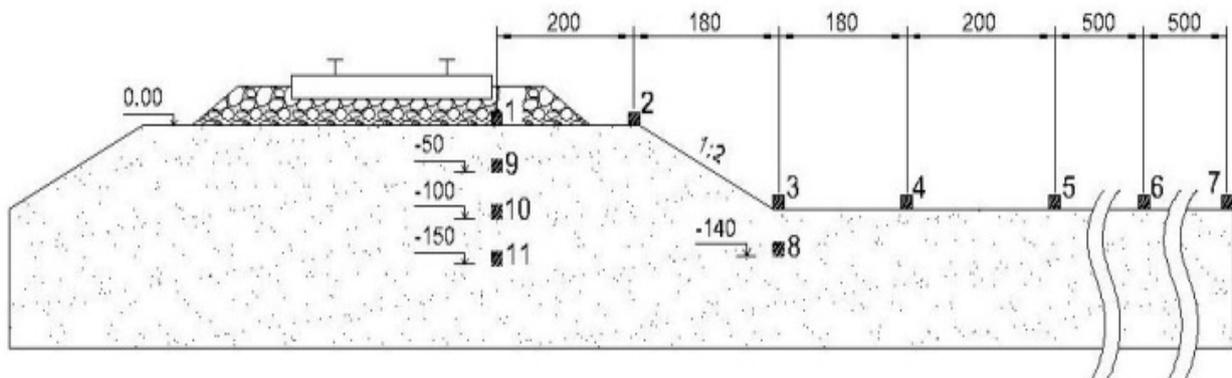
Результаты исследований представлены на **рис. 4**, где показан характер изменения показателя  $\delta_1$  по глубине насыпи, которое определяется как отношение амплитуд, зарегистрированных на определённой глубине от верха основной площадки  $A_z$ , к амплитудам, зарегистрированным на основной площадке  $A_0$  по формуле

$$\delta_1 = \frac{A_z}{A_0}. \quad (4)$$

Зависимость, представленная **рис. 4**, получена в результате экспериментов, проведённых при прохождении пассажирских поездов с локомотивом 2ТЭ10, следовавшими со скоростями 60-90 км/ч.

Полученные кривые хорошо аппроксимируют экспоненциальную функцию, а имеющиеся отклонения точек от некоторого среднего значения лежат в пределах допустимого для динамических процессов.

Анализируя полученную зависимость, можно



**Рис. 3. Схема расположения сейсмоприёмников в теле земляного полотна и за его пределами**

сделать следующий вывод. Величина  $\delta I$  существенно больше в верхней части земляного полотна, т.е. в зоне примыкания к основной площадке, чем в нижележащих слоях. Ориентировочно на первом полуметре коэффициент затухания равен 0.66, на втором 0.46 и на третьем 0.38. Из этого следует, что верхние слои земляного полотна в наибольшей степени рассеивают энергию колебаний, поглощая её и переводя в тепловую энергию, в результате чего на нижние слои грунта приходится существенно меньшая часть механических колебаний.

Поскольку  $\delta I$  (в данном случае уже характеризующая интенсивность затухания колебаний) непосредственно из графика не определяется, осреднённая кривая перестроена в полулогарифмических координатах и представлена на рис. 4. В результате получилась линейная зависимость, выражающаяся уравнением прямой с постоянным угловым коэффициентом. Этот коэффициент представляет собой натуральный логарифм  $\delta I$ , характеризующий затухание амплитуд колебаний на метровой глубине. В частности, в нашем случае он равен (-0.6976), тогда как сам коэффициент  $\delta I=0.4988$ .

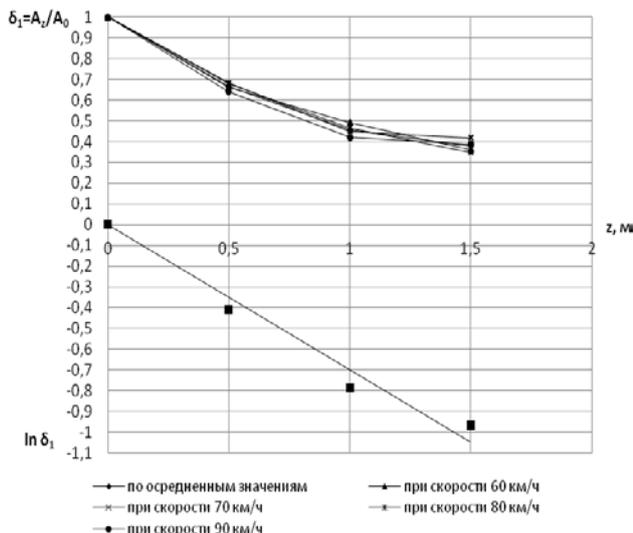


Рис. 4. Затухание амплитуд колебаний по глубине земляного полотна, отсыпанного барханными песками

Результаты исследований по выявлению затухания амплитуд в направлении, перпендикулярном оси пути земляного полотна, показаны на рис 5. На этом рисунке представлено затухание в поперечном направлении осреднённых значений максимальных вероятных амплитуд колебаний, полученные при проходе пассажирских поездов через рабочий поперечник на различных скоростях движения.

Оценка изменения амплитуд колебаний в зависимости от расстояния до источника динамического возмущения осуществлялась по величине показателя отношения амплитуд  $\delta_2$ .

$$\delta_2 = \frac{A_y}{A_0} \tag{5}$$

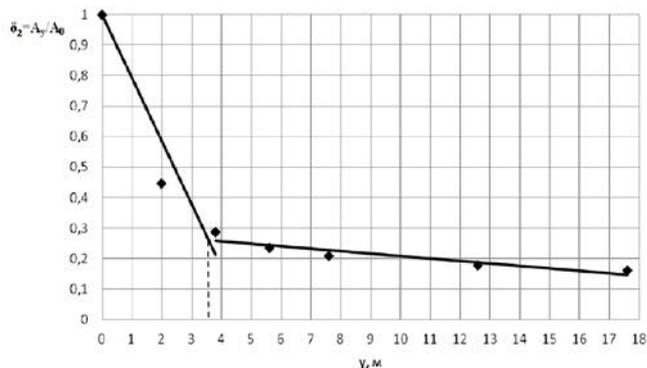


Рис. 5. Зависимость затухания амплитуд колебаний в перпендикулярном направлении от оси пути в теле земляного полотна, отсыпанного барханными песками, и за его пределами

Характер полученной зависимости соответствует ярко выраженной экспоненте с наличием двух зон по интенсивности затухания амплитуд, а также выявляет влияние заложения откоса насыпи на увеличение амплитуд колебаний. Первая зона находится в диапазоне изменения расстояния от 0 до 3.6 м и соответствует интенсивному затуханию колебаний. В пределах этой зоны проявляется пульсация напряжений и их полное затухание в теле земляного полотна. Вызванные пульсацией смещения частиц барханных песков в последующем распространяются по телу полотна и за его пределами.

Вторая зона затухания колебаний находится в пределах от 3.6 м до расстояний, при которых амплитуды близки к нулю. В этой зоне можно наблюдать крайне слабое затухание амплитуд колебаний, по зависимости, близкой к линейной. Таким образом, из графика можно определить коэффициенты затухания для первой и второй зоны, которые равны (-0.207) и (-0.008) соответственно.

Исследование распространения колебаний в теле земляного полотна и за его пределами выявило, что их затухание происходит одновременно в вертикальной и горизонтальной плоскостях по экспоненциальной зависимости. Поэтому амплитуды результирующих колебаний в любой точке земляного полотна определяются следующим выражением:

$$A_{zy} = A_0 e^{z \ln \delta_1 - \delta_2^* \varphi(y) - \delta_2'' (y-1.35) + \delta_3 h_i} \tag{6}$$

где

$$\delta_3 = \frac{\lg \delta_1}{1.5 \cdot \text{ctg} \alpha_1}, \tag{7}$$

$$h_i = \begin{cases} 0, & \text{при } y \leq 0.5b_{nn} \\ (y - 0.5b_{nn}) \text{tg} \alpha_1, & \text{при } y > 0.5b_{nn} \end{cases}, \tag{8}$$

$$\varphi(y) = \begin{cases} (y - 1.35), & \text{при } y \leq y_1 \\ (y_1 - 1.35), & \text{при } y > y_1 \end{cases}, \tag{9}$$

где  $A_0$  – максимальная вероятная результирующая ам-

плитуда колебаний барханных песков на основной площадке земляного полотна, мкм;  $z, y$  – координаты рассматриваемой точки по вертикали и горизонтали при расположении центра координат по оси пути на основной площадке, м;  $y_1$  – расстояние от оси пути до границы первой и второй зоны затухания, м ( $y_1=3.6$  м для барханных песков);  $\delta_1$  – коэффициент затухания колебаний в вертикальной плоскости ( $\delta_1=0.497$ );  $\delta_2'$  – то же в горизонтальной плоскости в пределах зоны проявления пульсации напряжений ( $\delta_2'=-0.207$ );  $\delta_2''$  – коэффициент затухания поверхностных волн в горизонтальной плоскости ( $\delta_2''=-0.008$ );  $\delta_3$  – коэффициент затухания колебаний в откосе;  $\alpha_1$  – угол заложения откоса насыпи;  $b_{пл}$  – ширина основной площадки земляного полотна, м.

Сопоставление результатов расчёта амплитуд колебаний по формуле (6) с осреднёнными значениями, полученными в экспериментах при различных скоростях движения пассажирских поездов, показывает их хорошее совпадение и пригодность полученной зависимости для вычисления амплитуд смещений. Наибольшее отклонение составляет 16-17 мкм, что не превышает 9%.

Выполненные исследования позволили получить зависимость затухания колебаний в барханных песках в вертикальном и горизонтальном направлениях, что является основой для оценки величины вибродинамического воздействия в любой точке земляного полотна. Кроме того, выражение (6) определяет возможность выявления аналитической связи между амплитудами колебаний барханных песков и их прочностными характеристиками при воздействии вибродинамической нагрузки.

Экспериментальные исследования колебательно-го процесса земляного полотна, отсыпанного барханными песками, возникающего при движении пассажирских поездов, позволяют сделать следующие основные выводы.

Колебания земляного полотна, отсыпанного барханными песками, вызываются пульсацией напряжений и имеют сложный пространственный характер. Проявления амплитуд и частот значительно отличаются от синусоидальных колебаний.

Амплитуды колебаний возрастают прямо пропорционально увеличению скорости движения поездов.

#### Сведения об авторах

**Корнилов Сергей Николаевич** – д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: +7-3519-29-85-34. E-mail: kornilov\_sn@mail.ru.

**Абдукамилов Шавкат Шухратович** – канд. техн. наук, ассистент, Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта, ТашИИТ, Узбекистан. Тел.: +998-94-653-54-35. E-mail: abdukamilov@mail.ru.

Существующие конструкции верхнего строения пути обуславливают преимущественное колебание грунтов земляного полотна в вертикальной плоскости. Взаимосвязь между вертикальными и горизонтальными составляющими амплитуд колебаний определяется выражением (3).

По результатам экспериментальных исследований выявлены амплитудно-частотные характеристики барханных песков на основной площадке земляного полотна. Данные характеристики можно использовать в расчётах прочности земляного полотна, отсыпанного барханными песками.

Распространение колебаний в теле земляного полотна и за его пределами происходит по экспоненциальной зависимости. Были выявлены и приведены коэффициенты затухания колебаний в вертикальной и горизонтальной плоскостях. При этом распространение колебаний в горизонтальной плоскости рассматривается в двух зонах: в зоне затухания пульсации напряжений (в теле насыпи и грунтовой среде) и в зоне поверхностных волн.

Предложены зависимости расчёта амплитуд колебаний в любой точке земляного полотна для последующих расчётов, связанных с оценкой несущей способности.

#### Список литературы

1. Прокудин И.В. Прочность и деформативность железнодорожного земляного полотна из глинистых грунтов, воспринимающих вибродинамических нагрузки: дис. ... докт. техн. наук / ЛИИЖТ. Л.: ЛИИЖТ, 1982. 455 с.
2. Абдукамилов Ш.Ш. Несущая способность земляного полотна из барханных песков при действии вибродинамической нагрузки // Проблемы механики. 2013. № 2. С. 57-61.
3. Абдукамилов Ш.Ш. Исследование колебательного процесса барханных песков, уложенных в железнодорожное земляное полотно // Известия Транссиба. 2014. № 2(18). С. 75-86.
4. Иванов П.Л. Разжижение и уплотнение несвязных грунтов при динамических воздействиях. Л.: Издание ЛПИ, 1978. 50 с.
5. Прокудин И.В., Козлов И.С. Влияние промежуточных скреплений на колебания грунтов земляного полотна // Путь и путевое хозяйство. 2009. №6. С. 31-33.
6. Корнилов С.Н., Бабенцев Д.Ю., Довженко А.С. Проблемы эксплуатации железнодорожного транспорта ЗАО «ЛутЭК». Горный информ.-аналит. бюл. М.: МГУ, 2003. № 8. С.136-139.
7. Корнилов С.Н., Романюк А.И. Изменение конструкции железнодорожных путей ОАО «ММК» на основании из деревянных шпал с целью увеличения характеристик прочности и продления сроков эксплуатации. / Актуальные проблемы современной науки, техники и образования, 2013. Т.1. С.65-68.

#### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

### THE DISTRIBUTION OF THE AMPLITUDES OSCILLATIONS IN THE BODY OF RAIL SUBGRADE OF DUNE SANDS AND OUTSIDE OF HIM

**Kornilov Sergey Nikolaevich** – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7-3519-29-85-34. E-mail: kornilov\_sn@mail.ru.

**Abdukamilov Shavkat Shurakhovich** – Ph.D. (Eng.), Teaching Assistant, Tashkent Institute of Railway Engineering, Uzbekistan. Phone: + 998-94-653-54-35. E-mail: abdukamilov@mail.ru.

**Abstract.** In the article the questions of oscillations propagation in the body of subgrade from dune sands and beyond are considered, arising during the train movement. The regularities of changing the amplitude oscillations are given depending on train speed, depth, location and distance of the considered point from the axis of the path. The formula has proposed for the analytical calculation of the oscillations amplitude at any point of cross section on subgrade from dune sands.

**Keywords:** subgrade, vibrodynamic load, amplitude oscillations, oscillations damping, dune sands.

#### References

1. Prokudin I.V. Prochnost' i deformativnost' zheleznodorozhnogo zemlyanogo polotna iz glinistyh gruntov, vosprinimayushchih vibrodinamicheskikh nagruzku [Strength and deformability of the railway subgrade of clayey soils, perceiving vibrodynamic load]. Dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni dokt.tekhn.nauk. L.: LIIZHT, 1982. 455 p.
2. Abdukamilov Sh.Sh. Nesushchaya sposobnost' zemlyanogo polotna iz barhannyh peskov pri dejstvii vibrodinamicheskoy nagruzki [The bearing capacity of subgrade from sand dune under the action of dynamic vibration load] // Problemy mekhaniki [The Problems of Mechanics]. 2013, no. 2, pp. 57-61.
3. Abdukamilov Sh.Sh. Issledovanie kolebatelnogo processa barhannyh

peskov, ulozhennyh v zheleznodorozhnoe zemlyanoe polotno [The study of oscillatory process of dune sand, laid in a rail subgrade] // Izvestiya Transsiba [The News of Transsiba]. 2014, no. 2(18), pp. 75-86.

4. Ivanov P.L. Razzhizhenie i uplotnenie nesvyaznyh gruntov pri dinamicheskikh vozdeystviyah [Liquefaction and compaction of non-cohesive soils under dynamic loads]. L.: Izdanie LPI, 1978, 50 p.
5. Prokudin I.V., Kozlov I.S. Vliyanie promezhutochnyh skreplenij na kolebaniya gruntov zemlyanogo polotna [The influence of intermediate fastenings to fluctuations in subgrade soil] // Put' i putevoe hozyajstvo [The path and track facilities]. no.6, 2009, pp. 31-33.
6. Kornilov S.N., Babencev D.YU., Dovzhenok A.S. Problemy ehkspluatatsii zheleznodorozhnogo transporta ZAO «LuTEK» [The exploitation problem of railway transport JSC «LuTEK»]. Gornyj Inform.-Analit. Byul [Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)]. 2003, no. 8, pp.136-139.
7. Kornilov S.N., Romanyuk A.I. Izmenenie konstrukcii zheleznodorozhnyh putej OAO «MMK» na osnovanii iz derevyannyh shpal s cel'yu uvelicheniya harakteristik prochnosti i prodleniya srokov ehkspluatatsii [The changes in the design of railway track of OJSC MMK on the basis of wooden sleepers for extra durability and extended life] / Aktual'nye problemy sovremennoj nauki, tekhniki i obrazovaniya [Actual Problems of Science, Technics and Education]. 2013, vol. 1. pp.65-68.

УДК 656.254

Рахмангулов А.Н., Мирсагдиев О.А.

## ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СВЯЗИ В ПАКЕТНОЙ СЕТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

**Аннотация.** В статье представлено сравнение двух методик оценки качества передачи речи на железнодорожном транспорте, основанных на использовании субъективной оценки MOS и расчёте объективного показателя «R-фактор». Данные показатели рассматриваются на примере пакетной сети связи, организуемой между диспетчером и дежурным по станции. Рассмотрены особенности проявления на железнодорожном транспорте всех составляющих показателя «R-фактор», а также определено влияние качества оперативно-технологической связи на перевозочный процесс.

Исследование выполнено при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (РФФИ), грант № 14-38-50750.

**Ключевые слова:** пакетная сеть, качество передачи речи, E-модель, R-фактор.

#### Введение

На сегодняшний день одной из наиболее важных задач на железнодорожном транспорте является задача совершенствования управления эксплуатационной работой на основе информатизации, а также модернизации систем телекоммуникаций и связи. На железнодорожном транспорте технологическая связь играет важную роль при организации перевозок и повышения надёжности перевозочного процесса.

Средства технологической связи предназначены для обеспечения эксплуатационной деятельности железнодорожного транспорта. Они обеспечивают:

- диспетчерское управление движением поездов, перевозочным процессом и содержанием инфраструктуры железнодорожного транспорта (пути, энергетики, подвижного состава, автоматики и связи и других хозяйств);
- функционирование информационных и информационно-управляющих систем, устройств железнодорожной автоматики и средств, обеспечивающих безопасность движения;
- взаимодействие участников выполнения технологических процессов на железнодорожном транспорте [1].

Основное оперативное руководство технологическим процессом на железнодорожном транспорте возложено на диспетчеров. Диспетчер является руководителем процесса организации перевозок и управляет работой участков и станции. В каждом диспетчерском круге осуществляется оперативное взаимодействие диспетчера с несколькими дежурными по станциям (исполнителями). Анализ объёма передаваемых речевых данных в сетях связи между диспетчерами и исполнителями (рис. 1, 2) показывает, что загрузка каналов связи зависит как от количества выполняемых операций перевозочного процесса, так и от времени суток. Наблюдаемая внутрисуточная неравномерность загруженности каналов связи и периодически возникающие перегрузки каналов в отдельных диспетчерских кругах потенциально могут приводить к ухудшению качества связи в пакетных сетях, что, в свою очередь, оказывает отрицательное влияние на эффективность перевозочного процесса в результате задержек в передаче управляющих команд. В этой связи оценка качества передачи речи между диспетчерами и исполнителями представляет собой актуальную научно-практическую задачу.