

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ

УДК 656.22

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕНИИ-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Нуржанова Гульнара Муратбековна¹,
д.т.н., профессор, email: aigul-kazhikenova@mail.ru
Алибиев Даulet Будешович²,
к.ф.м.н., доцент, email: aigul-kazhikenova@mail.ru
Кажикенова Айгуль Шарапатовна²,
к.т.н., доцент, email: aigul-kazhikenova@mail.ru

¹Казахская академия транспорта и коммуникаций Казахстан, Алматы, ул. Шевченко 97

²Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова, Казахстан, Караганда, ул. Университетская 28

Аннотация. Проводятся расчеты напряженно-деформированного состояния верхнего строения магистрального железнодорожного пути с деревянными и железобетонными шпалами в условиях интенсивного загрязнения, а также рассматривается влияние величин модулей упругости на горизонтальные перемещения балластного слоя. Моделирование основано на методе конечных элементов применительно к решению задачи механики деформируемого твердого тела.

Ключевые слова. Дискретная модель, уравнение равновесия, железобетонная шпала, деревянная шпала, эпюра, напряжение

Для реализации вычислений рассматриваются два типа шпал: модифицированные железобетонные и прямоугольные деревянные. Общий вид сечения представлены на рисунке 1. Шпала лежит на слое щебня, модуль упругости которого $E_0=50 \text{ МПа}$ и

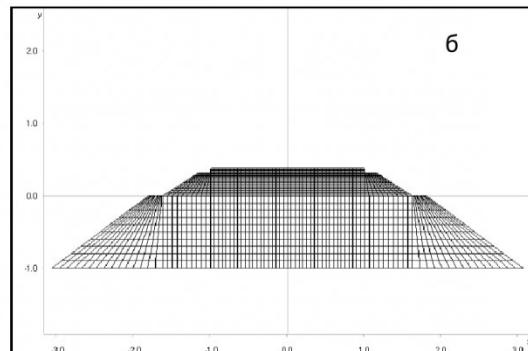
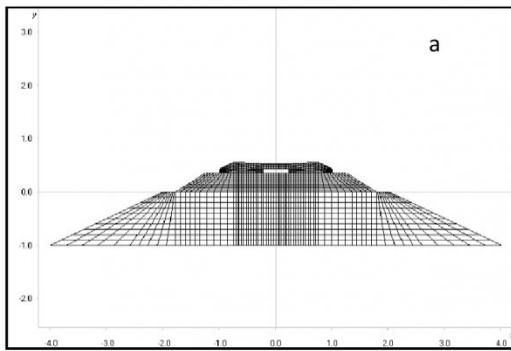
К шпale на расстоянии $\pm 0,8 \text{ м}$ от оси симметрии на площадках длиной $0,15 \text{ м}$, равным ширине подкладки промежуточного скрепления, приложена распределенная нагрузка постоянной интенсивности q , имитирующая воздействие колесной пары через рельс и скрепления. В расчетах принимается, что на рельс воздействует колесо силой $Q = 100 \text{ кН} = 0,1 \text{ МН}$. Распределяя эту нагрузку на площадь подкладки промежуточного скрепления, получаем следующую величину давления

$$q = \frac{0,1\text{M}}{0,15\text{м} \cdot 0,25\text{м}} = 2,67\text{МПа}$$

$\nu = 0,25$. Боковые откосы верхнего строения пути имеют уклон $k = 1:1,5$. Область, занимаемая основанием насыпи, представляет по форме трапецию с уклонами боковых сторон $k = 1:2$.

Следует отметить, что предварительные расчеты по разработанной модели при условии абсолютно жесткого материала основания насыпи показали неравномерный характер распределения напряжений в основании балласта. Эпюры вертикальных напряжений в некоторых горизонтальных сечениях для верхнего строения пути с двумя типами шпал: деревянной (а) и железобетонной (б) представлены на рис. 2.

Анализируя напряжения, отметим концентрацию σ_{yy} на поверхности шпалы в местах приложения нагрузки от колесной пары. Эта концентрация передается и в основание балласта, в меньшей



*Рис. 1. Поперечное сечение железнодорожного пути:
а) железобетонная шпала; б) деревянная шпала*

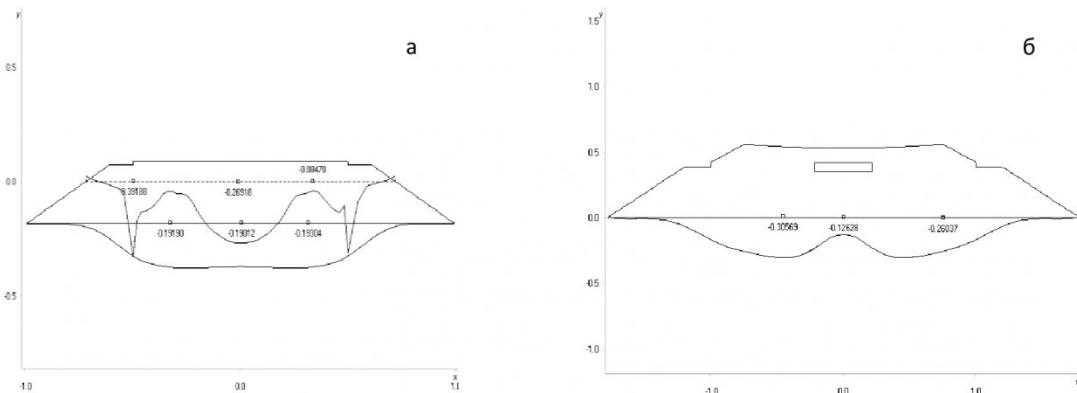


Рис. 2. Эпюры вертикальных напряжений: а) деревянная шпала; б) модифицированная железобетонная шпала

степени для железобетонной шпалы из-за ее большой жесткости и в большей степени для деревянной. В основании верхнего строения пути максимальное сжимающее напряжение $\sigma_{yy} = -0,19$ МПа. Имеются два локальных экстремума σ_{yy} в точке пересечения линии действия силы колесной пары с основанием площадки. Нижняя граница верхнего строения пути контактирует с поверхностью основания насыпи и для более точных расчетов необходимо учесть горизонтальное основание. Поэтому рассматривается задача совместной работы верхнего строения пути и грунта основания насыпи и предполагается, что балласт лежит на деформируемом основании.

В рамках плоской задачи механики деформированного твердого тела рассматривается равновесие представленной системы под действием нагрузок от колесной пары, приложенных на части поверхности шпалы.

В декартовой системе координат Ox_1x_2 для установления напряженно-деформированного состояния точки среды необходимо определить по три компоненты тензора напряжения ($\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}$) и деформаций ($\varepsilon_{11}, \varepsilon_{22}, \varepsilon_{12}$) и две компоненты вектора перемещений (u_1, u_2).

В окрестности рассматриваемой точки с координатами (x_1, x_2) компоненты тензора деформаций являются функциями градиентов смещения. Эта связь устанавливается геометрическими уравнениями деформации сплошной среды, записываемыми в виде дифференциальных соотношений:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{11} &= u_{1,1}, \\ \varepsilon_{22} &= u_{2,2}, \\ \varepsilon_{12} &= \frac{1}{2}(u_{1,2} + u_{2,1}), \\ \varepsilon_{33} &= \varepsilon_{13} = \varepsilon_{23} = 0 \end{aligned} \right\}. \quad (1)$$

Зависимости, устанавливаемые между компонентами тензоров напряжений и деформаций, характеризуют конкретные модели среды.

Рассмотрим упругую грунтовую среду при отсутствии остаточной деформации от внешней нагрузки. Тогда грунтовая среда, как правило, ха-

рактеризуется линейной связью между компонентами тензора напряжений и деформаций, устанавливаемой обобщенным законом Гука.

В случае плоской деформации имеем следующее соотношение:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{11} &= (\lambda + 2\mu)\varepsilon_{11} + \lambda\varepsilon_{22} \\ \sigma_{22} &= \lambda\varepsilon_{11} + (\lambda + 2\mu)\varepsilon_{22} \\ \sigma_{33} &= \lambda\varepsilon_{11} + \lambda\varepsilon_{22} \\ \sigma_{12} &= 2\mu\varepsilon_{12} \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где λ и μ - модули упругости, причем для неоднородного грунтового тела последние являются функциями точек $\lambda = \lambda(x_1, x_2)$, $\mu = \mu(x_1, x_2)$.

Математически решение задачи равновесия сводится к минимизации функционала энергии с заданными ограничениями на перемещения

$$\delta(\Pi - A) = 0. \quad (3)$$

Здесь

$$\delta\Pi = \iint_V (\sigma_{11}\delta\varepsilon_{11} + \sigma_{22}\delta\varepsilon_{22} + \sigma_{12}\delta\varepsilon_{12})dV$$

- вариация внутренней потенциальной энергии деформирования;

$$\delta A = \iint_V (F_1\delta u_1 + F_2\delta u_2)dV + \iint_S (P_1\delta u_1 + P_2\delta u_2)dS$$

- вариация работы объемных $F_1 = F_1(x_1, x_2)$, $F_2 = F_2(x_1, x_2)$ и поверхностных $P_1 = P_1(x_1, x_2)$, $P_2 = P_2(x_1, x_2)$ внешних сил,

V - объем тела,

S - граничный контур.

При решении задачи равновесия на границе рассматриваемой области используются смешанные граничные условия.

На поверхности шпалы в области приложения нагрузки от колесной пары задаются компоненты поверхностных сил:

$$P_1|_{\Gamma_i} = -q, \quad P_2 = 0.$$

На свободной поверхности шпалы и боковых

откосов принимается отсутствие нагрузок:

$$P_1 = 0, \quad P_2 = 0.$$

В основании насыпи известны компоненты вектора перемещений:

$$u_i|_{\Gamma_i} = 0, \quad i = 1, 2.$$

На контактных границах между слоями, между шпалой и балластом должны устанавливаться внутренние контактные условия, служащие условиями непрерывности перемещений при переходе через границу контакта. При этом полагается, что между слоями выполняется условие тесного контакта без отлипания. Эти условия естественным образом входят в вариационный принцип.

Из-за симметрии задачи относительно вертикальной оси при расчетах рассматривается лишь половина области, что существенно уменьшает размерность задачи. Действие отброшенной части области учитывается условиями симметричности, которые определяют отсутствие нормальной к границе составляющей вектора перемещений и касательной составляющей напряжений:

$$u_1|_{\Gamma_3} = 0, \quad P_2|_{\Gamma_3} = 0.$$

Из системы (3) следует, что разрешающая система уравнений метода конечных элементов, выраженная через представление вариаций потенциальной энергии деформации и работы внешних сил для типового конечного элемента в виде суммы произведений внутренних обобщенных сил на узловые значения перемещений, имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} \delta\boldsymbol{\Pi}_{\kappa\vartheta} &= \sum_{k=1}^4 (\boldsymbol{Q}_1^k \cdot \delta u_{1k} + \boldsymbol{Q}_2^k \cdot \delta u_{2k}) \\ \delta\boldsymbol{A}_{\kappa\vartheta} &= \sum_{k=1}^4 \left((F_1^k + P_1^k) \cdot \delta u_{1k} + (F_2^k + P_2^k) \cdot \delta u_{2k} \right) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где проекции вектора обобщенных сил, приведенных к узлу конечного элемента, вычисляются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} Q_1^k &= \iint_{\Delta V} (\sigma_{11}\psi_{k1} + \sigma_{12}\psi_{k2}) dV \\ Q_2^k &= \iint_{\Delta V} (\sigma_{21}\psi_{k1} + \sigma_{22}\psi_{k2}) dV \\ P_i^k &= \int_{\Delta V} p_i \psi_k dV \\ F_i^k &= \int_{\Delta V} f_i \psi_k dV \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Силы P_i^k служат дискретными аналогами напряжений для конечно-элементной модели. В них выражается влияние контакта элемента с окружающей средой, в частности, со смежными элементами.

Матрица жесткости элемента определяется вариацией проекций вектора внутренних

обобщенных сил на произвольных вариациях узловых перемещений. При малых упругих деформациях получаем:

$$\left. \begin{aligned} \delta\boldsymbol{Q}_1^i &= \sum_{j=1}^4 \boldsymbol{L}_{11}^{ij} \cdot \delta u_{1j} + \sum_{j=1}^4 \boldsymbol{L}_{12}^{ij} \cdot \delta u_{2j} \\ \delta\boldsymbol{Q}_2^i &= \sum_{j=1}^4 \boldsymbol{L}_{21}^{ij} \cdot \delta u_{1j} + \sum_{j=1}^4 \boldsymbol{L}_{22}^{ij} \cdot \delta u_{2j} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Интегральные множители (6) характеризуют изменения величин проекций обобщенных внутренних сил, возникающих в i -ом узле элемента на перемещения j -го узла конечного элемента.

В матричной форме (6) представляется в виде:

$$\left\{ \begin{array}{c} \delta\overline{\boldsymbol{Q}}_1 \\ \delta\overline{\boldsymbol{Q}}_2 \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{cc} \boldsymbol{L}_{11} & \boldsymbol{L}_{12} \\ \boldsymbol{L}_{21} & \boldsymbol{L}_{22} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{c} \delta\overline{\boldsymbol{U}}_1 \\ \delta\overline{\boldsymbol{U}}_2 \end{array} \right\}.$$

Симметричная матрица L , связывающая вариации обобщенных внутренних сил и перемещений, носит название матрицы жесткости конечного элемента.

Следующие формулы позволяют вычислить элементы матрицы жесткости для случая малых деформаций:

$$\left. \begin{aligned} L_{11}^{ij} &= \iint_{\Delta V} [(\lambda + 2\mu)\Psi_{i,1}\Psi_{j,1} + \mu\Psi_{i,2}\Psi_{j,2}] dV; \\ L_{12}^{ij} &= \iint_{\Delta V} [\lambda\Psi_{i,1}\Psi_{j,2} + \mu\Psi_{i,1}\Psi_{j,2}] dV; \\ L_{21}^{ij} &= \iint_{\Delta V} [\lambda\Psi_{i,2}\Psi_{j,1} + \mu\Psi_{i,2}\Psi_{j,1}] dV \\ L_{22}^{ij} &= \iint_{\Delta V} [\mu\Psi_{i,1}\Psi_{j,1} + (\lambda + 2\mu)\Psi_{i,2}\Psi_{j,2}] dV; \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Пусть f_i^Δ - проекции глобальной обобщенной силы в узле Δ связанной модели. Тогда для равновесия в каждом Δ узле должны выполняться равенства

$$f_i^\Delta = \sum_{\kappa\vartheta} (\boldsymbol{Q}_i^\Delta - F_i^\Delta - P_i^\Delta) = 0, \quad i = 1, 2 \quad (8)$$

Здесь суммирование проводится по всем конечным элементам, соединяющимся в узловой точке Δ связанной модели. Равенства (8) показывают, что проекции глобальной обобщенной силы в узле Δ связанной модели являются суммой проекций внутренних обобщенных сил в узлах элементов, соединяющихся в узловой точке Δ связанной модели. При этом \boldsymbol{P}_i^Δ не равны нулю только на сторонах элементов, совпадающих с внешней границей области.

Равенство (8) можно выписать для любого узла с номером (i, j) расчетной области. Они представляют собой систему линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных узловых значений компонент вектора перемещений.

В развернутом виде уравнения равновесия (i, j) -го узла имеют вид

$$\sum_{L \in \omega(i,j)} \iint_{\Delta V_L} (\sigma_{11}\psi_{k1} + \sigma_{12}\psi_{k2} - f_1\psi_k) dV$$

$$- \int_{\Delta S_L} P_1 \cdot \psi_k dS = 0,$$

$$\sum_{L \in \omega(i,j)} \iint_{\Delta V_L} (\sigma_{21}\psi_{k1} + \sigma_{22}\psi_{k2} - f_2\psi_k) dV$$

$$- \int_{\Delta S_L} P_2 \cdot \psi_k dS = 0$$

Здесь - $\omega(i,j)$ -множество элементов, кратных в узле с номером i,j ;

k - локальный номер узла i,j в элементе с номером L ;

f_1, f_2 - проекции заданной внешней объемной силы;

P_1, P_2 - проекции заданной внешней поверхностной силы.

Внешняя нагрузка на части шпалы определяется величиной $q=2.667 \text{ МПа}$. Все расчеты осуществляются в безразмерных переменных:

$$X = \frac{X}{L_0} \text{ - координаты и перемещения;}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sigma_0} \text{ - напряжения,}$$

где $\sigma_0 = (\lambda + 2\mu)$ - характерное напряжение;

L_0 - характерный линейный размер, за который берется половина длины шпалы;

λ, μ - модули упругости.

Для решения задачи с деревянной шпалой методом конечных элементов выбирается расчетная схема и вводится сетка элементов прямоугольной структуры, вписанная в область так, как показано на рисунке 1б. Размер сетки узлов задается значениями $1 \leq i \leq 46, 1 \leq j \leq 31$.

Механические свойства шпалы и грунта балласта как упругой сплошной среды определяются следующими значениями модуля упругости и коэффициента Пуассона:

дерево шпалы $E=12800 \text{ МПа}, \nu=0.14$.

грунт балласта $E=50 \text{ МПа}, \nu=0.1$.

грунт основания $E=60 \text{ МПа}, \nu=0.3$.

За характерное напряжение выбирается напряжение в шпale, т.о.

при $E=12800 \text{ МПа}, \nu=0.14$ получаем $\lambda=2183.2359 \text{ МПа}, \mu=5614.0351 \text{ МПа}$ и $\sigma_0=13411.3060 \text{ МПа}$. Безразмерные значения $\bar{\lambda}=0.16279, \bar{\mu}=0.41860$.

Характерный линейный размер - половина длины деревянной шпалы $L_0=1600 \text{ мм}$.

Расчеты проводились для постоянного значения модуля упругости и увеличивающихся значений коэффициента Пуассона, что имитировало загрязнение балласта маслянистыми продуктами.

Все данные о параметрах упругости балласта

сведены в табл. 1 при $E_{балласт}=50 \text{ МПа}$.

Таблица 1- Исходные данные параметров упругости балласта

ν	λ	μ	$\bar{\lambda}$	$\bar{\mu}$
0,1	5,68182	22,72727	0,000424	0,00169
0,2	13,88889	20,83333	0,00103	0,00155
0,3	28,84615	19,23077	0,00215	0,00143
0,4	71,42857	17,85714	0,00532	0,00133
0,45	155,17241	17,241380	0,01157	0,00128

Размерные и безразмерные модули упругости основания равны $\lambda=34.61538 \text{ МПа}, \mu=23.07692 \text{ МПа}, \bar{\lambda}=0.00258, \bar{\mu}=0.00172$. Безразмерное значение нагрузки $q=1.9886 \cdot 10^{-4}$.

Рассмотрим результаты расчетов напряженно-деформированного состояния верхнего строения пути с деревянными шпалами при одинаковых по порядку значениях модулей упругости Е балласта и основания. На рис. 3 представлены изолинии горизонтальной составляющей вектора перемещений при $\nu=0.1$ (а) и $\nu=0.45$. Расчеты показывают качественное совпадение распределения горизонтальных перемещений.

Максимумы горизонтальных составляющих вектора перемещений сосредоточены в области основания и равны соответственно 1.31017 мм при $\nu=0.1$ и 1.49054 мм при $\nu=0.45$. В области балласта по высоте вправо от линии действия равнодействующей внешней нагрузки перемещения $0.4766 \leq U_1 \leq 1.3638 \text{ мм}$ при $\nu=0.45$.

Таким образом, при прочих равных условиях, увеличение коэффициента Пуассона вызывает увеличение бокового выпора грунта балласта.

Для решения задачи с железобетонной шпалой методом конечных элементов выбирается расчетная схема и вводится сетка элементов прямоугольной структуры, вписанная в область так, как показано на рисунке 1а. Размер сетки узлов задается значениями $1 \leq i \leq 38, 1 \leq j \leq 31$.

Механические свойства шпалы и грунта балласта как упругой сплошной среды определяются следующими значениями модуля упругости и коэффициента Пуассона:

бетон шпалы $E=20000 \text{ МПа}, \nu=0.3$.

грунт балласта $E=50 \text{ МПа}, \nu=0.1$.

грунт основания $E=60 \text{ МПа}, \nu=0.3$.

За характерное напряжение выбирается напряжение в шпale, т.о. при $E=20000 \text{ МПа}, \nu=0.3$ получаем: $\lambda=11538.46 \text{ МПа}, \mu=7692.31 \text{ МПа}$ и $\sigma_0=26923.077 \text{ МПа}$. Безразмерные значения $\bar{\lambda}=0.42857, \bar{\mu}=0.28571$.

Характерный линейный размер - половина длины деревянной шпалы $L_0=1350 \text{ мм}$.

Исходные данные параметров упругости балласта сведены в табл. 2 при $E_{балласт}=50 \text{ МПа}$.

Размерные и безразмерные модули упругости основания соответственно равны $\lambda=288.46 \text{ МПа}, \mu$

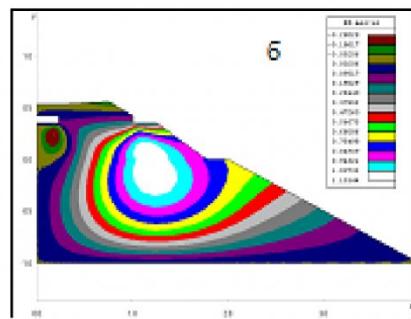
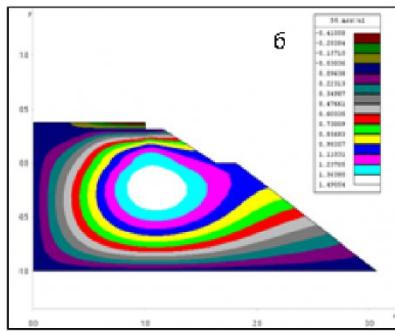
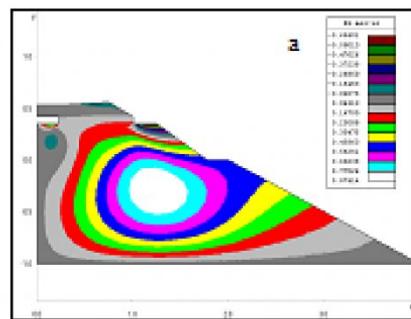
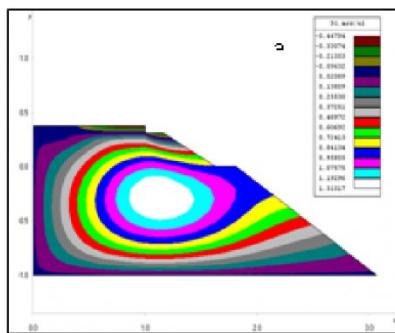


Рисунок 3- Горизонтальные перемещения при деревянных шпалах: грунт основания $E=60$ МПа, $v=0.3$ деревянная шпала $E=12800$ МПа, $v=0.14$ грунт балласта $E=50$ МПа, $v=0.3$.

a) $v=0.1$ б) $v=0.45$

$=192.31$ МПа, $\bar{\lambda} = 0.0107$, $\bar{\mu} = 0.0071$. Безразмерное значение нагрузки $\bar{q} = 0.9906 \cdot 10^{-4}$.

На рис. 4 представлены изолинии горизонтальной составляющей вектора перемещений при коэффициентах Пуассона $v=0.1$ (а) и $v=0.45$. Расчеты показывают качественное совпадение распределения горизонтальных перемещений, как и в случае деревянной шпалы.

Максимумы горизонтальных составляющих вектора перемещений сосредоточены в области основания и равны соответственно 0.874 мм при $v=0.1$ и 1.130 мм при $v=0.45$. В области балласта по высоте вправо от линии действия равнодействующей внешней нагрузки перемещения лежат в пределах $0.472 \text{ мм} \leq U_1 \leq 1.130 \text{ мм}$ при $v=0.45$. Увеличение жесткости основания смешает область максимальных горизонтальных перемещений в зону балласта, уменьшая при этом их абсолютные значения до 0.2 мм при $v=0.1$ и до 0.5-0.6 мм при $v=0.45$.

Таблица 2- Исходные данные параметров упругости балласта

ν	λ	μ	$\bar{\lambda}$	$\bar{\mu}$
0,1	5,68182	22,72727	0,00021	0,00084
0,2	13,88889	20,83333	0,00051	0,00077
0,3	28,84615	19,23077	0,00107	0,00071
0,4	71,42857	17,85714	0,00265	0,0066
0,45	155,17241	17,241380	0,00576	0,00064

Рисунок 4- Сравнение горизонтальных перемещений при различных значениях коэффициента Пуассона: железобетонная шпала $E=20000$ МПа, $v=0.3$, основание $E=60$ МПа, $v=0.3$; балласт $E=50$ МПа, а) $v=0.1$ б) $v=0.45$

Результаты экспериментов с загрязненными балластами по определению модулей упругости и коэффициентов Пуассона в зависимости от процента «грязи» сведены в табл. 3. В табл. 4 приводятся значения безразмерных параметров Ламе, используемых при расчетах.

Таблица 3 – Результаты экспериментов с загрязненными балластами по определению модулей упругости и коэффициентов Пуассона в зависимости от процента «грязи».

N	%	E МПа	ν	λ МПа	μ МПа
1	0	48.7	0,25	19.48	19,48
2	25	42.128	0,28	20.94	16,46
3	30	36.732	0,32	23,39	13,16
4	60	26.428	0,38	30,32	9,57
5	72	22.123	0,40	31,60	7,90
6	84	16.194	0,43	34,78	5,66

Таблица 4 - Значения безразмерных параметров Ламе

Деревянная шпала	Железобетонная шпала		
$\bar{\lambda}$	$\bar{\mu}$	$\bar{\lambda}$	$\bar{\mu}$
0,00145	0,00145	0,00072	0,00072
0,00156	0,00123	0,00078	0,00061
0,00174	0,00098	0,00087	0,00049
0,00226	0,00071	0,00113	0,00035
0,00236	0,00059	0,00117	0,00029
0,00259	0,00042	0,00129	0,00021

Механические свойства шпалы и грунта балласта как упругой сплошной среды определяются

следующими значениями модуля упругости и коэффициента Пуассона:

дерево шпалы $E=12800$ МПа, $\nu=0.14$,
грунт основания $E=50$ МПа, $\nu=0.25$.

Грунт балласта определяется параметрами, приведенными в табл. 3 и 4.

Анализ результатов показывает, что увеличение степени загрязнения грунта балласта приводит к качественным изменениям в распределении перемещений по сечению пути. Вместе с увеличением коэффициента Пуассона в балластном слое формируется зона максимальных горизонтальных перемещений. При малой степени загрязнения до 25% зона максимальных горизонтальных перемещений располагается в основании насыпи, достигая по абсолютной величине значения 1.4 мм. При среднем загрязнении (30%) начинает формироваться отдельная зона положительных по величине горизонтальных перемещений в области балластного слоя. При 72% загрязнения зона максимальных горизонтальных перемещений полностью сформирована. При этом по перемещениям имеется два локальных максимума с величиной максимума 1.48 мм. При степени загрязнения 84% максимум горизонтальных перемещений перемещается полностью в область балластного слоя, достигая по величине 1.8 мм.

Была отслежена и динамика формирования зоны положительных перемещений для верхнего строения пути с железобетонной шпалой. Уст-

новлено, что качественные особенности формирования зон при деревянных шпалах повторяются при железобетонных. Имеются лишь небольшие количественные различия. При малой степени загрязнения до 25% зона максимальных горизонтальных перемещений расположена в основании насыпи, достигая по абсолютной величине значения 0.96 мм. При среднем загрязнении (30%) начинает формироваться отдельная зона положительных по величине горизонтальных перемещений в области балластного слоя. При 72% загрязнения зона максимальных горизонтальных перемещений полностью сформирована. При этом по перемещениям имеется два локальных максимума с величиной максимума 1.51 мм. в балластном слое и 1.1 мм в основании насыпи. При степени загрязнения 84% максимум горизонтальных перемещений перемещается полностью в область балластного слоя, достигая по величине 2.01 мм.

Таким образом, увеличение степени загрязнения от 0 до 84% вместе с уменьшением модуля упругости балластного слоя от 48.7 до 16.194 МПа и, соответственно, ростом коэффициента Пуассона от 0.25 до 0.43 приводят к формированию зоны максимальных положительных горизонтальных перемещений в области балласта. Последнее обстоятельство при нарушении условий прочности является предпосылкой к появлению бокового выброса грунта балласта и разрушению балластной призмы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тюлюбаева Г.М. Характеристика участков с интенсивным грузопотоком нефтяных грузов // Вестник Каз АТК им. М.Тынышпаева, №3, 2003. – С.66-70.
2. Современные конструкции верхнего строения железнодорожного пути. Под ред. В.Г.Альбрехта и А.Ф.Золотарского. - М.: Транспорт, 1975. - 280 с.
3. Попов С.А. Балластный слой железнодорожного пути. - М.: Транспорт, 1965. - 183 с.
4. Тихомиров В.И. Содержание и ремонт железнодорожного пути. - М.: Транспорт, 1980. - 335 с.

Поступило в редакцию 29.09.2015

UDC 656.22

NUMERICAL SOLUTION OF THE TASK OF EVALUATING STRESS-STRAIN STATE OF RAILWAY TRACK

Nurzhanova Gulnara M.¹,

Professor, email: aigul-kazhikenova@mail.ru

Alibi Daulet B.²,

Ph.D., Associate Professor, email: aigul-kazhikenova@mail.ru

Kazhikenova Aigul S.²,

Ph.D., Associate Professor, email: aigul-kazhikenova@mail.ru

¹Kazakh Academy of Transport and Communications. Kazakhstan, Almaty, st. Shevchenko 97

²Karaganda State University. E.A.Buketov,Kazakhstan, Karaganda, st. University 28

Abstract. In this article the calculation of stress-strain state of the top structure of the main railway tracks with wooden and concrete sleepers in heavy pollution, and also considers the effect of the elastic moduli on the horizontal movement of ballast. The simulation is based on the finite element method as applied to the problem of solid mechanics.

Keywords. A discrete model, the equilibrium equation, concrete sleepers, wooden sleepers, curve, stress.

REFERENCES

1. Tjuljubaeva G.M. Harakteristika uchastkov s intensivnym gruzopotokom neftjanyh gruzov // Vestnik Kaz ATK im. M.Tynyshpaeva, №3, 2003. – S.66-70.
2. Sovremennye konstrukcii verhnego stroenija zheleznodorozhnogo puti. Pod red. V.G.Al'brehta i A.F.Zolotarskogo. - M.: Transport, 1975. - 280 s.
3. Popov S.A. Ballastnyj sloj zheleznodorozhnogo puti. - M.: Transport, 1965. - 183 s.
4. Tihomirov V.I. Soderzhanie i remont zheleznodorozhnogo puti. - M.: Transport, 1980. - 335 s.

Received 29 September 2015