

На правах рукописи

СИТНИКОВ СЕРГЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ

**ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ВАГОНА С ГРУЗОМ
СО СМЕЩЕННЫМ ЦЕНТРОМ ТЯЖЕСТИ**

Специальность 05.22.08 – Управление процессами перевозок

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

ЕКАТЕРИНБУРГ – 2007

Работа выполнена на кафедре «Станции, узлы и грузовая работа» Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Уральский государственный университет путей сообщения»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Туранов Хабибулла Туранович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Анисимов Петр Степанович

кандидат технических наук, доцент
Терзи Виктор Иванович

Ведущее предприятие: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Иркутский государственный университет путей сообщения»

Защита диссертации состоится “18” мая 2007 г. в 10–00 на заседании диссертационного совета Д 218.013.01 при Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования “Уральский государственный университет путей сообщения” по адресу: 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, ауд. 283.
Fax: 8-(343) - 358 - 55 - 91

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уральского государственного университета путей сообщения.

Автореферат диссертации разослан “11” апреля 2007 г.

Отзыв на автореферат в 2-х экземплярах, заверенный печатью организации, просим направить в адрес ученого совета Университета.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Асадченко В.Р.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Сохранная и своевременная доставка грузов грузополучателям предусматривает четкую и безопасную работу всей инфраструктуры железнодорожного транспорта. Одной из основных причин, приводящих к сбоям в работе (отцепке вагонов на технических станциях) являются коммерческие браки. Положение с обеспечением безопасности движения в сфере грузовых перевозок за последние шесть лет характеризуется как нестабильное. Количество вагонов с коммерческими неисправностями на сети дорог России колеблется в пределах от 4500 до 5800 в год. В том числе количество вагонов с расстройством креплений груза на открытом подвижном составе (ОПС) составляло в отдельные годы от 25% до 55%. Среди тяжеловесных и крупногабаритных грузов, перевозимых на ОПС, достаточно большой удельный вес составляют грузы с несимметрично расположенным центром массы относительно центра пересечения осей вагона. Смещение грузов относительно центра пересечения осей вагона возможно и в процессе транспортирования. В результате этого, возможно нарушение устойчивости вагона с грузом, а также креплений, приводящих к развалу или развороту груза относительно вагона. Нарушения устойчивости вагона с грузом со смещенным центром тяжести поперек вагона и креплений непосредственно создают угрозу безопасности движения поездов, сохранности грузов в пути следования и транспортных сооружений (железнодорожных путей, ЛЭП, мостов и др.).

Безопасная и сохранная перевозка грузов, своевременная их доставка может быть достигнута разработкой и использованием более совершенных методик расчетов устойчивости вагона с грузом и креплений грузов. В настоящее время в действующих ТУ при выполнении расчетов крепления грузов считается, что отсутствуют сдвиги груза относительно вагона. В действительности, как показали ходовые испытания, проведенные ВНИИЖТ, груз может совершать дополнительные колебания относительно пола вагона из-за ослабления креплений в пути следования. Таким образом, груз во время движения поезда находится на колеблющемся основании. Колебания вагона и груза носят случайный характер и достаточно трудно поддаются математическому описанию. Возможно, по этой причине в действующих ТУ производятся ориентировочные расчеты устойчивости вагона с грузом и креплений грузов, размещенных со смещением общего центра тяжести поперек вагона, по допустимым предельным смещениям относительно продольной оси симметрии вагона, а специальные расчеты не выполняются.

Цели и задачи работы. Разработка методики оценки устойчивости вагона с грузом и определения усилий, возникающих в гибких элементах креплений, с учетом несимметричного расположения груза поперек вагона.

Другой не менее актуальной задачей является создание методики практического использования полученных результатов для оценки устойчивости вагона с грузом и расчета выбора креплений.

Для достижения цели необходимо решение следующих задач:

1) разработать расчетные и математические модели механической системы «путь–вагон–груз» при несимметричном размещении центра тяжести груза поперек вагона с учетом воздействия всех нормативных нагрузок с последующим проведением вычислительных экспериментов по определению давлений колесных пар вагона на рельсовые нити;

2) разработать математический аппарат моделирования нагруженности креплений негабаритного груза с плоским основанием, размещенного со смещением центра тяжести поперек вагона с последующим проведением вычислительных экспериментов по изучению нагрузочных способностей гибких элементов креплений груза при воздействии на систему «вагон–крепление–груз» нормативных нагрузок.

Методика исследования. Для оценки устойчивости вагона с грузом применен принцип Даламбера. Аналитические исследования по определению натяжений в гибких элементах крепления груза в механической системе «вагон–крепление–груз» базируются на основных положениях теоретической механики (принцип освобожденности от связей, закон Кулона, закон Гука, условия равновесия относительного движения точки, принцип возможных перемещений) и сопротивления материалов (метод сечений, совместность деформации). Вычислительные эксперименты реализованы в инструментальной среде MathCAD с широким использованием методов последовательных приближений и итераций. Обработка результатов этих исследований выполнена с использованием статистических методов обработок данных в среде MathCAD.

Достоверность исследования. Достоверность результатов исследований подтверждается опытными данными, полученными в процессе перевозки грузов, устойчивость вагона с грузом и крепление которых рассчитано по разработанным методикам, а также данными сравнительных расчетов усилий в гибких элементах креплений, полученными с применением методик, разработанных автором и другими исследователями.

Основные положения, выносимые на защиту:

1) математическая модель устойчивости вагона с грузом при движении подвижного состава по кривому участку пути с учетом осадки комплектов пружин тележки вагона и наклона рамы вагона в сторону смещения общего центра тяжести груза;

2) математическая модель нагруженности креплений груза со смещенным центром тяжести на открытом подвижном составе.

Научная новизна. Научная новизна состоит:

1) в получении зависимости для определения давлений колесных пар открытого подвижного состава с грузом, расположенным со смещенным центром тяжести, на рельсовые нити;

2) обосновании и построении математической модели нагруженности креплений груза со смещением общего центра тяжести груза поперек ваго-

на при действии внешних нормативных сил, имитирующих движение поезда.

Практическая ценность. Практическую ценность составляют:

1) Программы расчета усилий в гибких элементах креплений и давлений колес на рельсовые нити при несимметричном размещении центра тяжести негабаритного груза поперек вагона, на которые получены 6 Свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (№ 2006612566 от 26.05.2006, №2006611940 от 13.06.2006, № 2006612567 от 20.07.06, № 2006612668 от 28.07.06, № 2006611869 от 20.10.06, №2006613890 от 13.11.2006);

2) рекомендации о внесении корректив в таблицу 11 ТУ в части смещения общего центра тяжести груза.

Реализация результатов работы. Разработанные практические рекомендации приняты к использованию Службой коммерческой работы в сфере грузовых перевозок Южно-Уральской железной дороги филиала ОАО «Российские железные дороги» для проверки разработанных грузоотправителями схем размещения и крепления грузов на открытом подвижном составе.

Кроме того, разработанная методика расчета креплений негабаритных грузов реализована в виде 6 пакетов программ для ПК. Программы используются в научных исследованиях и учебном процессе кафедры «Станции, узлы и грузовая работа».

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на Шестой научн. – практич. конф. «Безопасность движения поездов» (Москва: МИИТ, 2005 г.), на 44–ой Всеросс. научн. – практич. конф. «Современные технологии – железнодорожному транспорту и промышленности» (Хабаровск: ДВГУПС, 2006 г.), на научн. – практич. конф. «Повышение эффективности работы путевого хозяйства и инженерных сооружений железных дорог» (Екатеринбург: УрГУПС, 2006 г.), на VII междунар. научн. – конф. «Кибернетика и технологии XXI века» (Воронеж: ВГТУ, 2006), на Междунар. научн.– практич. конф. «Наука, техника, высшее образование: проблемы и тенденции развития» (г. Поречье, Хорватия, 2006), на IV Всеросс. научн. – техн. конф. «Политранспортные системы (Транспортные системы сибери)» (Красноярск: КГТУ, 2006 г.), на Междунар. научн.– практич. конф. «Наука, инновация и образование: актуальные проблемы развития транспортного комплекса России» (Екатеринбург: УрГУПС, 2006 г.) и на объединенном научном семинаре кафедр «Станции, узлы и грузовая работа», «Управление процессами перевозок» и «Вагоны» УрГУПС (Екатеринбург, 2006 г.).

Публикации. Основное содержание диссертационной работы опубликовано в 22 научных работах (из них 15 статей написаны в соавторстве) и материалах конференции международного и регионального уровней.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех разделов с выводами в каждой из них, общих выводов и рекомендации, библиографического списка, включающего 149 наименований, 132 страницы основного текста, в том числе 29 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана общая характеристика диссертации с обоснованием актуальности темы.

В первом разделе диссертации «Состояние вопроса и задачи исследований» подробно изучен литературный обзор по данному направлению исследований, сформулированы цель и задачи исследования. Оценка устойчивости вагона с грузом со смещением его центра тяжести поперек вагона является совсем неизученной и мало исследованной. Крепления грузов на вагоне с использованием действующей методики расчета крепления грузов (ТУ) изучены в работах докторов технических наук А.Д. Малова, В.К. Бешкетто, П.С. Анисимова, Львова А.А. и других, а с использованием усовершенствованной методики расчета крепления грузов изучены в работах докторов технических наук В.Б. Зылева и Х.Т. Туранова, проф. В.А. Болотина, кандидатов технических наук Е.Д. Псеровской, Д.Ю. Королевой, М.А. Зачешигрова, М.В. Корнеева, Н.В. Власовой, О.Ю. Чуйковой, Е.Н. Тимухиной и других.

В диссертации обоснована необходимость оценки устойчивости вагона с грузом и разработки усовершенствованной методики расчета усилий в гибких элементах креплений механической системы «вагон–крепление–груз» при перевозке негабаритного груза со смещением общего центра тяжести поперек вагона и движении поезда по кривому участку пути.

Второй раздел диссертации «Моделирование нагруженности рельсовой колеи при несимметричном размещении общего центра тяжести груза поперек вагона» посвящен моделированию нагруженности рельсовой колеи при движении вагона с несимметричным размещением общего центра тяжести негабаритного груза поперек вагона с целью определения коэффициента устойчивости вагона с грузом. Коэффициент устойчивости служит критерием оценки допустимой величины смещения общего центра тяжести груза.

Физическая модель вагона с грузом при движении состава по кривой представлена на рис. 1, на котором приняты обозначения: \bar{G} и \bar{G}_m – вес груза и тары вагона; $\bar{\Phi}_n$ – нормальная сила инерции, возникающая при

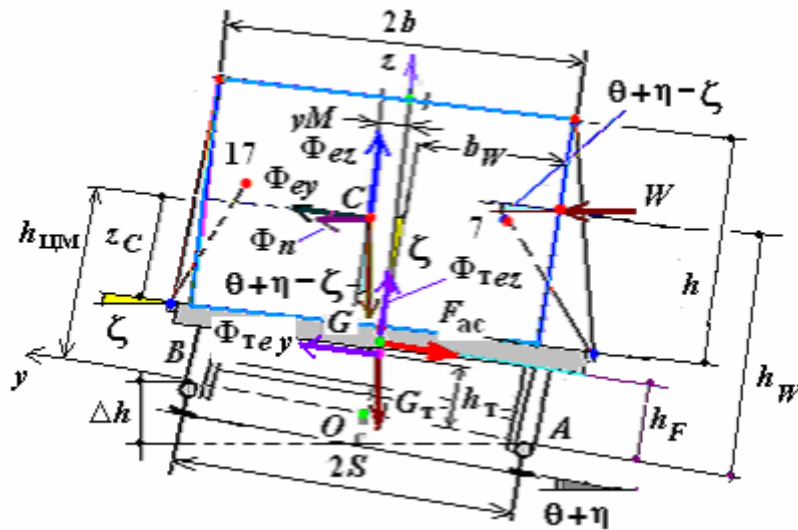


Рис. 1. Физическая модель вагона с грузом при движении состава по кривой

движении поезда в кривой, как сила давления движущегося тела на рельсовые нити; поперечная $\bar{\Phi}_y = \bar{\Phi}_{ey}$ и вертикальная $\bar{\Phi}_z = \bar{\Phi}_{ez}$ переносные силы инерции груза; поперечная $\bar{\Phi}_{my} = \bar{\Phi}_{mey}$ и вертикальная $\bar{\Phi}_{mz} = \bar{\Phi}_{mez}$ переносные силы инерции порожнего вагона; \bar{F}_{ac} – сила, возникающая от воздействия на вагон с грузом автосцепных устройств смежных вагонов; \bar{W} – сила аэродинамического сопротивления воздуха; C – центр тяжести груза; $h_{цм}$ – высота центра тяжести груза над уровнем головки рельса (УГР) с учетом наклона кузова относительно колесных пар из-за наличия комплектов пружин в тележке; h_T – высота центра тяжести вагона; h_F – высота точки приложения силы \bar{F}_{ac} на вагон с грузом от УГР (1,06 м); h_W – высота точки приложения силы аэродинамического сопротивления воздуха на вагон с грузом над УГР; b_W – расстояния от точки приложения силы аэродинамического сопротивления воздуха до продольной оси симметрии вагона; yM – допускаемое поперечное смещение центра тяжести груза в вагоне в зависимости от веса груза и высоты общего центра масс вагона с грузом над УГР. Также на нем обозначены: $2S$ – расстояние между кругами катания колесной пары вагона колеи 1520 мм, равное 1.580 м; Δh – возвышение наружной рельсовой нити, θ – угол наклона наружной рельсовой нити относительно

внутренней, определяемый по формуле $\theta = \arctg\left(\frac{\Delta h}{2S}\right)$. Здесь возвышение наружной рельсовой нити Δh определяется в зависимости от заданной скорости движения \bar{v} , по которой должен быть пропущен поезд по кри-

вому участку пути по формуле $\Delta h = \frac{2Sv^2}{12.96gr}$, где v – скорость поезда в

м/с; $12,96 = 3,6^2$ – переводной коэффициент м/с в км/ч; g – ускорение свободного падения, равное 9.81 м/с^2 ; ρ – радиус кривизны кривого участка пути в м.

Допустим, что при движении подвижного состава с грузом по кривому участку пути из-за возвышения наружной рельсовой нити происходит наклон рамы вагона в сторону внутренней нити по причине осадки комплектов пружин на боковой раме вагона, расположенных на стороне внутренней рельсовой нити. Угол наклона рамы вагона с грузом в сторону внутренней

рельсовой нити можно определить по формуле $\eta = \arctg\left(\frac{\delta_{zo}}{0.5l_{нб}}\right)$, где δ_{zo} – вертикальное смещение точки контакта наддрессорной балки с комплектами пружин из-за возвышения наружной рельсовой нити, мм; $l_{нб}$ – расстояние между комплектами пружин, размещенных в проемах правой и левой боковой рамы, что соответствует расстоянию между серединными плоскостями буксового узла в мм (2036 мм).

Пусть несимметричное размещение груза относительно продольной оси симметрии вагона, например, будет осуществлено в сторону наружной рельсовой нити на величину yM , принимаемое в зависимости от веса груза и высоты общего центра масс вагона с грузом над УГР по таблице 11 по ТУ. Так, например, для веса груза $G = Q_{гр}^0 = 294.3 \text{ кН}$ (30 тс) и высоты общего центра тяжести вагона с грузом над УГР менее 2300 мм $yM \approx 0.290 \text{ м}$.

Рама вагона и наддрессорные балки передней и задней тележки от смещения центра масс (тяжести) $\text{ЦМ}_{гр}^c$ механической системы «груз – рама вагона» $+yM$ будут наклонены в сторону возвышения наружной рельсовой нити на угол ζ , нагружая комплекты пружин опоры C и разгружая такие же пружины опоры D (рис. 2,а).

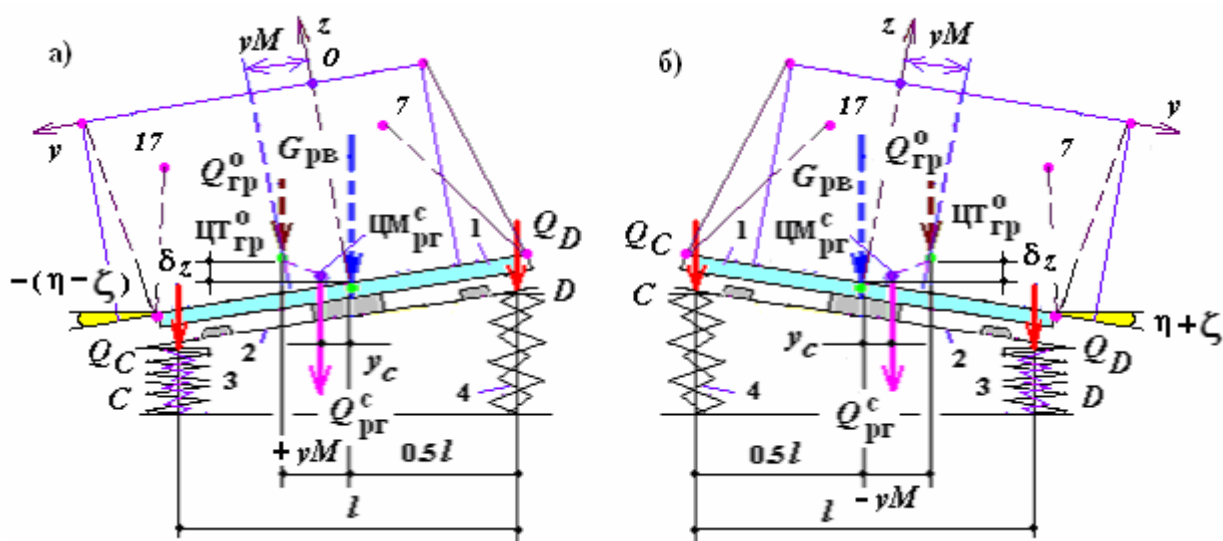


Рис. 2. Размещение груза со смещением поперек вагона

При смещении же центра масс (тяжести) $\text{ЦМ}_{\text{рг}}^{\text{с}}$ механической системы «груз – рама вагона» на $-yM$ рама вагона и надрессорные балки передней и задней тележки будут наклонены в сторону внутренней рельсовой нити на угол $-\zeta$, *нагружая* комплекты пружин опоры D и *разгружая* такие же пружины опоры C (рис. 2,б). В таком наклоненном положении рамы вагона и надрессорных балок будет находиться вагон с грузом в составе поезда.

В математической модели смещение центра масс $\text{ЦМ}_{\text{рг}}^{\text{с}}$ в сторону наружной или внутренней рельсовой нити будет учтено лишь знаками смещения общего центра масс вагона с грузом yM и угла ζ .

При смещении центра тяжести груза $\text{ЦТ}_{\text{гр}}^{\text{о}}$ поперек вагона происходит наклона рамы вагона с грузом в сторону смещения груза. При этом угол наклона рамы вагона с грузом можно определить по формуле $\zeta = \arctg\left(\frac{\delta z}{yM}\right)$,

где δz – возможное вертикальное смещение точки приложения центра тяжести груза относительно продольной оси симметрии вагона на расстояние yM , мм.

Требуется установить влияние смещения общего центра тяжести груза поперек вагона при движении поезда по кривому участку пути на значения давлений колес на рельсовые нити N_A и N_B при заданном значении скорости поезда v , и коэффициенты устойчивости вагона.

Примем, что груз прикреплен к вагону креплениями в виде гибких элементов и что отсутствует перемещение груза поперек вагона. Предположим, что высота общего центра тяжести вагона с грузом $h_{\text{цм}}$ относительно УГР с учетом наклона кузова относительно колесных пар из-за наличия комплектов пружин в тележке величина постоянная. Допустим, что связь между колесами и рельсовыми нитями негладкая (с трением) поверхность. Для решения прикладной задачи применили принцип освобождаемости от связей, закон Кулона, условия относительного равновесия твердого тела и плоской системы сил, закон равенства действия и противодействия.

Вагон с грузом находится в равновесии под действием активных сил в виде силы тяжести груза и тары вагона \bar{G} и \bar{G}_m , удерживающих вагон с грузом от опрокидывания; нормальной $\bar{\Phi}_n$, поперечной $\bar{\Phi}_y = \bar{\Phi}_{ey}$ и вертикальной $\bar{\Phi}_z = \bar{\Phi}_{ez}$ переносных сил инерции груза; поперечная $\bar{\Phi}_{my} = \bar{\Phi}_{mey}$ и вертикальная $\bar{\Phi}_{mz} = \bar{\Phi}_{mez}$ переносная сила инерции порожнего вагона; силы \bar{F}_{ac} , возникающей от воздействия на вагон с грузом автосцепных устройств смежных вагонов; ветровой нагрузки \bar{W} , стремящейся опрокинуть вагон с грузом; реактивных сил в виде реакций боковой поверхности наружного рельса на гребень колеса колесной пары вагона H_B , реакций рельсов на колеса N_A и N_B , а также сил трения $F_{\text{тр}H}$, $F_{\text{тр}A}$ и $F_{\text{тр}B}$.

Все силы лежат на одной плоскости и не пересекаются в центре масс вагона с грузом (точке C). В связи с этим, имеем расчетную модель с координатными осями Oy и Oz , представленную на рис. 3.

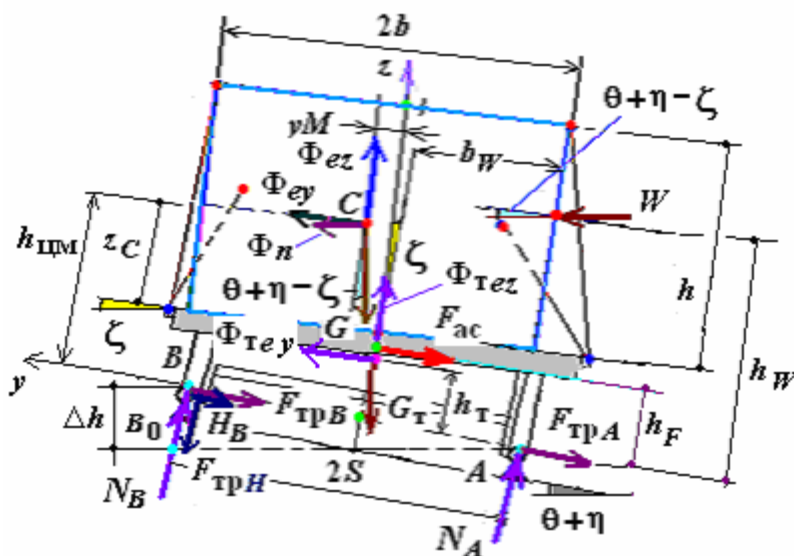


Рис.3. Расчетная модель вагона с грузом на кривом участке пути

Составим уравнения равновесия для вагона с грузом. Считаем, что рельсовая нить, установленная с возвышением относительно внутренней, имеет наклон θ противоположно отсчету углов. Силы, действующие на вагон с грузом, являются плоской системой сходящихся сил, то достаточно составить три уравнения равновесия, приравняв нулю сумму проекций всех сил на ось y , взяв момент всех сил относительно точек B и A (см. рис. 3), и присоединив к ним формулу силы трения из закона Кулона.

Нормальные реакции связи (рельсовой нити) в точках A и B отыскивали по следующим аналитическим формулам

$$N_A = \frac{G(\cos(\theta + \eta - \zeta) \cdot (S - yM) + \sin(\theta + \eta - \zeta) \cdot h_{um}) + G_m(\cos(\theta + \eta) \cdot S + \sin(\theta + \eta) \cdot h_m) + \Phi_n \sin(\theta + \eta - \zeta) \cdot (S - yM) + W \sin(\theta + \eta - \zeta) \cdot (S + b_w) - \Phi_y h_{um} - \Phi_z (S - yM) - \Phi_{mz} S - \Phi_n \cos(\theta + \eta - \zeta) \cdot h_{um} - W \cos(\theta + \eta - \zeta) \cdot h_w + F_{ac} h_F - \Phi_{mn}(\cos(\theta + \eta - \zeta) \cdot h_m - \sin(\theta + \eta - \zeta) \cdot S) - \Phi_{my} h_m}{2S}; \quad (1)$$

$$H_B = (\Phi_n + W) \cos(\theta + \eta - \zeta) + \Phi_y - G \sin(\theta + \eta - \zeta) + \Phi_{mn} \cos(\theta + \eta - \zeta) + (\Phi_{my} - F_{ac}) - G_m \sin(\theta + \eta) - f(N_A + N_B), \quad (2)$$

$$\begin{aligned}
& f_{\epsilon} H_B 2S + \Phi_y h_{\psi m} + G \cos(\theta + \eta - \zeta) \cdot (S + yM) + \\
& + G_m (\cos(\theta + \eta) \cdot S - \sin(\theta + \eta) \cdot h_m) + \\
& + \Phi_n (\cos(\theta + \eta - \zeta) \cdot h_{\psi m} + \sin(\theta + \eta - \zeta) \cdot (S + yM)) + \\
& + W (\cos(\theta + \eta - \zeta) \cdot h_W + \sin(\theta + \eta - \zeta) \cdot (S - b_W)) - \Phi_z (S + yM) - \\
& - \Phi_{mz} S - G \sin(\theta + \eta - \zeta) \cdot h_{\psi m} - F_{ac} h_F + \\
& + \Phi_{mn} (\cos(\theta + \eta - \zeta) \cdot h_m + \sin(\theta + \eta - \zeta) \cdot S) + \Phi_{my} h_m \\
N_B = & \frac{2S}{2S};
\end{aligned} \tag{3}$$

где f и f_{ψ} – коэффициенты трения при движении между поверхностями качения колес и рельсовых нитей и между боковой поверхностью наружного рельса и гранями колесных пар вагона, равные $f_0/1.2$ (f_0 – коэффициент трения сцепления, известный для пар трения по справочным данным).

Из-за взаимозависимости уравнений (1) ... (3) не представляется возможным отыскать реакции связей N_A и N_B . Для решения такой задачи воспользуемся методом последовательных приближений, находя реакцию связи N_B из уравнения (3) без учета силы трения между боковыми гранями рельса и гребней колес колесных пар вагона $F_{трH}$. Подставляя найденное значение N_B в уравнение (2), определим значение реакции связи H_B . Повторяя описанную последовательность до тех пор, пока найденные значения N_B не будут отличаться между собой, окончательно можно решить поставленную задачу.

Коэффициенты устойчивости вагона с грузом можно определить по формулам

$$\begin{aligned}
& G (\cos(\theta + \eta - \zeta) \cdot (S - yM) + \sin(\theta + \eta - \zeta) \cdot h_{\psi m}) + \\
& + G_m (\cos(\theta + \eta) \cdot S + \sin(\theta + \eta) \cdot h_m) + \\
& + \Phi_n \sin(\theta + \eta - \zeta) \cdot (S - yM) + W \sin(\theta + \eta - \zeta) \cdot (S + b_W) + \\
\eta B \geq & \frac{F_{ac} h_F + \Phi_{mn} \sin(\theta + \eta - \zeta) \cdot S}{\Phi_y h_{\psi m} + \Phi_z (S - yM) + \Phi_n \cos(\theta + \eta - \zeta) \cdot h_{\psi m} + \\
& + \Phi_{mn} h_F + W \cos(\theta + \eta - \zeta) \cdot h_W + \Phi_{mz} S + \\
& + \Phi_{mn} \cos(\theta + \eta - \zeta) \cdot h_m + \Phi_{my} h_m} \tag{4} \\
& f_{\epsilon} H_B 2S + G \cos(\theta + \eta - \zeta) \cdot (S + yM) + G_m \cos(\theta + \eta) \cdot S + \Phi_y h_{\psi m} + \\
& + \Phi_n (\cos(\theta + \eta - \zeta) \cdot h_{\psi m} + \sin(\theta + \eta - \zeta) \cdot (S + yM)) + \\
& + W (\cos(\theta + \eta - \zeta) \cdot h_W + \sin(\theta + \eta - \zeta) \cdot (S - b_W)) + \\
\eta A \geq & \frac{\Phi_{mn} (\cos(\theta + \eta - \zeta) \cdot h_m + \sin(\theta + \eta - \zeta) \cdot S) + \Phi_{my} h_m = M_{y\partial A}}{G \sin(\theta + \eta - \zeta) \cdot h_{\psi m} + G_m \sin(\theta + \eta) \cdot h_m + \\
& + \Phi_z (S + yM) + F_{ac} h_F + \Phi_{mz} S} \tag{5}
\end{aligned}$$

В случае, когда общий центр тяжести груза относительно продольной оси симметрии вагона смещен в сторону внутренней рельсовой нити, т. е. противоположно направлению оси Oy , то в формулах (1), (2) и (4), (5) значению yM присваивается противоположный знак. В этом случае учет направления угла наклона рамы вагона с грузом ζ осуществляется по знаку yM .

Из полученных аналитических формул легко выводятся формулы, описывающие частные случаи, когда груз размещен симметрично относительно оси симметрии вагона и на него действует только нормальная сила инерции, и когда на груз действуют одновременно нормальная сила инерции и ветровая нагрузка.

В третьем разделе диссертации «Результаты вычислительных экспериментов по определению давлений колесных пар вагона на рельсовые нити при смещении общего центра тяжести груза поперек вагона» подробно изложены результаты вычислительных экспериментов по определению давлений колесных пар вагона на рельсовые нити в случае смещения центра тяжести груза в сторону как наружной, так и внутренней рельсовой нити с учетом одновременных воздействий на вагон с грузом поперечных и вертикальных сил.

Приводим результаты вычислительных экспериментов в случае смещения центра тяжести груза поперек вагона с применением инструментальной среды MathCAD (Программа для ЭВМ «Расчет давлений колесных пар вагона на рельсовые нити при смещении общего центра тяжести груза поперек вагона при движении поезда по кривому участку пути»). Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006612900 от 11.07.08 Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам [15]). Исходные данные: $g = 9,81$ – ускорение свободного падения, m/c^2 ; $G = M_0 \cdot g = 30 \cdot 9,81 = 294,3$ – вес груза, кН; $G_T = 220$ – вес тары вагона, кН; $M = (G \cdot 10^3)/g = 3 \cdot 10^4$ – масса груза, кг; $M_T = (G_T \cdot 10^3)/g = 2,2 \cdot 10^4$ – масса тары вагона, кг; $f_0 = 0,15$ – коэффициент трения сцепления; $f = fb = f_0/1,2$ – коэффициенты трения при движении; $v = 100$ – скорость поезда, км/ч; $\rho = 1200$ – радиус кривизны кривой, м; $S = 0,79$ – половина расстояния между кругами катания колесной пары вагона колеи 1520 мм, м; $h = 1,48$ – высота груза, м; $h_{цм} = 2,05$ – высота центра тяжести груза относительно УГР, м; $h_T = 0,8$ – высота центра тяжести вагона относительно УГР, м; $h_W = 2,2$ – высота точки приложения силы \bar{W} на вагон с грузом от УГР, м; $b_W = 0,5$ – расстояние от точки приложения силы \bar{W} до продольной оси симметрии вагона, м; $\delta_{z0} = 0,01$ – принятое значение вертикального смещения точки контакта наддрессорной балки с комплектами пружин из-за возвышения наружной рельсовой нити, м; $l_{нб} = 2,036$ – длина наддрессорной балки, м; сила аэродинамического сопротивления воздуха, действующая с боковой стороны груза: $W = 3,998$ кН.

Максимальная величина поперечной силы инерции $\bar{\Phi}_y$ определяется по весу груза и величине допустимого поперечного ускорения a_{ey} , которая до-

ходит до 0.4g. В число поперечных сил при проходе подвижного состава по кривым входит и нормальная сила инерции $\overline{\Phi}_n$, зависящая от массы груза M , скорости движения поезда \overline{V} и радиуса кривизны кривой ρ . Максимальная величина вертикальной силы инерции $\overline{\Phi}_z$ определяется по массе груза и величине допустимого вертикального ускорения a_{ez} , равного в пределах от 0.46g до 0.66g. На их основе приняты следующие кинематические возмущения, передаваемые на груз со стороны пути и вагона: $a_{ey} = 0,35g$ – переносное ускорение вагона по поперечной оси, м/с^2 ($\Phi_y = 103 \text{ кН}$), $a_{ez} = 0,46g$ – переносное ускорение вагона по вертикальной оси, м/с^2 ($\Phi_z = 135,378 \text{ кН}$).

Возвышение наружной рельсовой нити $\Delta h = 0,104 \text{ м}$, угол наклона наружной рельсовой нити относительно внутренней $\theta = 3,75$ град. и угол наклона рамы вагона от вертикальной осадки пружин из-за возвышения наружной рельсовой нити $\eta = 0,563$ град. Вычисленное значение нормальной силы инерции $\Phi_n = 19,29 \text{ кН}$.

Влияние смещения общего центра тяжести груза *в сторону наружной рельсовой нити* на наклон наддрессорной балки осуществим с учетом следующих параметров: смещение центра тяжести груза по поперечной оси в сторону наружной рельсовой нити $yM = 0,22 \text{ м}$; значение вертикального смещения точки на раме вагона из-за смещения общего центра тяжести вагона с грузом над УГР поперек вагона $\delta_z = 0,0105 \text{ м}$; угол наклона рамы вагона от смещения центра тяжести груза поперек вагона $\zeta = 2,862$ град.

Для примера, приведем результаты исследований в случае смещения общего центра тяжести груза с весом 300 кН (30 тс) на $yM = 0,220 \text{ м}$ поперек вагона в сторону наружной рельсовой нити. Вычисленные значения нормальных реакций колесных пар вагона на рельсовые нити и коэффициентов устойчивости вагона с грузом по формулам (1)-(5) оказались равными: $N_A = 25$, $N_{B0} = 349,682$, $H_{B0} = 148,769$; $N_{B1} = 368,278$, $H_{B1} = 151,094$; $N_{B2} = 368,569$, $H_{B2} = 151,13$; $N_{B3} = 368,573$, $H_{B3} = 151,131 \text{ кН}$; $N_{B4} = 368,573$, $H_{B4} = 151,131 \text{ кН}$; $\eta_B = 1,12$ и $\eta_A = 4,33$.

Анализируя полученные результаты вычислительных экспериментов, можно отметить, что при заданных исходных данных в случае смещения центра тяжести груза поперек вагона yM на 0,22 м в сторону рельсовой нити, установленной с возвышением, и действий поперечной силы инерции, равном 103 кН, нормальная реакция этой рельсовой нити достигает 368,57 кН (36,8 тс) (при $yM = 0$ – $N_A = 65$, $N_B = 327,1 \text{ кН}$). Реакция наружной рельсовой нити на гребень колес вагона равна 151,1 кН. Устойчивость вагона с грузом обеспечена (при $yM = 0$ – $\eta_B = 1,29$ и $\eta_A = 4$).

Результаты вычисления нормальных реакций рельсовых нитей на колесные пары вагона N_A , N_B и силы отжатия наружной рельсовой нити H_B при вариации смещения центра тяжести груза поперек вагона yM в сторону как наружной, так и внутренней рельсовой нити в пределах от 0 до 0.26 м для случая $\Phi_y = 0$ в графическом виде представлены на рис. 4 и 5.

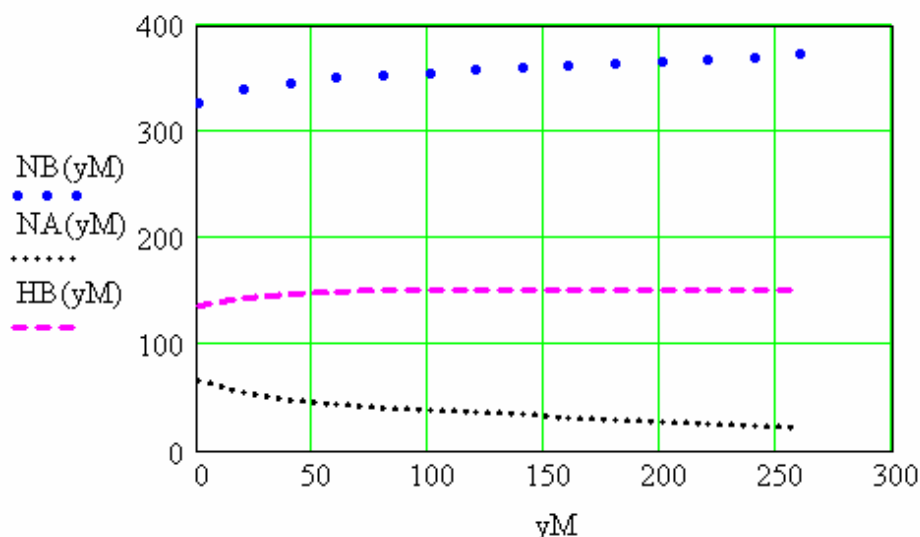


Рис. 4. Графические зависимости $N_A = f(y_M)$, $N_B = f(y_M)$ и $H_B = f(y_M)$

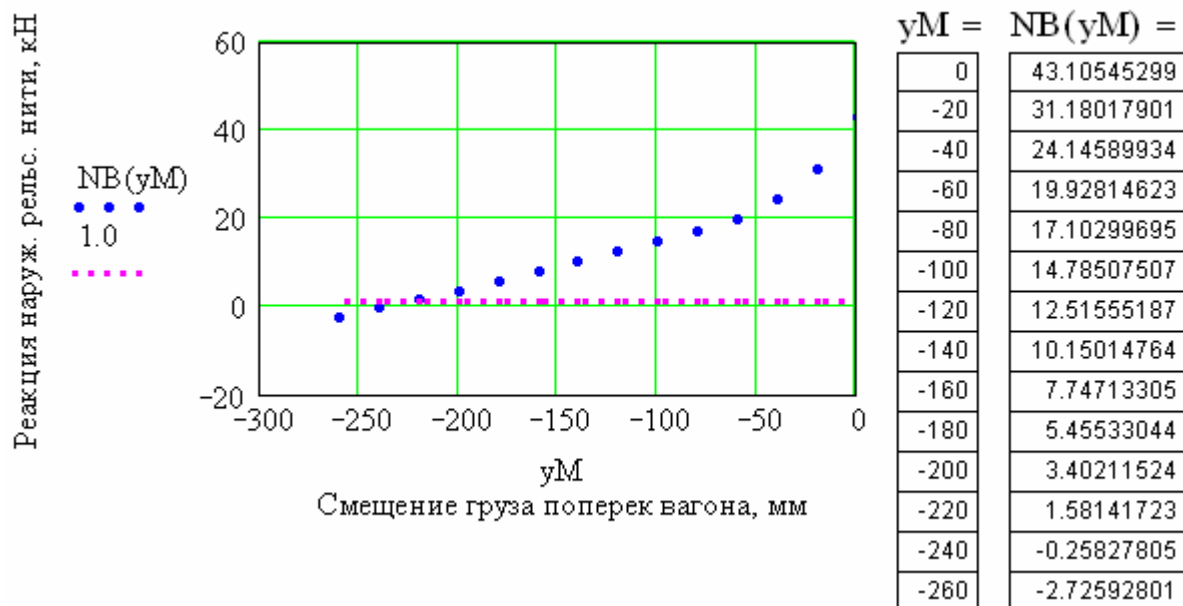


Рис. 5. Графическая зависимость $N_B = f(y_M)$

Анализируя полученные результаты исследований, можно отметить, что нормальные реакции связи в точках контакта колес с рельсами в зависимости от смещения центра тяжести груза поперек вагона, как в сторону наружной рельсовой нити, так и в сторону внутренней рельсовой нити изменяются по нелинейному закону. С увеличением смещения центра тяжести груза поперек вагона в сторону наружной рельсовой нити давление на наружную нить увеличивается, а на внутреннюю нить – уменьшается, а при смещении центра тяжести груза поперек вагона в сторону внутренней рельсовой нити – наоборот. Сила отжатия наружной рельсовой нити H_B при смещении центра тяжести груза поперек вагона в сторону наружной рельсовой нити увеличивается, что и логично.

Графические зависимости коэффициента устойчивости вагона с грузом представлены на рис. 6 и 7.

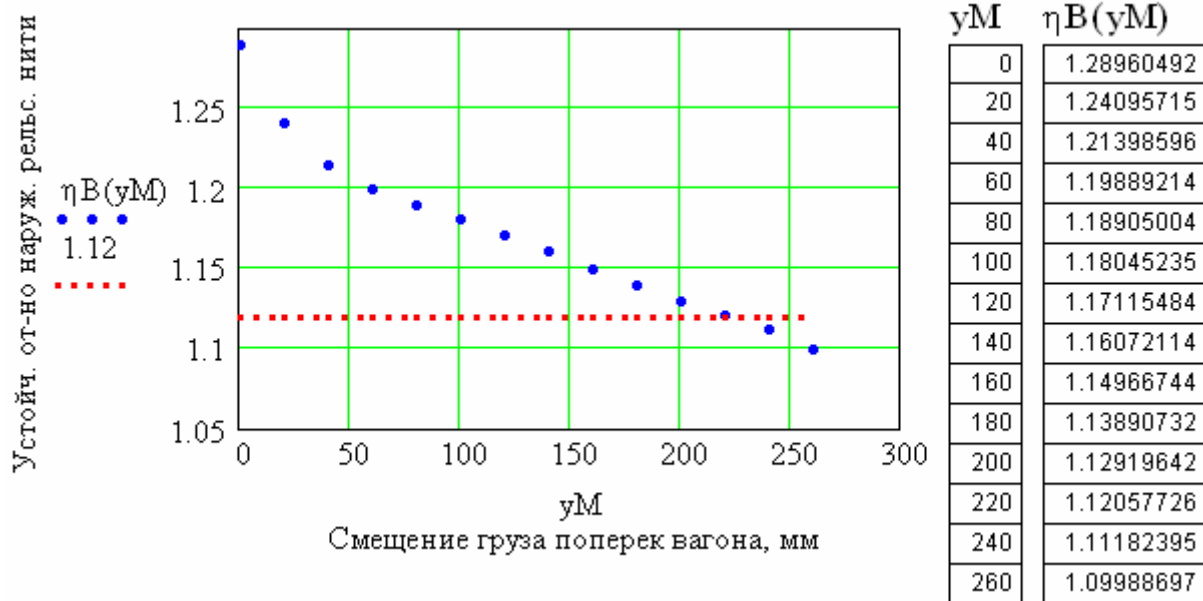


Рис. 6. Графическая зависимость $\eta_B = f(yM)$

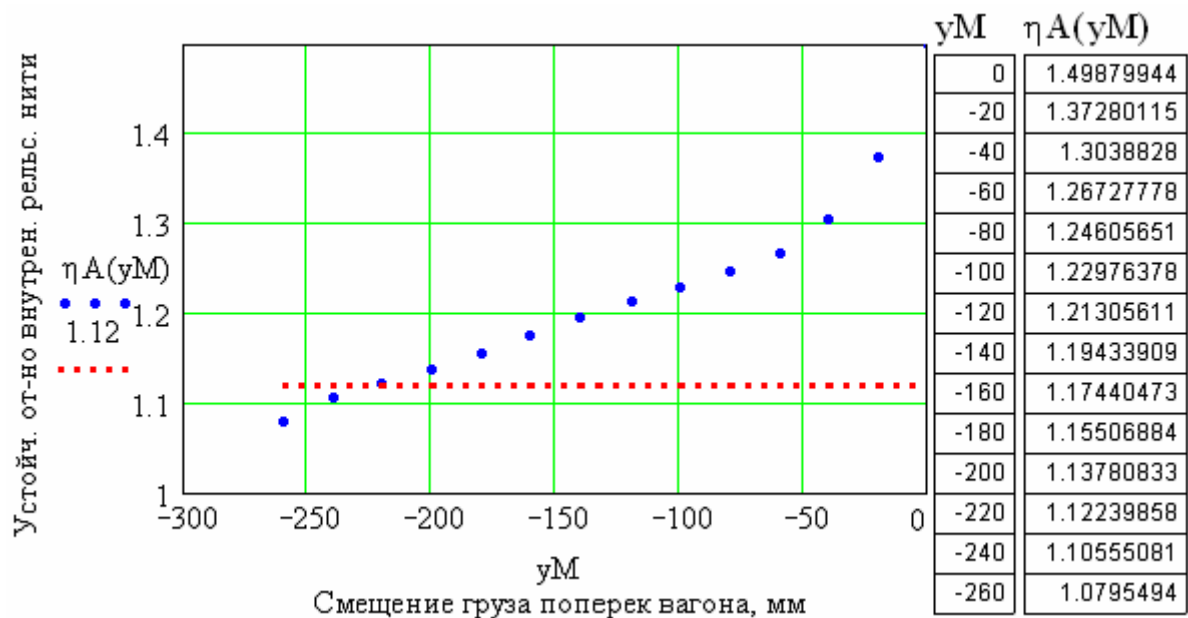


Рис. 7. Графическая зависимость $\eta_A = f(yM)$

Устойчивость вагона с грузом при смещении центра тяжести груза поперек вагона в сторону как наружной, так и внутренней рельсовой нити обеспечена до величины $yM < 220$ мм (см. также рис. 5, где $N_B < 0$). Результаты исследований при движении подвижного состава по кривому участку пути с радиусом кривизны $\rho = 1200$ м со скоростью $v = 22$ км/ч и ниже, что практически соответствует отсутствию влияния центробежной силы инерции ($\Phi_n < 1$ кН). Когда влияние бокового отбоя вагона компенсируется воздействием на вагон с грузом автосцепных устройств смежных вагонов ($\Phi_y = F_{ac}$) при $yM < 0$ давления колесных пар на внутренние рельсовые нити ($N_A = 255$ кН) в 2.2 раза больше, чем на наружную нить. Устойчивость вагона с грузом обеспечена ($\eta_B = 3,73$ и $\eta_A = 2,15$). Когда имеется воздействие

на вагон с грузом автосцепных устройств смежных вагонов, например, равного $F_{ac} = 103$ кН, что соответствует неблагоприятному случаю, показали, что при $yM < 0$ давления колесных пар на внутреннюю рельсовую нить $N_A = 383,8$ кН, а $N_B < 0$. Устойчивость вагона с грузом не обеспечена ($\eta_A = 0,89$).

В диссертации приводятся результаты вычисления нормальных реакций рельсовых нитей на колесные пары вагона N_A , N_B , H_B и коэффициентов устойчивости вагона с грузом η_A и η_B при вариации возвышения наружной рельсовой нити относительно внутренней Δh в пределах от 0,08 до 0,15 м с шагом 0,005 м. Анализ полученных результатов вычислительных экспериментов показал, что нормальные реакции связи в точках контакта колес с рельсами в зависимости от возвышения наружной рельсовой нити относительно внутренней на кривом участке пути изменяются по линейному закону. Причем, с увеличением возвышения давление колес на внутреннюю нить увеличивается, а на наружную – уменьшается. При заданных исходных данных выравнивание давлений колесных пар не достигается.

Особо следует отметить, что от увеличения смещения центра тяжести груза поперек вагона как в сторону наружной, так и в сторону внутренней рельсовой нити до расстояния 0.220 м значение коэффициента устойчивости находится на границе устойчивости (1.12). Таким образом, смещения центра тяжести груза поперек вагона до расстояния 0.220 м является *необходимым условием* размещения груза в вагоне.

В четвертом разделе диссертации «Математическое моделирование нагрузочных способностей гибких элементов креплений негабаритного груза при смещении общего центра тяжести поперек вагона» описана математическая модель, которая позволила бы непосредственно определить натяжения в гибких элементах креплений негабаритного груза, размещенного со смещением общего центра тяжести поперек вагона с учетом осадки комплектов пружин тележки вагона и наклона рамы вагона в сторону смещения общего центра тяжести груза. Математическая модель разработана по расчетной схеме расположения груза на открытом подвижном составе, которая предполагает известными геометрические и весовые параметры груза, количество и места расположения растяжек и другое. Требуется составить аналитические выражения для определения натяжений в гибких элементах креплений и других параметров груза.

Физическая модель размещения груза со смещением поперек вагона при движении подвижного состава по кривому участку пути, где показаны силы, воспринимаемые элементами креплений в виде поперечной и нормальной силы инерции и ветровой нагрузки, при движении подвижного состава по кривому участку пути такая же, как и на рис. 1.

Динамическая модель размещения и крепления негабаритного груза в вагоне, размещенного со смещением общего центра тяжести $\text{ЦТ}^0_{\text{гр}}$ относительно продольной оси вагона, соответственно, показаны на рис. 8.

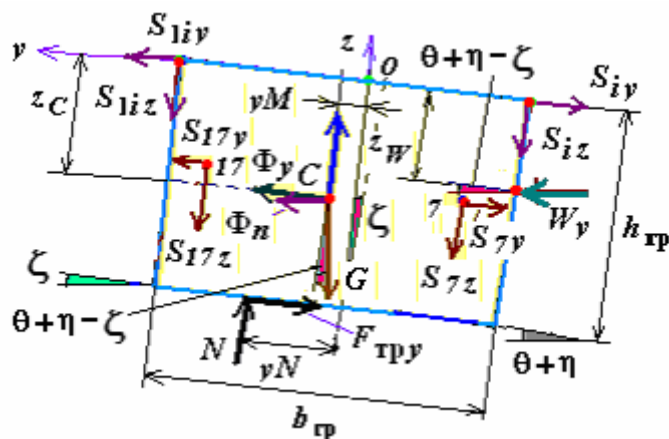
Допускаем, что координатная плоскость Oxy совпадает с *верхней* горизонтальной плоскостью груза, начало координатных осей находится на пересечении левой торцевой грани груза с продольной осью груза, размещенной на расстоянии y_M от оси симметрии вагона, а ось Oz направлена вверх.

Проекции веса груза на принятые оси координат (см. рис. 1 и 11) будут следующими

$$G_y = G \sin(\theta + \eta - \zeta); \quad G_z = G \cos(\theta + \eta - \zeta), \quad (6)$$

где G – вес груза, θ – угол, характеризующий возвышение наружной рельсовой нити относительно внутренней.

Рис. 8. Динамическая модель крепления негабаритного груза



Из формулы (6) очевидно, что смещение общего центра тяжести груза $\text{ЦТ}^0_{\text{гр}}$ в сторону внутренней рельсовой нити ($-y_M$) при одновременном действии поперечных сил инерции и ветровой нагрузки при движении поезда по кривому участку пути будет способствовать повышению нагрузочной способности гибких элементов креплений, поскольку в этом случае G_y будет как бы удерживающей силой, имеющей большее значение, нежели такая же сила, возникающая при смещении общего центра тяжести груза $\text{ЦТ}^0_{\text{гр}}$ в сторону наружной рельсовой нити ($+y_M$).

Исходные данные представлены в виде геометрических размеров гибких элементов креплений и координаты точки их закрепления к стоечным скобам вагона и монтажным петлям груза для определения *неизвестных* натяжений в этих элементах креплений S_i (например, $i = \overline{1, n}$ – количество таких элементов креплений), нормальной и касательной составляющей реакции связи N и $F_{\text{тpу}}$, которые приложены к точке с координатой y_N , *так же подлежащими нахождению*, совместно с *определяемыми* значениями малых, но возможных перемещений груза Δx по продольной оси Ox , Δy по оси Oy и его поворота $\Delta \phi$ вокруг оси Oz .

Задача решена составлением системы алгебраических уравнений с использованием проекций гибких элементов креплений на оси координат, которые могут быть решены методом итераций с использованием возможности вычислительной среды MathCAD, на основе которой разработана Программа для ЭВМ «Расчет натяжений в гибких элементах креплений негабаритного груза при смещении общего центра тяжести поперек вагона при движении поезда по кривому участку пути на спуск» (Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006612668 от 28.07.06

Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам [14]).

В пятом разделе диссертации «Исследование нагрузочных способностей гибких элементов креплений груза, размещенного со смещением поперек вагона» подробно изложены результаты вычислительных экспериментов по определению нагрузочных способностей гибких элементов креплений груза, размещенного в вагоне со смещением общего центра тяжести поперек вагона при движении поезда по кривому участку, выполненных в вычислительной среде MathCAD. Результатами вычислительных экспериментов, проведенных при различных смещениях центра тяжести груза поперек вагона в пределах $yM = \pm 290$ мм с шагом $\Delta yM = \pm 20$ мм, выявлено, что среди всех креплений, имеющих $\varnothing 6$ мм и число нитей 6, наиболее нагруженными от действий поперечных сил оказались, гибкие элементы 7 и 8 (17 и 18), расположенные перпендикулярно к боковым сторонам груза. В диссертации результаты этих исследований представлены в виде табличных данных. В связи с этим, рассмотрим характер изменения натяжений в гибком элементе крепления S_7 от смещения общего центра тяжести груза yM с весом 30 тс относительно продольной оси симметрии вагона на основе статистической обработки полученных табличных данных в среде MathCAD. Характер натяжений в гибком элементе крепления S_7 представлен в виде полиномиального уравнения регрессии

$$S_7(yM) = a_0 + a_1 yM + a_2 yM^2 + a_3 yM^3 + a_4 yM^4 + a_5 yM^5, \quad (7)$$

где a_0, a_1, \dots, a_5 - коэффициенты при многочленах, имеющих размерности соответственно в виде, кН, кН/мм, кН/мм², кН/мм³, кН/мм⁴, кН/мм⁵.

Графические зависимости $S_7 = f(yM)$ при смещении общего центра тяжести груза поперек вагона в сторону наружной и внутренней рельсовых нитей представлены, соответственно, на рис. 9 и 10.

Анализируя полученные результаты исследований по установлению зависимости $S_7 = f(yM)$, можно отметить, что вариация значений смещения общего центра тяжести негабаритного груза поперек вагона в сторону возвышения наружной рельсовой нити приводит к уменьшению натяжений в гибких элементах креплений по обратно параболическому характеру, а при смещении этого центра в сторону внутренней рельсовой нити, наоборот, к увеличению значений натяжений в этих элементах креплений. Такие факты объясняются тем, что при размещении груза со смещением общего центра тяжести поперек вагона в сторону возвышения наружной рельсовой нити элементы креплений, расположенные со стороны действия внешних сил, станут еще более пологими, а при размещении же груза со смещением этого центра в сторону внутренней рельсовой нити эти элементы креплений станут еще более крутыми.

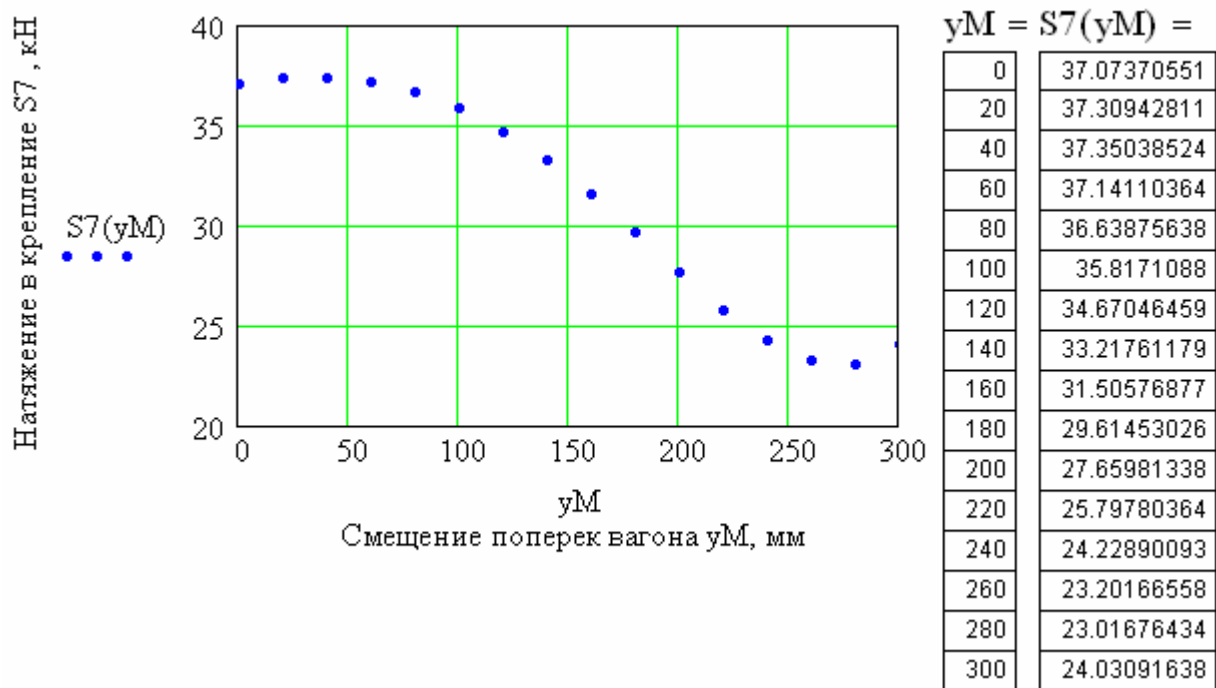


Рис. 9. Графические зависимости $S_7 = f(yM)$

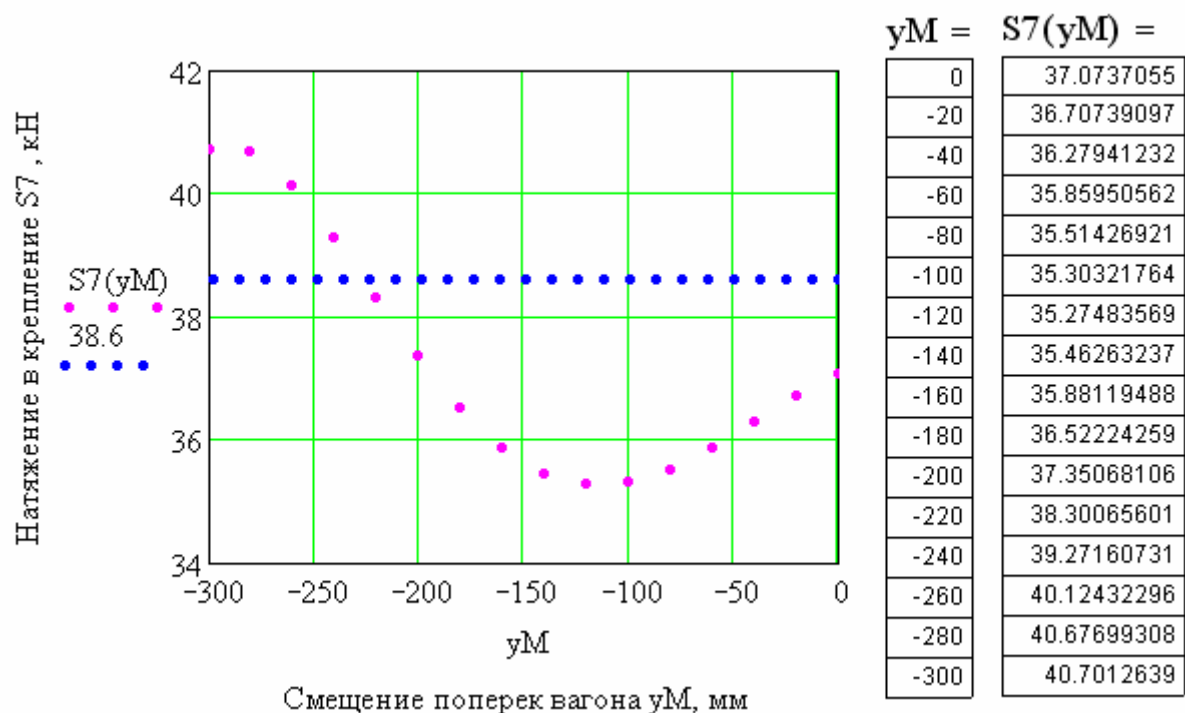


Рис.10. Графические зависимости $S_7 = f(yM)$

Особо отметим, что при смещении общего центра тяжести негабаритного груза в сторону внутренней рельсовой нити до $yM = -220$ мм значение натяжения в крутом гибком элементе крепления 7 находится в пределах допустимого, а свыше этой величины – превышает допустимое значение (38.7 кН). В связи с этим, для практики рекомендовано внести коррективы в табл.11 ТУ, где для веса груза 30 тс и высоте общего центра тяжести вагона

с грузом над УГР 2300 мм, допускаемое поперечное смещение общего центра тяжести груза в вагоне, должно быть равным 220 мм (вместо 290мм).

В связи с этим смещения центра тяжести груза поперек вагона до расстояния 0.220 м является *достаточным условием* размещения груза в вагоне.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Выведены аналитические формулы для определения давлений колесной пары вагона на рельсовые нити и устойчивости вагона с грузом от опрокидывания при движении поезда по кривым участкам пути с учетом несимметричного размещения негабаритного груза.

2. Результаты вычислительных экспериментов установлено, что нормальные реакции связи в точках контакта колес с рельсами в зависимости от смещения центра тяжести груза поперек вагона, как в сторону наружной рельсовой нити, так и в сторону внутренней рельсовой нити изменяются по нелинейному закону. С увеличением смещения центра тяжести груза поперек вагона в сторону наружной рельсовой нити давления на наружную нить увеличивается, а на внутреннюю нить – уменьшается, а при смещении центра тяжести груза поперек вагона в сторону внутренней рельсовой нити – наоборот.

3. Анализируя полученные результаты вычислительных экспериментов, можно отметить, что при заданных исходных данных в случае смещения центра тяжести груза поперек вагона y_M на 0,22 м в сторону рельсовой нити, установленной с возвышением, и действий поперечной силы инерции, равном 103 кН, нормальная реакция этой рельсовой нити достигает 368,57 кН (36,8 тс) (при $y_M = 0 - N_A = 65$, $N_B = 327,1$ кН). Реакция наружной рельсовой нити на гребень колес вагона равна 151,1 кН. Устойчивость вагона с грузом обеспечена $\eta_B = 1,12$; $\eta_A = 4,33$ кН (при $y_M = 0 - \eta_B = 1,29$ и $\eta_A = 4$).

4. Результаты исследований при движении подвижного состава по кривому участку пути с радиусом кривизны $\rho = 1200$ м со скоростью $v = 22$ км/ч и ниже, что практически соответствует отсутствию влияния центробежной силы инерции ($\Phi_n < 1$ кН). Когда влияние бокового отбоя вагона компенсируется воздействием на вагон с грузом автосцепных устройств смежных вагонов ($\Phi_y = F_{ac}$) при $y_M < 0$ давления колесных пар на внутренние рельсовые нити ($N_A = 255$ кН) в 2.2 раза больше, чем на наружную нить. Устойчивость вагона с грузом обеспечена ($\eta_B = 3,73$ и $\eta_A = 2,15$). Когда имеется воздействие на вагон с грузом автосцепных устройств смежных вагонов, например, равного $F_{ac} = 103$ кН, что соответствует неблагоприятному случаю, показали, что при $y_M < 0$ давления колесных пар на внутреннюю рельсовую нить $N_A = 383,8$ кН, а $N_B < 0$. Устойчивость вагона с грузом не обеспечена ($\eta_A = 0,89$).

5. Составлена обобщенная математическая модель гибких элементов креплений негабаритного груза, расположенного со смещением общего центра тяжести поперек вагона при движении подвижного состава по кривому участку пути.

6. Результатами вычислительных экспериментов установлено, что смещение общего центра тяжести негабаритного груза поперек вагона в сторону возвышения наружной рельсовой нити уменьшает величину натяжений в гибких элементах креплений груза, а такое же смещение в сторону внутренней рельсовой нити приводит к увеличению натяжений в креплениях.

7. При смещении общего центра тяжести негабаритного груза в сторону внутренней рельсовой нити до -220 мм значение натяжения в крутом гибком элементе крепления находится в пределах допустимого, а свыше этой величины – превышает допустимое значение (38.7 кН). В связи с этим, для практики рекомендовано внести коррективы в табл.11 ТУ, где для веса груза 30 тс и высоте общего центра тяжести вагона с грузом над УГР 2300 мм, допускаемое поперечное смещение общего центра тяжести груза в вагоне, должно быть равным 220 мм (вместо 290 мм).

8. Для практики дана рекомендация о том, что при разработке НТУ способа размещения и крепления груза на вагоне обязателен расчет натяжений в гибких элементах креплений с учетом несимметричного размещения общего центра тяжести негабаритного груза поперек вагона.

Таким образом, в диссертации содержится техническое решение актуальной прикладной задачи по оценке устойчивости вагона с грузом и моделированию нагруженности креплений при несимметричном размещении общего центра тяжести негабаритного груза поперек вагона, направленной на обеспечения безопасности движения поездов и сохранной перевозки грузов в пути следования.

Основное содержание диссертационного исследования опубликовано в следующих научных работах:

1. Туранов Х.Т., Ситников С.А. Моделирование нагруженности рельсовой колеи при несимметричном размещении общего центра тяжести негабаритного груза поперек вагона // Транспорт Урала. – 2007. – №1. – С. 97 - 104.

2. Ситников С.А. О креплениях размещенных со смещением поперек вагона груза при движении поезда по кривому участку пути // Материалы шестой научн. – практич. конф. «Безопасность движения поездов». – М.: МИИТ, 2005. – С. I – 34.

3. Ситников С.А. О влиянии профиля кривого участка пути на грузозночную способность креплений груза // Материалы шестой научн. – практич. конф. «Безопасность движения поездов». – М.: МИИТ, 2005. – С. I – 35.

4. Ситников С.А. Моделирование нагруженности рельсовой колеи при действии на вагон с грузом поперечных сил при движении поезда по кривому участку пути // Материалы шестой научн. – практич. конф. «Безопасность движения поездов». – М.: МИИТ, 2005. – С. I–36.

5. *Ситников С.А.* О нагрузочной способности комплектов пружин тележек вагона от действия веса механической системы «груз–рама вагона–надрессорная балка» с учетом волны неровности пути // Материалы 44-ой Всеросс. научн. – практич. конф. «Современные технологии – железнодорожному транспорту и промышленности». – Хабаровск: ДВГУПС, 2006. Т.3. – С. 199–203.

6. *Ситников С.А.* Исследование нагруженности рельсовой колеи при одновременном действии на вагон с грузом центробежной силы и ветровой нагрузки при движении поезда по кривому участку пути // Материалы научн. – практич. конф. «Повышение эффективности работы путевого хозяйства и инженерных сооружений железных дорог». – Екатеринбург: УрГУПС, 2006. – С. 81–94.

7. *Ситников С.А.* Исследование влияние смещения общего центра тяжести негабаритного груза на натяжения элементов креплений // Материалы VII междунар. научн. – конф. «Кибернетика и технологии XXI века». – Воронеж: ВГТУ, 2006. Т.1. – С. 181–190.

8. *Ситников С.А.* К определению натяжений в гибких элементах креплений размещенного со смещением общего центра тяжести негабаритного груза поперек вагона // Материалы VII междунар. научн. – конф. «Кибернетика и технологии XXI века». – Воронеж: ВГТУ, 2006. Т.1. – С. 191–197.

9. Туранов Х.Т., Власова Н.В., *Ситников С.А.* Моделирование нагруженности рельсовой колеи при действии на вагон с грузом поперечных сил при движении поезда по кривому участку пути // Материалы научн. – практич. конф. «Повышение эффективности работы путевого хозяйства и инженерных сооружений железных дорог». – Екатеринбург: УрГУПС, 2006. – С. 73–80.

10. Туранов Х.Т., *Ситников С.А.* Исследование влияния возвышения наружного рельса на натяжения в креплениях при движении поезда по кривому участку пути // Материалы 44-ой Всеросс. научн. – практич. конф. «Современные технологии – железнодорожному транспорту и промышленности». Хабаровск: ДВГУПС, 2006. Т.3. – С. 223–229.

11. Туранов Х.Т., Власова Н.В., *Ситников С.А.* Моделирование нагруженности рельсовой колеи при несимметричном размещении общего центра тяжести негабаритного груза поперек вагона // Материалы VII междунар. научн. – конф. «Кибернетика и технологии XXI века». – Воронеж: ВГТУ, 2006. Т.1. – С. 208–216.

12. Туранов Х.Т., *Ситников С.А.*, Рыков А.Л. Математическое описание системы «груз– крепление – вагон – путь» при одновременном действии на нее продольных и поперечных сил // Материалы Междунар. научн.–практич. конф. «Наука, техника, высшее образование: проблемы и тенденции развития». – Ростов на Дону: Изд-во Рост. ун-та, 2006. Вып.2. – С. 154–163.

13. Туранов Х.Т., Бондаренко А.Н., Власова Н.В., *Ситников С.А.*, Белкина Н.С., Молчанова О.В. Программа для ЭВМ «Расчет усилий в гибких элементах креплений груза на открытом железнодорожном подвижном составе». Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006612566 от 20.07.06 Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам по заявке №2006611732 от 26.05.2006.

14. Туранов Х.Т., Бондаренко А.Н., Власова Н.В., *Ситников С.А.*, Белкина Н.С., Молчанова О.В. Программа для ЭВМ «Расчет усилий в гибких элементах креплений груза с плоским основанием при движении поезда по прямому и кривому участку пути под уклон». Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006612567 от 20.07.06 Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам по заявке №2006611733 от 26.05.2006.

15. Туранов Х.Т., *Ситников С.А.*, Рыков А.Л., Рыкова Л.А. Программа для ЭВМ «Расчет натяжений в гибких элементах креплений негабаритного груза при смещении общего центра тяжести поперек вагона при движении поезда по кривому участку пути на спуск». Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006612668 от 28.07.06 Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам по заявке №2006611780 от 31.05.2006.

16. Туранов Х.Т., *Ситников С.А.* Программа для ЭВМ «Расчет давлений колесных пар вагона на рельсовые нити при смещении общего центра тяжести груза поперек вагона при движении поезда по кривому участку пути». Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006612900 от 11.07.08 Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам по заявке №2006611940 от 13.06.2006.

17. Туранов Х.Т., *Ситников С.А.*, Рыков А.Л., Рыкова Л.А. Программа для ЭВМ «Расчет параметров креплений негабаритного груза по техническим условиям размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах». Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006611869 от 20.10.06 Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам по заявке №2006611869 от 07.06.2006.

18. Туранов Х.Т., *Ситников С.А.* Депонированная рукопись статьи «Расчет давлений колесных пар вагона на рельсовые нити в системе «путь–вагон–груз»» / Уральский государственный университет путей сообщения. – Екатеринбург, 2006. – 12 с. – Библиография: 3 назв. – Рус. – Деп. В ВИНТИ 01.11.2006 № 1297-В2006.

19. *Ситников С.А.*, Даусеитов Е.Б. Расчет элементов креплений несимметрично размещенного негабаритного груза // Материалы Междунар. научн. – практич. конфер. «Наука, инновации и образование: актуальные про-

блемы развития транспортного комплекса России». – Екатеринбург: УрГУПС, 2006. – С. 364-365.

20. Туранов Х.Т., Тимухина Е.Н., *Ситников С.А.* Крепления неисметрично размещенных грузов на открытом подвижном составе // Материалы Междунар. научн. – практич. конфер. «Наука, инновации и образование: актуальные проблемы развития транспортного комплекса России». – Екатеринбург: УрГУПС, 2006. – С. 372-373.

21. Туранов Х.Т., *Ситников С.А.*, Рыков А.Л., Волков Д.В. Программа для ЭВМ «Расчет параметров гибких элементов креплений по допускаемым значениям перемещений груза вдоль и поперек вагона и по принятым значениям количества креплений в зависимости от веса груза». Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2006613890 от 13.11.2006 Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам по заявке №2006613170 от 21.09.2006 г.

22. Туранов Х.Т., *Ситников С.А.*, Волков Д.А. Результаты вычислительных экспериментов по оценке совместного влияния углового ускорения от боковой качки и галопирования вагона с грузом на перемещения груза и натяжения гибких элементов креплений / Материалы IV Всерос. научн.-техн. конф. «Политранспортные системы (Транспортные системы Сибири)». В 2-х частях. Ч. I. – Красноярск: КГТУ, 2006. – С. 288-298.

СИТНИКОВ СЕРГЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ

**ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ВАГОНА С ГРУЗОМ
СО СМЕЩЕННЫМ ЦЕНТРОМ ТЯЖЕСТИ**

Специальность 05.22.08 – Управление процессами перевозок

Подписано к печати 06.04. 2007 г.

Формат 60X86 1/16

Объем 1.5 п.л.

Заказ

Тираж 100 экз.

Типография УрГУПС, 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66