

593

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ  
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
ИМЕНИ М.И.КАЛИНИНА

На правах рукописи

БУТЕНКО Станислав Григорьевич

ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛОКОМОТИВА  
С ПНЕВМАТИЧЕСКИМИ РЕССОРАМИ ПРИ ИХ РАЗГЕРМЕТИЗАЦИИ  
В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Специальность

05.22.07 – подвижной состав и тяга поездов

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Днепропетровск  
1982

НТБ  
ДНУЖТ

Работа выполнена в Одесском институте инженеров железнодорожного транспорта

Научный руководитель—

Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор Пахомов Михаил Прокопьевич

Официальные оппоненты—

доктор технических наук, профессор Грачева Любовь Осиповна  
кандидат технических наук Завт Борис Самуилович

Ведущее предприятие —

Главное управление локомотивного хозяйства МПС

Защита состоится 24 июня 1982 года в 13<sup>30</sup> часов на заседании специализированного совета К П4.07.01 при Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта им. М.И.Калинина

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института

Автореферат разослан "21" июня 1982 года

~~Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью,~~

просим нап

г. Днепропет

Поверните книгу не позднее  
зазначеного термину

Учен  
специализир  
кандидат те

© Днепр  
трансп


МП. Зам. 43 - 4000 тис.

НТБ  
ДНУЖТ

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Полное удовлетворение потребностей народного хозяйства и населения в перевозках является важнейшей задачей, которая определена решениями XXVI съезда КПСС по железнодорожному транспорту на 1981-1985 годы и на период до 1990 года.

Увеличение пропускной и провозной способностей железных дорог связано с дальнейшим совершенствованием подвижного состава, повышением требований к его экипажной части.

Внедрение пневматического рессорного подвешивания, эффективная работа которого подтверждена отечественной и зарубежной практикой, требует разработки средств, обеспечивающих безопасность движения локомотива или вагона в любых экстремальных режимах.

Значимость таких исследований возрастает для подвижного состава, эксплуатируемого в условиях Сибири и Дальнего Востока, где в зимнее время жесткость рельсового основания возрастает в 3-5 раза.

С 1972 года ОмИИТ выполняет комплексные исследования по созданию пневматического подвешивания без подпитки сжатым воздухом для буксовой ступени электровозов. Создание амортизирующих устройств, обладающих ограниченными размерами и весом, обеспечивающих безопасное следование локомотива до ближайшего пункта смены или ремонта при частичной или полной потере герметичности пневматических рессор, является важной частью этих работ.

Цель работы заключается в совершенствовании рессорного подвешивания локомотивов для повышения скоростей, обеспечения безопасной и надежной работы. В соответствии с этим поставлены следующие задачи:

классификация вариантов разгерметизации, возможные в конструкции пневматического подвешивания;

разработка математической модели локомотива как механической системы в аварийном режиме;

создание методики анализа и оценки переходных и установившихся процессов, теоретические исследования динамических качеств системы;

натурные испытания электровоза с пневматическим подвешиванием при отключении одного или нескольких элементов;

разработка технических средств и мер, гарантирующих безопасность при эксплуатации локомотива с пневморессорами.

Метод исследования. В диссертации использован теоретико-экспериментальный подход: математическая модель составлена на основании уравнений Лагранжа II рода; алгоритм анализа динамических процессов в системе при возникновении аварийного режима реализуется на ЭЦМ; пассивный эксперимент на натурном объекте проведен в эксплуатационных условиях.

Научная новизна заключается в разработке способа количественной и качественной оценки перераспределения сил в системе "локомотив-путь" при неисправности рессорного подвешивания.

Создана и обоснована расчетная схема электровоза ВЛ60 на пневморессорах как системы с 33-мя степенями свободы;

даны аналитические представления нелинейных характеристик упруго-диссипативных связей различного назначения;

выполнена оценка максимальных смещений метельника, оси авто-сцепки, распределения нагрузок по колесам, уровня динамического воздействия на путь в переходном процессе;

проведен анализ динамического воздействия на путь в переходном процессе;

проведен анализ динамических показателей локомотива в установившемся движении ;

предложен способ оценки коэффициента запаса устойчивости против вылезания колеса на рельс с учетом времени действия сил.

Практическая ценность. В основу диссертационной работы по-

жены материалы научных исследований, проводимых ОмИИТом в соответствии с приказами МПС в течение восьми лет. Автором разработана конструкция резинового буфера, обосновано место его установки на тележке локомотива, проведена экспериментальная проверка его работоспособности имитацией аварийного режима на натурном объекте.

Внедрение результатов работы. Рекомендации, представленные на основании теоретических исследований, внедрены в конструкцию пневматического подвешивания буксовой ступени опытных электровозов ВЛ60-726, ВЛ60-813 на Красноярской железной дороге.

Последний модернизирован на Новосибирском электровозоремонтном заводе в 1981 году в соответствии с указанием МПС по разработке и внедрению новой техники и передовой технологии № А-2700 от 17 января 1980 года и проходит эксплуатационные испытания в депо Боготол.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались:

на научно-практической конференции, посвященной 50-летию электрификации железных дорог СССР, Омск, 1976 г.

на научно-технической конференции "Основные направления и задачи научно-исследовательских работ по обеспечению прочности и динамических качеств перспективных тепловозов", Коломна, 1977 г. ;

на научно-практической конференции "Повышение эффективности и качества технологии перевозочного процесса на Омском отделении железной дороги", локомотивное депо Мокровка, 1980 г. ;

на XXX научно-технической конференции ОмИИТа, Омск, 1980 г. ;

на научно-техническом совете Красноярской железной дороги ;  
Красноярск, 1981 г.

на городском семинаре по механике в ДИИТе, Днепропетровск, 1981 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано шесть статей.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы. Объем диссертации 141 с., в том числе 39 рис. и 14 табл.

### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность проблемы и целесообразность решения вопросов по обеспечению безопасности при движении локомотива на пневматических рессорах при их разгерметизации.

В первой главе выполнен обзор исследований по применению пневматического подвешивания на железнодорожном подвижном составе и немногочисленных работ, посвященных безопасной эксплуатации транспортного объекта в аварийном режиме.

Отечественный и зарубежный опыт создания и внедрения в практику пневматических амортизаторов подтверждает их преимущества и перспективность.

Разработкой и испытанием пневмосистем на локомотивах и вагонах занимаются научные коллективы ВНИИВа, ВНИИШТа, ВНИТИ, ХПИ, ОмИИТа ДИИЖТа, ДИИТа, НИКТИ шинной промышленности (г. Омска), локомотиво- и вагоно-строительных заводов (гг. Ворошиловград, Коломна, Лядиново, Рига, Москва).

Поиски наилучших вариантов применения пневморессор в тележках, существующих и вновь создаваемых, привели к их многообразию. Автором проведены их классификация и подробный анализ результатов натурных испытаний.

В известной зарубежной литературе исследования аварийных режимов работы рессорного подвешивания не нашли достаточного освещения. В нашей отрасли коллективы, разрабатывающие средства виброзащиты на основе резинокордных упругих элементов, проводят опыты с имитацией экстремальных ситуаций. Таким испытаниям подвергались тепловозы ТЭ7, ТМЗБ, 2ТЭ10Л на тракционных путях со скоростями

до 65 км/ч.

Эксперименты с конкретной рессорной системой не позволяли сделать обобщения их результатов, а методика постановки и решения подобной задачи отсутствовала.

Научные разработки ОмИИТа, выполненные в этом направлении, дали возможность предложить обобщенную модель, алгоритм анализа и провести натурные испытания электровоза с пневморессорами при различных аварийных режимах и скоростях движения до 100 км/ч.

В заключении главы сформулированы цель и задачи данной работы.

Во второй главе рассмотрены различные варианты разгерметизации пневматической системы подвешивания электровоза ВЛ60, выбраны три наиболее характерные из них. При этом считается, что остальное их многообразие представляет сочетание принятых за основу.

Обоснована и составлена расчетная схема исследуемого объекта как пространственной механической системы с 33-мя степенями свободы. Приняты следующие предпосылки:

газодинамические процессы в элементах происходят по адиабатическому закону;

распределение давления воздуха в системе "пневмоэлемент-трубопровод-дополнительный резервуар" считается мгновенным;

воздействие со стороны пути детерминированное;

инерционность пути не учитывается;

жесткости корда, буферов, вертикальных ограничителей постоянны.

Особенностью изучаемых динамических процессов является то, что при частичной или полной потере герметичности, нарушается равновесие системы. Происходит перераспределение статических нагрузок между колесами, опорами кузова и тележек. Колебания такого локомотива при его движении происходят относительно вновь установившегося равновесия и сложны. Наибольший интерес представляет переходный процесс.

Дифференциальные уравнения, описывающие пространственные коле-

НТБ  
ДНУЖТ

базис локомотива на пневматическом подвешивании, имеют вид

$$M_K \ddot{Z}_K + \sum_{i'=1}^4 [K_1 \Delta \delta_{i'} + K_2 \Delta \psi_{i'} + P_{0r}(\Delta i') + \beta_{\psi} \dot{\Delta} \psi_{i'} - F_{0r}(\dot{\Delta} i', \Delta i')] - M_K \cdot g = 0$$

$$J_{Ky} \ddot{\varphi}_K + \sum_{i'=1}^4 [K_1 c_{i'} \Delta \delta_{i'} + K_2 E_{i'} \Delta \psi_{i'} + c_{1i'} P_{0r}(\Delta i') + \beta_{\psi} E_{i'} \dot{\Delta} \psi_{i'} + c_{1i'} F_{0r}(\dot{\Delta} i', \Delta i')] = 0;$$

$$J_{Kx} \ddot{\psi}_K + \sum_{i'=1}^4 [-K_1 A_{i'} \Delta \delta_{i'} - A_{1i'} P_{0r}(\Delta i') - A_{1i'} F_{0r}(\dot{\Delta} i', \Delta i')] = 0;$$

$$m_T \ddot{Z}_{T1} + \sum_{i'=1}^2 [P_{0r}(\Delta i') - K_1 \Delta \delta_{i'} - K_1 \Delta \delta_{i'} - K_2 \Delta \psi_{i'}] - \sum_{k=1}^4 \sum_{i=1}^3 \left\{ (1 - b_{ik}) P_{0\delta}(\Delta_{ik}) + \beta_{ik} Q(\Delta_{ik}) \right\} - \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^3 [P_{\delta}(\delta_{ji}) + F_{\delta}(\delta_{ji}, \delta_{ji})] - \sum_{i=1}^2 [\beta_{\psi} \dot{\Delta} \psi_{i'} - F_{0r}(\dot{\Delta} i', \Delta i')] - \sum_{k=1}^4 \sum_{i=1}^3 [(1 - b_{ik}) F_{0\delta}(\dot{\Delta}_{ik}, \Delta_{ik}) + \beta_{\text{пэ}b_{ik}} \dot{\Delta}_{ik}] - m_T \cdot g = 0;$$

$$m_T \ddot{Z}_{T2} + \sum_{i'=3}^4 [P_{0r}(\Delta i') - K_1 \Delta \delta_{i'} - K_2 \Delta \psi_{i'} - \beta_{\psi} \dot{\Delta} \psi_{i'} + F_{0r}(\dot{\Delta} i', \Delta i')] -$$

$$\sum_{k=1}^4 \sum_{i=4}^6 [(1 - b_{ik}) P_{0\delta}(\Delta_{ik}) + \beta_{ik} Q(\Delta_{ik}) + (1 - b_{ik}) F_{0\delta}(\dot{\Delta}_{ik}, \Delta_{ik}) +$$

$$+ \beta_{\text{пэ}b_{ik}} \dot{\Delta}_{ik}] - \sum_{j=1}^2 \sum_{i=4}^6 [P_{\delta}(\delta_{ij}) + F_{\delta}(\delta_{ij}, \delta_{ij})] - m_T \cdot g = 0$$

$$J_{Ty} \ddot{\varphi}_{T1} + \sum_{i'=1}^2 [B_{i'} K_1 \Delta \delta_{i'} + K_{i'} K_{i'} \Delta \psi_{i'} + \beta_{\psi} K_{i'} \dot{\Delta} \psi_{i'} + B_{1i'} P_{0r}(\Delta i') + B_{1i'} F_{0r}(\dot{\Delta} i', \Delta i')] +$$

$$+ \sum_{k=1}^4 \sum_{i=1}^3 [N_{ik} \{ (1 - b_{ik}) P_{0\delta}(\Delta_{ik}) + \beta_{ik} Q(\Delta_{ik}) + (1 - b_{ik}) F_{0\delta}(\dot{\Delta}_{ik}, \Delta_{ik}) +$$

$$+ \beta_{\text{пэ}b_{ik}} \dot{\Delta}_{ik} \}] + \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^3 [R_{ij} \{ P_{\delta}(\delta_{ij}) + F_{\delta}(\delta_{ij}, \delta_{ij}) \}] = 0;$$

$$J_{Ty} \ddot{\varphi}_{T2} + \sum_{i'=3}^4 [B_{i'} K_1 \Delta \delta_{i'} + K_{i'} (K_2 \Delta \psi_{i'} + \beta_{\psi} \dot{\Delta} \psi_{i'}) + B_{1i'} \{ P_{0r}(\Delta i') + F_{0r}(\dot{\Delta} i', \Delta i') \}] +$$

$$+ \sum_{k=1}^4 \sum_{i=4}^6 [N_{ik} \{ (1 - b_{ik}) P_{0\delta}(\Delta_{ik}) + \beta_{ik} Q(\Delta_{ik}) + (1 - b_{ik}) F_{0\delta}(\dot{\Delta}_{ik}, \Delta_{ik}) +$$

$$+ \beta_{\text{пэ}b_{ik}} \dot{\Delta}_{ik} \}] + \sum_{j=1}^2 \sum_{i=4}^6 [R_{ij} \{ P_{\delta}(\delta_{ij}) + F_{\delta}(\delta_{ij}, \delta_{ij}) \}] = 0;$$

НТБ  
ДНУЖТ

$$\begin{aligned} & \dot{J}_{Tx} \ddot{\Psi}_{T1} + \sum_{i'=1}^2 [A_{i'} \mathcal{K}_i \Delta \delta_{i'} + A_{i'} \{P_{0r}(\Delta_{i'}) + F_{0r}(\Delta_{i'}, \Delta_{i'})\}] - \sum_{k=1}^4 \sum_{i=1}^3 [H_{ik} \{ (1 - \\ & - \beta_{ik}) P_{0\delta}(\Delta_{ik}) + \beta_{ik} Q(\Delta_{ik}) + (1 - \beta_{ik}) F_{0\delta}(\Delta_{ik}, \Delta_{ik}) + \beta_{n\delta} \beta_{ik} \dot{\Delta}_{ik} \}] \\ & - \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^3 [S_{ij} \{P_{\delta}(\delta_{ij}) + F_{\delta}(\delta_{ij}, \delta_{ij})\}] = 0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \dot{J}_{Tx} \ddot{\Psi}_{T2} + \sum_{i'=3}^4 [A_{i'} \mathcal{K}_i \Delta \delta_{i'} + A_{i'} \{P_{0r}(\Delta_{i'}) + F_{0r}(\Delta_{i'}, \Delta_{i'})\}] - \sum_{k=1}^4 \sum_{i=4}^6 [H_{ik} \{ (1 - \\ & - \beta_{ik}) P_{0\delta}(\Delta_{ik}) + \beta_{ik} Q(\Delta_{ik}) + (1 - \beta_{ik}) F_{0\delta}(\Delta_{ik}, \Delta_{ik}) + \beta_{n\delta} \beta_{ik} \dot{\Delta}_{ik} \}] - \\ & - \sum_{j=1}^2 \sum_{i=4}^6 [S_{ij} \{P_{\delta}(\delta_{ij}) + F_{\delta}(\delta_{ij}, \delta_{ij})\}] = 0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & m_{kn} \ddot{Z}_i + \sum_{k=1}^4 [(1 - \beta_{ik}) P_{0\delta}(\Delta_{ik}) + \beta_{ik} Q(\Delta_{ik})] + \sum_{j=1}^2 [P_{\delta}(\delta_{ij}) - P_n(\Delta_{nij})] + \\ & + \sum_{k=1}^4 [(1 - \beta_{ik}) F_{0\delta}(\Delta_{ik}, \Delta_{ik}) + \beta_{n\delta} \beta_{ik} \dot{\Delta}_{ik}] + \sum_{j=1}^2 [F_{\delta}(\delta_{ij}, \delta_{ij}) - \beta_n \dot{\Delta}_{nij}] - m_{kn} g = 0 \end{aligned}$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, 6$$

$$\begin{aligned} & J_x \ddot{\Psi}_i + \sum_{k=1}^4 [H_{ik} \{ (1 - \beta_{ik}) P_{0\delta}(\Delta_{ik}) + \beta_{ik} Q(\Delta_{ik}) + (1 - \beta_{ik}) F_{0\delta}(\Delta_{ik}, \Delta_{ik}) + \\ & + \beta_{n\delta} \beta_{ik} \dot{\Delta}_{ik} \}] + \sum_{j=1}^2 [S_{ij} \{P_{\delta}(\delta_{ij}) - P_n(\Delta_{nij}) + F_{\delta}(\delta_{ij}, \delta_{ij}) - \beta_n \dot{\Delta}_{nij}\}] = 0; \end{aligned}$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, 6;$$

$$\begin{aligned} & J_{\delta y} \ddot{\Psi}_{\delta i1} + \sum_{k=1}^2 [G_{ik} \{ (1 - \beta_{ik}) [P_{0\delta}(\Delta_{ik}) + F_{0\delta}(\Delta_{ik}, \Delta_{ik})] + \\ & + \beta_{ik} [Q(\Delta_{ik}) + \beta_{n\delta} \dot{\Delta}_{ik}] \}] = 0; \quad i = 1, 2, 3, \dots, 6; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & J_{\delta y} \ddot{\Psi}_{\delta i2} + \sum_{k=3}^4 [G_{ik} \{ (1 - \beta_{ik}) [P_{0\delta}(\Delta_{ik}) + F_{0\delta}(\Delta_{ik}, \Delta_{ik})] + \\ & + \beta_{ik} [Q(\Delta_{ik}) + \beta_{n\delta} \dot{\Delta}_{ik}] \}] = 0; \quad i = 1, 2, 3, 4, 5, 6; \end{aligned}$$

Введение параметра  $\beta_{ik}$  позволяет использовать данную математическую модель для исследования всевозможных аварийных режимов. Условие  $\beta_{ik} = 1$  соответствует исправной пневморессоре и  $\beta_{ik} = 0$  пневматическому элементу, вышедшему из строя.

Последовательность вопросов, решаемых с использованием предлагаемой методики, можно характеризовать по этапам:

первый заключается в переходе системы от равновесия при исправном подвешивании к новому равновесному состоянию в аварийном режиме. Наиболее ценная информация может быть получена при анализе переходных процессов, продолжительность которых связана с временем изменения нагрузки на колесах.

На втором этапе важной частью исследований является установление допустимой скорости безопасного движения локомотива.

В третьей главе представлен анализ аварийных режимов электровоза ВЛ60 на пневматическом подвешивании. При этом выполнена оценка максимальных смещений оси автосцепки  $\Delta_A$  и отклонений вазора между метельником и головкой рельсов  $\Delta_M$  от нормативных значений (рис. I).

Наибольшее значение  $\Delta_M$  и  $\Delta_A$  достигает в случае выхода из строя пневморессор на всей стороне тележки (вариант 7). Величина  $\Delta_M$  не превышает нормативного размера, а  $\Delta_A$  имеет предельные значения в течении 0,3 с. Поэтому можно считать, что с точки зрения этих параметров движение локомотива в рассматриваемых аварийных режимах является безопасным.

Анализ расчетных данных показал, что при варианте I тележка не опускается на буферы, а в качестве упругой связи работает резинокордная оболочка. Зазор в вертикальном ограничителе полностью не выбирается.

Второй вариант характерен тем, что вступает в работу как оболочки разгерметизированных элементов, так и резиновый буфер

$\Delta M, \Delta A,$   
 $\cdot 10^{-3}$   
 $M$

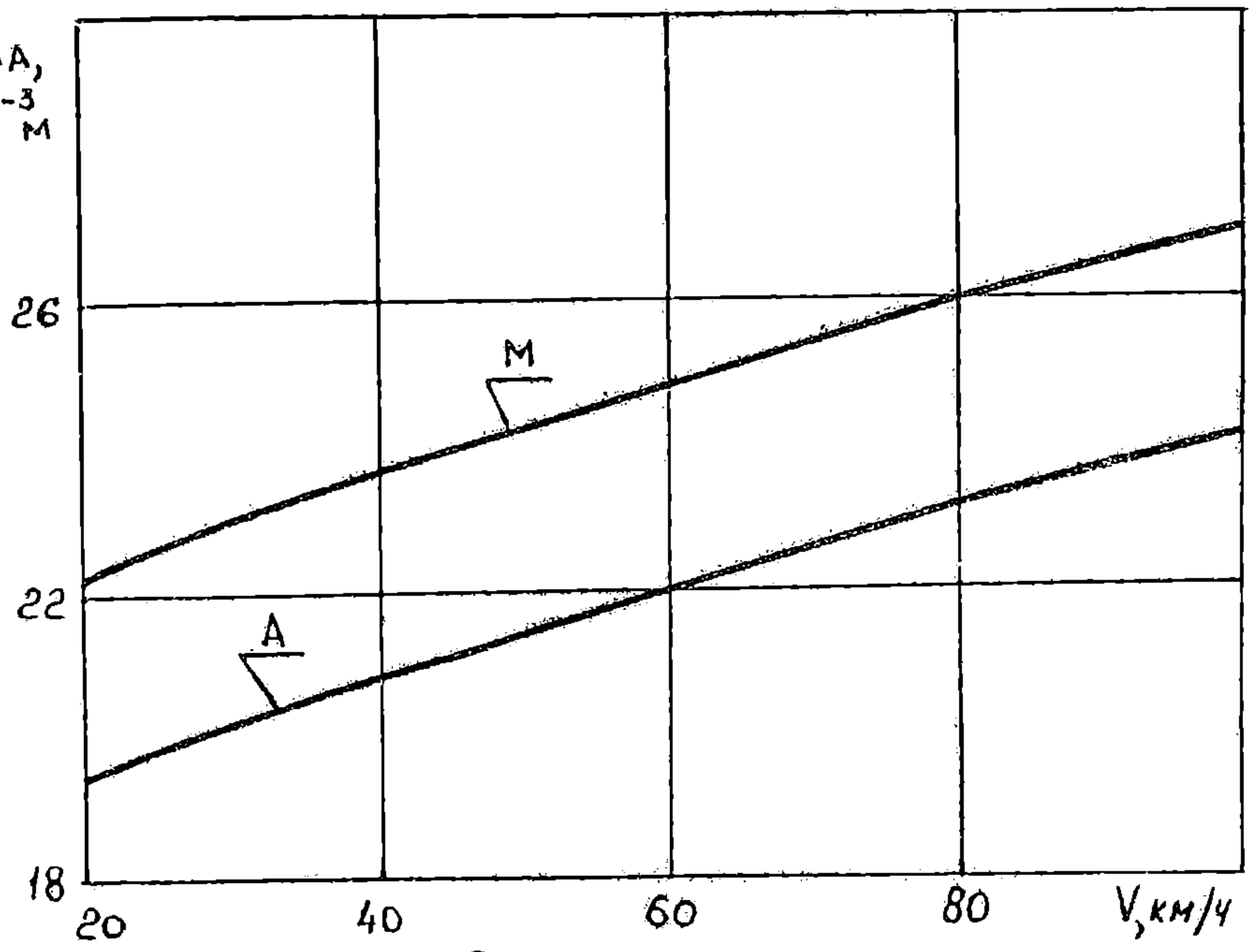


Рис. 1.

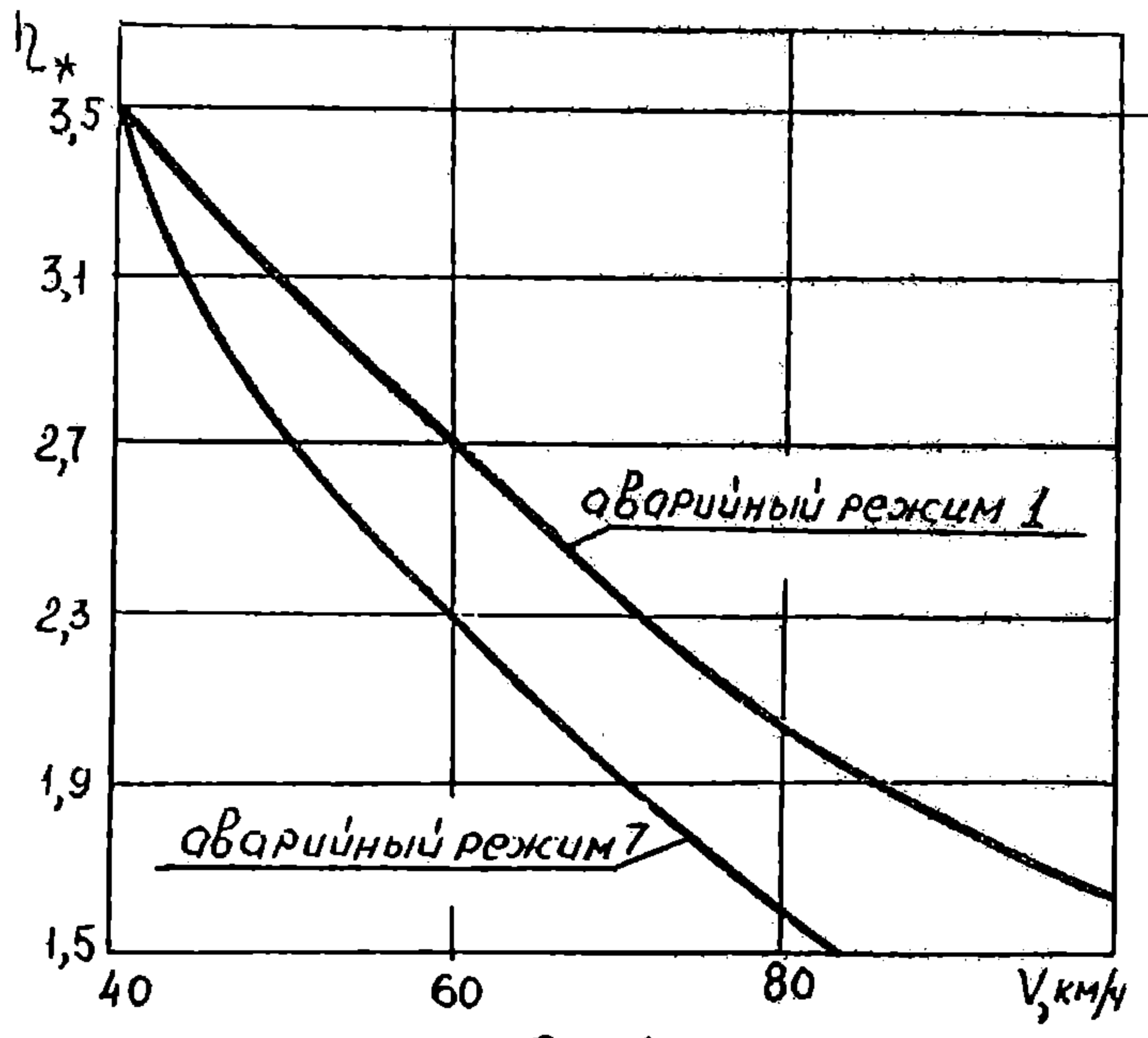


Рис. 2.  
II

НТБ  
ДНУЖТ

ностью не выбирается.

Второй вариант характерен тем, что вступают в работу как оболочки разгерметизированных элементов, так и резиновый буфер первой колесной пары. Причем, последний включается только при прохождении стыков. Наибольшую нагрузку несет оболочка рессоры, потерявшей герметичность. В седьмом варианте оболочки аварийных рессор в работе не участвуют. Тележка полностью опускается на буфер. При этом происходит опирание кузова на ограничитель хода, установленный над стороной тележки с включенными пневмоэлементами. Резиновые буферы, расположенные над колесами с неаварийными рессорами в работу не включаются.

Анализ перераспределения нагрузок по колесам показал, что наибольшую разгрузку в начале переходного процесса получает колесо с пневморессорой, потерявшей герметичность (в I и 2 вариантах речь идет о колесе первой колесной пары, а в 7-м - третьей). На тележке с разгерметизированными рессорами в конце переходного процесса разгружаются колеса противоположной стороны.

Перераспределение нагрузок на тележке, где имитируются аварийные режимы происходит значительно быстрее, чем на тележке с нормальной подвеской, т.к. передача сил на последнюю осуществляется через кузов, у которого низкие парциальные частоты.

Главным критерием оценки безопасности движения является коэффициент запаса устойчивости против вползания гребня на рельс.

Поскольку для переходного процесса важное значение имеет его продолжительность, представляется целесообразным оценивать коэффициент запаса устойчивости против вползания колеса на рельс с учетом времени действия сил:

$$Z_* = \int_{t_1}^{t_2} R(t) dt + \int_{\tau_1}^{\tau_2} R(t) dt / N_{\text{max}} [(t_2 - t_1) - (\tau_2 - \tau_1)],$$

где  $(t_2 - t_1)$  - продолжительность перегруза ;

$(\tau_2 - \tau_1)$  - время вползания бандажа на рельс.

НТБ  
ДНУЖТ

С ростом скорости движения электровоза значение  $\eta_m$  монотонно падает и достигает наименьшего значения при  $V = 100$  км/ч (рис. 2).

Другим важным динамическим показателем являются силы взаимодействия колеса и рельса. На рис. 3 представлена качественная картина их изменения под первой колесной парой при  $V = 60$  км/ч для двух ситуаций: нормальной и аварийной (разгерметизировался первый элемент).

В первом режиме колесная пара совершает установившееся колебание под действием динамической неровности, а величина силы не превышает 5 кН. Кроме того, в нормальном режиме заметны три "всплеска". Один из них соответствует прохождению стыка первой колесной парой. Динамическая сила достигает 50 кН. Два других относятся к остальным колесным парам этой же тележки и составляют 6-8 кН. Это влияние с ростом скорости все менее заметно. Переходный процесс, возникающий от действия импульсов, затухает очень быстро, т.е. колесная пара совершает не более трех колебаний с собственной частотой, после чего устанавливается стационарный режим.

В момент возникновения аварийной ситуации наибольшей опасностью представляет разгрузка рельса. Под колесом, на котором вышед из строя пневмоэлементы, наблюдается разгрузка рельса и она тем больше, чем выше скорость движения электровоза.

Другое колесо этой колесной пары дополнительно нагружается.

Одним из важных количественных показателей является коэффициент динамичности  $K_d$

$$K_d = \frac{P_d}{P_{ст}}$$

Его значения по колесам локомотива представлены на рис. 4.

Самым неблагоприятным является вариант, когда разгерметизи-

14

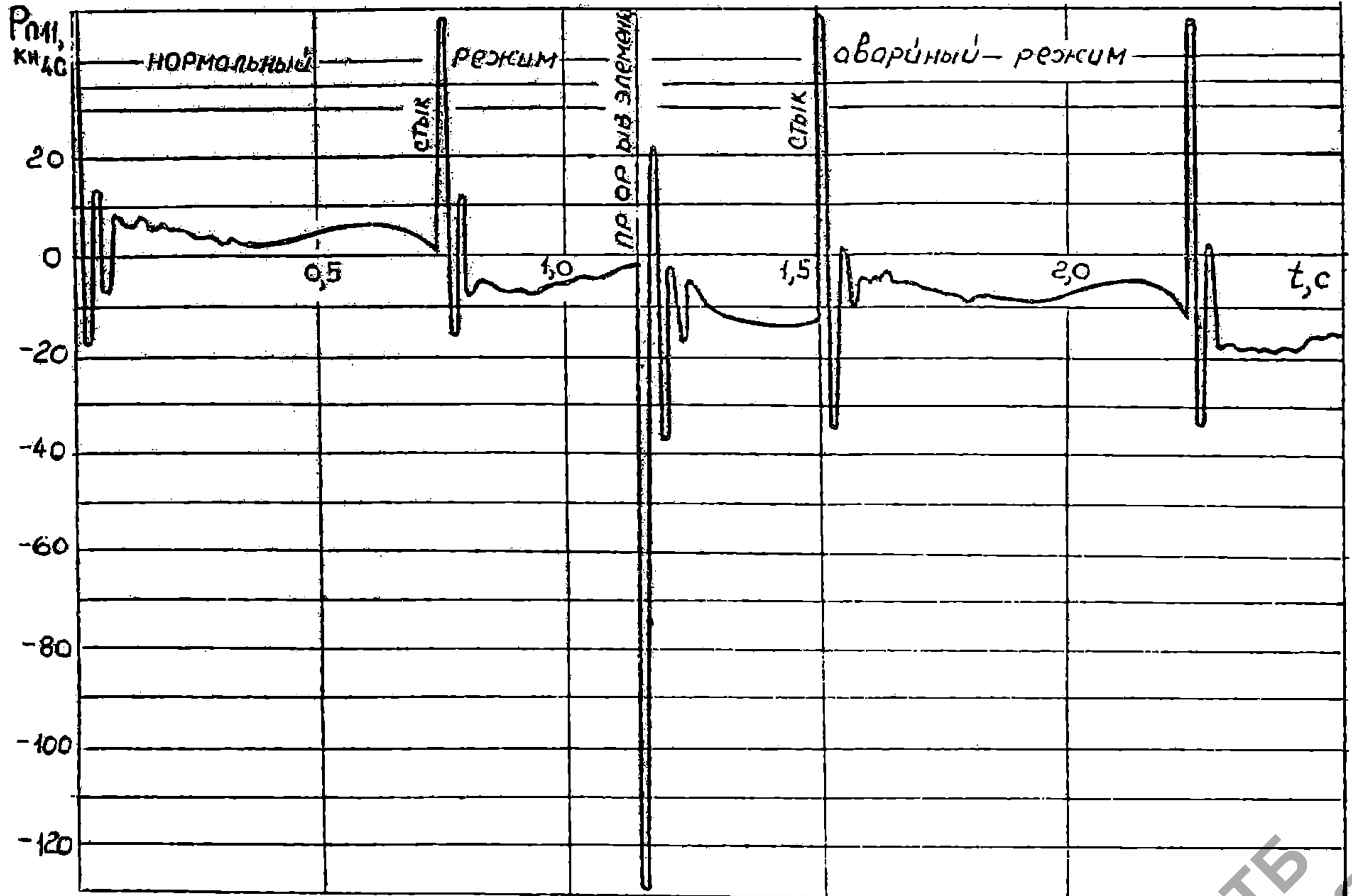


Рис 3.

НТБ  
ДНУЖТ

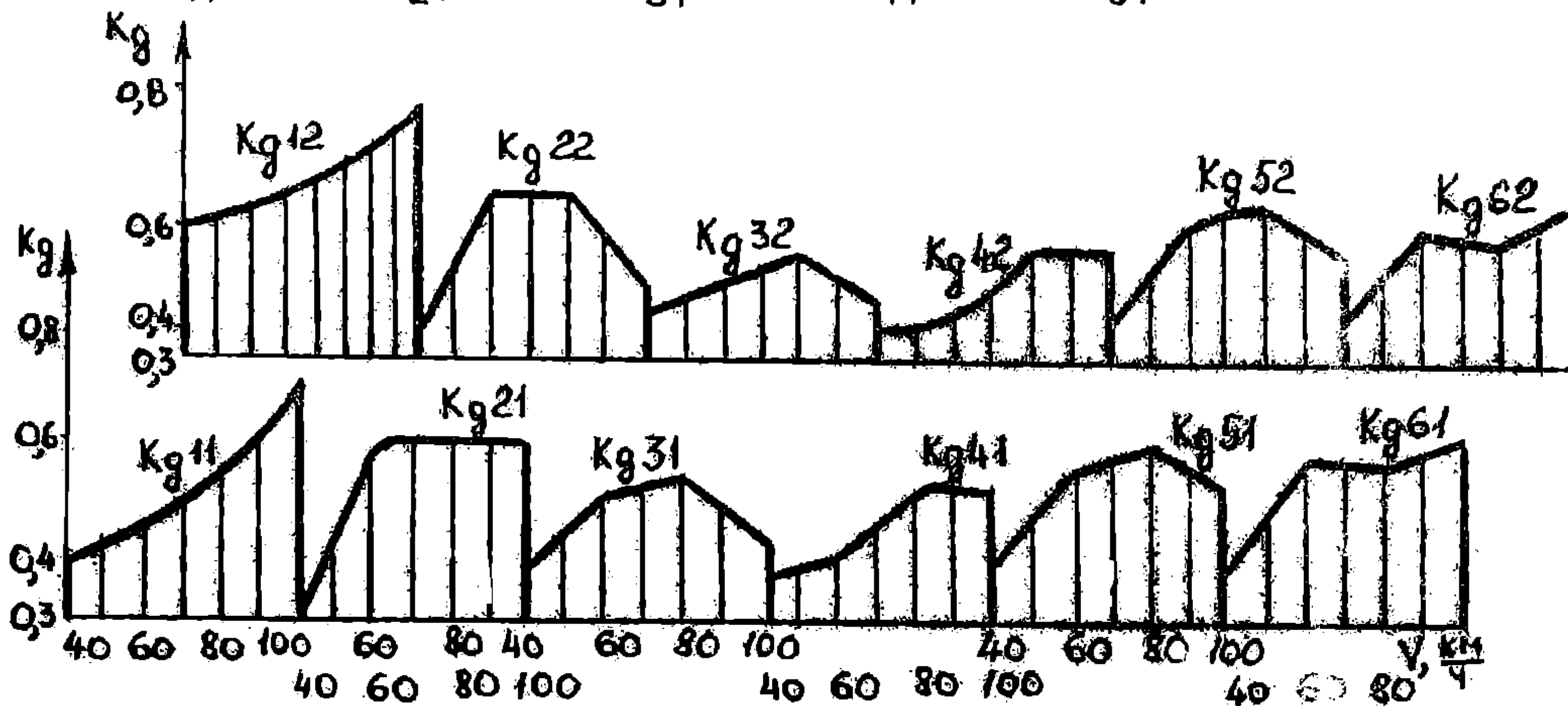
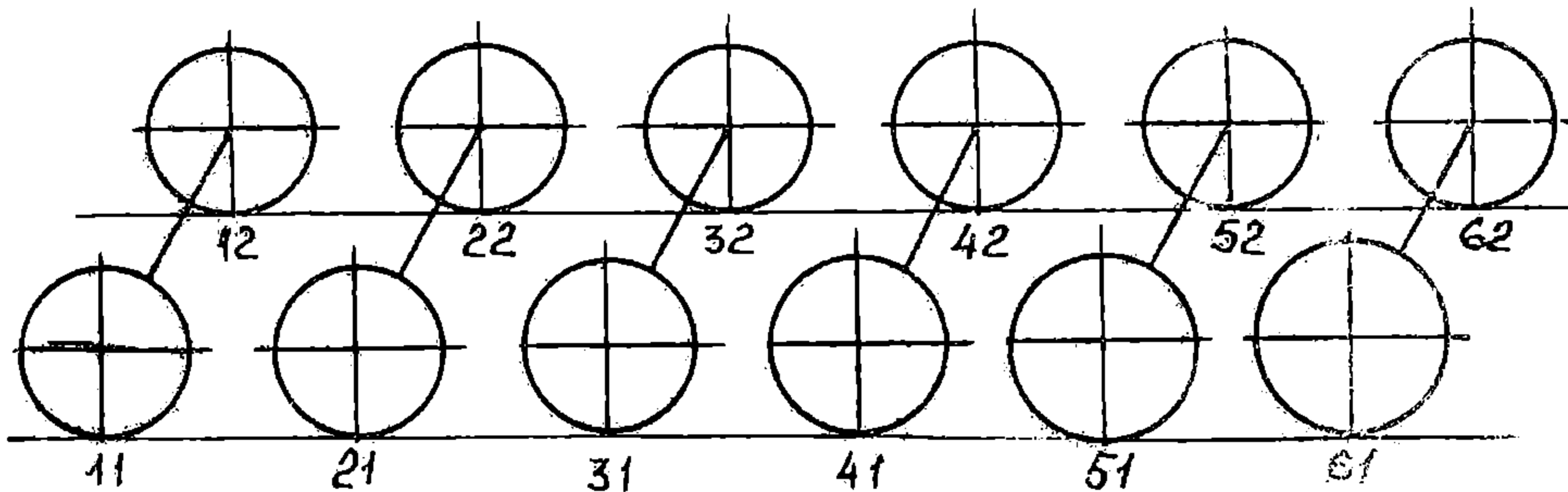


Рис.4.

ровальней пневмоэлементы одной стороны тележки. При других вариантах длительная эксплуатация локомотива невозможна из-за повышенных динамических свойств его несущих элементов. Однако, безопасное следование до основного депо может быть обеспечено.

Перераспределение статических нагрузок между тележками, колесными парами, а также увеличение жесткости в буксовой ступени при возникновении аварийного режима, вызвали изменение ускорений. Их значения на колесных парах с разгерметизированными элементами в переходном процессе сравнимы с теми, которые возникают от действия стыков в установившемся движении, и находятся в пределах 8-15 g. На аварийной тележке ускорения выше, чем на исправной и достигают 1,5 g.

Предложенная математическая модель является обобщающей и позволяет проводить исследования экстремальных режимов для экипажей с любой схемой рессорного подвешивания.

В четвертой главе изложены результаты натурной имитации аварийных режимов электровоза ВЛ60-726 на пневморессорах в эксплуатационных условиях. Эксперименты выполнены в условиях Красноярской железной дороги. При проведении этих работ были поставлены следующие задачи:

проверка работоспособности опытной пневматической рессорной системы и технологических устройств по обеспечению безопасности движения;

определение действующих значений ускорений и амплитуд относительных перемещений в нормальных и аварийных режимах, оценка зависимости их от скорости движения для зпцм и дста.

Подбор аппаратуры, тарирование измерительных каналов, согласование по частотам выполнены в полном соответствии с рекомендациями, разработанными ЦНИИ МПС и ДИИТОМ.

Испытания проводились на одних и тех же участках пути, состо-

яние которых оценивалось по балльности. Обработка осциллограмм выполнена по результатам многочисленных опытов с использованием математического аппарата случайных функций. Оценены основные вероятностные характеристики изучаемого процесса на выходе системы. Для оценки спектральной плотности применены метод Блэкмана и Тьюки.

Ввиду того, что пневматическое рессорное подвешивание сформировано 24-мя резинокордными оболочками, количество возможных вариантов аварийных режимов при выходе из строя отдельных элементов или их групп является значительным. Проведение такого объема экспериментов практически неосуществимо. Этим определяется необходимость ограничения числа имитируемых событий в эксплуатационных условиях, хотя математическая модель, разработанная в диссертации, позволяет в теоретических расчетах охватить всевозможные варианты. Поэтому для проверки правомерности этой методики в натуральных условиях реализовано несколько наиболее характерных событий.

Для сравнительной оценки последствий отключения пневморессор в различных сочетаниях предусмотрены варианты 2,3,4 в летних и 2,3,4,7 в зимних испытаниях. Имитация аварийных режимов на одной стороне тележки облегчала условия визуального контроля за расположением узлов механической части.

По результатам расшифровки осциллограмм проведен анализ ускорений обрессоренных и необрессоренных узлов электровоза. Для оценки эффективности пневматического подвешивания за основу приняты ускорения того же локомотива с металлическими рессорами. При разгерметизации одной или группы оболочек для сравнения были взяты оба типа подвешивания.

Ускорения при режиме I возрастают не более, чем на 15% по сравнению с нормальным состоянием пневматических рессор. При

реализации 7 варианта максимальные ускорения обрессоренных частей увеличиваются примерно на 30%, а для необрессоренных (бухсы с вышедшей из строя рессорой) на 50%.

При выпуске воздуха из всей системы подвешивания ускорения превышают уровень, характерный для электровоза на металлических рессорах.

В аварийных режимах горизонтальные ускорения тележки и кузов изменяются незначительно.

Применение новых амортизаторов позволило снизить уровень ускорений в зимнее время до их летних значений, характерных для существующей подвески.

Величины напряжений, замеренные для экстремальных условий, не превышают их величин при серийном подвешивании.

Таким образом, уровень динамической нагруженности рамы тележки не достигает разрушающих значений и может не учитываться при анализе аварийных режимов.

После экспериментов выполнена оценка состояния оболочек и их прочности. Степень растрескивания их поверхности анализировалась по методике ВНИИВа, в соответствии с которой все элементы допущены к дальнейшей работе. По показателям физико-механических испытаний резинокордные оболочки соответствовали нормам технических требований, хотя до проверки они находились в эксплуатации в течение трех лет. Работа электровоза в аварийных режимах не вызвала нарушения покровного слоя и герметичности.

Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований позволило подтвердить правомерность математической модели и полученных с ее помощью результатов.

В пятой главе выполнено технико-экономическое обоснование целесообразности внедрения пневматических упругих элементов в рессорную систему железнодорожного подвижного состава. Годовой

экономический эффект в пределах одной дороги составил 3111,9 тыс. рублей. Следует учесть, что на повышение экономических показателей окажут влияние социальные факторы, связанные с улучшением условий труда локомотивных бригад.

### В ы в о д ы

1. Разработана общая математическая модель для исследования колебаний локомотива с пневматическим подвешиванием, позволяющая количественно и качественно оценивать динамические свойства любого экипажа в экстремальных условиях при неисправности рессор.

2. Аналитически и экспериментально установлено для опытного электровоза ВЛ60, что при отключении одиночного пневмоэлемента ускорения в системе возрастают не более чем на 15% ; в случае повреждения пневмоэлементов одной стороны тележки для обрессоренных частей - 30%, для необрессоренных - на 50%. При полной разгерметизации пневматической системы подвешивания ускорения превышают уровень, характерный для электровоза с металлическими рессорами.

3. Теоретически показано и экспериментально подтверждено, что контрольный размер зазора между металлизмом локомотива и головкой рельса не превышает нормативного значения, а вертикальное смещение оси автосцепки достигает предельной величины лишь в течение 0,3 с.

4. Применен критерий оценки запаса устойчивости против вползания колеса на рельс, учитывающий продолжительность его разгрузки, соизмеримой со статистическим давлением колеса. Это позволяет определить допустимую скорость движения локомотива.

5. Обоснована необходимость динамической нагруженности несущих узлов экипажа и рельсов по коэффициенту динамичности.

Установлено, что длительная эксплуатация локомотива в экстремальных режимах невозможно даже при обеспечении безопасности движения.

6. Доказана целесообразность анализа и оценки всех критериев связанных с безопасностью движения, для колесных пар с разгерметизированными пневматическими элементами. Использование результатов исследований позволяет обеспечить безопасность движения локомотива на пневматическом подвешивании при частичной разгерметизации элементов без снижения скорости.

7. Оборудование электровоза пневматическим подвешиванием не оказало заметного влияния на горизонтальную динамику ввиду сохранения существовавших ранее связей рамы тележки с колесной парой и кузовом.

8. Физико-механические испытания резинокордных оболочек; эксплуатация под статической нагрузкой в течение 2-х лет в условиях Красноярской железной дороги, разрушение при давлении 3,5 МПа (нормальное давление 0,7 МПа) свидетельствуют о достаточной надежности разработанной конструкции.

9. Предложенная математическая модель позволяет определять на стадии проектирования упруго-диссипативные характеристики амортизирующих устройств (буферов, ограничителей), обеспечивающие безопасность движения при аварийных режимах.

10. Результаты работы внедрены на Красноярской железной дороге.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Исследование возможных аварийных режимов пневмоподвешивания электровоза ВЛ60 (Науч. тр. Омского ин-та инж. ж.-д. транспорта: т. 165, 1974, с. 8-12 (в соавторстве).

2. Оценка динамических свойств электровоза ВЛ60 на пневмоподвешивании при аварийных режимах (Науч. тр. Омского ин-та инж.

ж.-д. транспорта. т.172, 1975, с.25-28 (в соавторстве).

3. Пневматическое подвешивание тяговых электродвигателей электровоза ВЛ60 (Науч.тр.Омского ин-та инж.ж.-д. транспорта, т.180, 1976, с.3-5 (в соавторстве).

4. Результаты натуральных испытаний электровоза ВЛ60 на пневмоподвешивании (Науч.тр.Омского ин-та инж.ж.-д. транспорта, т.180, 1976, с.16-19 (в соавторстве).

5. Методика оценки нарушенного равновесия электровоза на пневморессорах (Науч.тр.Омского ин-та инж.ж.-д. транспорта, т.180, 1976, с.27-30 (в соавторстве).

6. Аналитическое представление аварийных режимов электровоза ВЛ60 в пневматическом подвешивании. Межвузовский тематический сборник научных трудов: Взаимодействие подвижного состава и пути и динамика локомотивов и вагонов. Омск, 1979, с.20-27.

**БУТЕНКО Станислав Григорьевич**

**ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛОКОМОТИВА  
С ПНЕВМАТИЧЕСКИМИ РЕССОРАМИ ПРИ ИХ РАЗГЕРМЕТИЗАЦИИ  
В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**05.22.07 - подвижной состав и тяга поездов**

**Подписано к печати 18.05.82.БГ 61294**

**Формат 60x84 1/16. Бумара для множительных аппаратов: Ротапринт.  
Усл.печ.л. 1,30. Уч.-изд.л. 1. Тираж 100 экз. Заказ №1020.  
Бесплатно**

**Участок оперативной полиграфии ДНТГ,  
820629, ГСП, Днепропетровск, ГО,  
ул. Акад. В.А.Лазаряна, 2**