

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ  
ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ  
КӨЛІК – ЭНЕРГЕТИКА ФАКУЛЬТЕТІ



**«КӨЛІК ЖӘНЕ ЭНЕРГЕТИКАНЫҢ ӨЗЕКТІ МӘСЕЛЕЛЕРІ:  
ИННОВАЦИЯЛЫҚ ШЕШУ ТӘСІЛДЕРІ» X ХАЛЫҚАРАЛЫҚ  
ҒЫЛЫМИ-ТӘЖІРИБЕЛІК КОНФЕРЕНЦИЯСЫНЫҢ БАЯНДАМАЛАР  
ЖИНАҒЫ**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ  
X МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО – ПРАКТИЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ: «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТА И  
ЭНЕРГЕТИКИ: ПУТИ ИХ ИННОВАЦИОННОГО РЕШЕНИЯ»**

**PROCEEDINGS OF THE X INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICE  
CONFERENCE «ACTUAL PROBLEMS OF TRANSPORT AND ENERGY:  
THE WAYS OF ITS INNOVATIVE SOLUTIONS»**

**Нұр-Сұлтан, 2022**

**УДК 656/621.31**  
**ББК 39/31**  
**А43**

**Редакционная коллегия:**

Председатель – Мерзадинова Г.Т., Член Правления – Проректор по науке, коммерциализации и интернационализации ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, д.т.н., профессор; Заместитель председателя – Султанов Т.Т., заместитель декана по научной работе, к.т.н., доцент; Сулейменов Т.Б. – декан транспортно-энергетического факультета ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, д.т.н., профессор; Председатель «Әдеп» – Ахмедьянов А.У., к.т.н., доцент; Арпабеков М.И. – заведующий кафедрой «Организация перевозок, движения и эксплуатация транспорта», д.т.н. профессор; Тогизбаева Б.Б. – заведующий кафедрой «Транспорт, транспортная техника и технологии», д.т.н. профессор; Байхожаева Б.У. – заведующий кафедрой «Стандартизация, сертификация и метрология», д.т.н. профессор; Жакишев Б.А.– заведующий кафедрой «Теплоэнергетика», к.т.н., доцент.

**А43 Актуальные проблемы транспорта и энергетики:** пути их инновационного решения: X Международная научно – практическая конференция, Нур-Султан, 17 марта 2022 /Подгот. Г.Т. Мерзадинова, Т.Б. Сулейменов, Т.Т. Султанов – Нур-Султан, 2022. – 597с.

**ISBN 978-601-337-661-5**

В сборник включены материалы X Международной научно – практической конференции на тему: «Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения», проходившей в г. Нур-Султан 17 марта 2022 года.

Тематика статей и докладов участников конференции посвящена актуальным вопросам организации перевозок, движения и эксплуатации транспорта, стандартизации, метрологии и сертификации, транспорту, транспортной техники и технологии, теплоэнергетики и электроэнергетики.

Материалы конференции дают отражение научной деятельности ведущих ученых дальнего, ближнего зарубежья, Республики Казахстан и могут быть полезными для докторантов, магистрантов и студентов.



© ЕНУ имени Л.Н.Гумилева, 2022

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ ПО УСЛОВИЮ НАКАТЫВАНИЯ КОЛЕСА НА РЕЛЬС

**Жетписов Рустем Кафизович, магистрант**

*Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,  
Нур-Султан, Республика Казахстан, rustemzhetpisov\_step@mail.ru*

**Аннотация:** В данной статье рассмотрен вопрос об обеспечении безопасности движения поездов по условию накатывания колеса на рельс учитывающей вероятностный характер сил, действующих в контакте колеса и рельса, а так же угла набегания колеса на рельс.

**Ключевые слова:** безопасность движения поездов; факторы, возникающие в процессе взаимодействия пути и подвижного состава, накатывание колеса на рельс, эксперимент.

На сегодняшний день в Казахстане самым оптимальным и выгодным решением для перевозки грузов и людей является железнодорожный транспорт. В условиях сегодняшних реалий по экономическим, географическим и экологическим факторам на железнодорожный транспорт приходится 60-65 % общего грузооборота Казахстана. Железная дорога была и будет индикатором восстановления реального сектора экономики Казахстана. Обеспечение безопасности движения поездов это самое главное условие для перевозок пассажиров и грузов и эксплуатации железной дороги Казахстана. Вопросы касающиеся безопасности движения с каждым днем приобретают особое значение в целях необходимости сохранения конкурентоспособности ж/д транспорта как на внутреннем рынке так и возможности выхода казахстанских перевозчиков на новый уровень международного транспортного рынка. Обеспечение безаварийности перевозочного процесса и безопасности движения поездов является неотъемлемым фактором развития отечественной железнодорожной отрасли. Нужно разработать методику оценки безопасности движения поездов в условиях ж.д. современного Казахстана. [1].

Железнодорожные происшествия и события в нашей стране, приводящие к случаям нарушения безопасности движения требуют особого и первостепенного внимания и исследования. В настоящее время недостаточно изучены процессы, проходящие при взаимодействии рельса и колеса, так как имеются случаи схода поездов при технических параметрах пути и подвижного состава отвечающим предъявляемым к ним требованиям. Наиболее частым нарушением безопасности движения поездов является именно накатывание гребня колеса на головку рельса. Накатывание гребня колеса на головку рельса приводит к провалу другого колеса колесной пары внутрь колеи и неизбежному сходу с рельсов многих вагонов. Если колесная пара, движущаяся вдоль пути под действием продольной силы тяги, в каком-то месте изменяет траекторию движения и направляется поперек пути, то необходимо исследовать, по меньшей мере, два вопроса. Какая сила заставила изменить траекторию движения, и почему это произошло на этом участке пути? [2].

Сегодня как никогда огромное значение имеет создание математических моделей разных процессов и систем с использованием современных приемов и методов, которые отражали бы процессы и параметры происходящих в системе колесо-рельс. В многочисленных исследованиях устойчивости прямолинейного стационарного движения вагона и локомотива вдоль рельсового пути задача решалась в детерминистской постановке, вынужденные колебания рассматривались также при детерминированных неровностях.

Однако ряд факторов, возникающих в процессе взаимодействия пути и подвижного состава, носит случайный характер. Такими являются коэффициент трения, эффективная конусность, упругость рельсового пути, отклонение величины зазора в колее от номинальной, вертикальные и горизонтальные неровности пути, угол набегания колеса на рельс и др. Поэтому колебания железнодорожного подвижного состава являются случайными, их исследование требует применение математического аппарата теории

случайных процессов. Общая методика исследования основывается на выполнении многовариантных численных исследований устойчивости подвижного состава по условию накатывания колеса на рельс. В связи с тем, что применяемые на сегодняшний день методики расчета устойчивости подвижного состава в недостаточной степени учитывают взаимодействие системы колесо-рельс была разработана методика, учитывающая вероятностный характер вертикальных и горизонтальных сил, а также коэффициент трения, угол наклона гребня колеса и угол набегания колеса на рельс. С помощью данной методики было выполнено исследование устойчивости подвижного состава при различных параметрах влияющих на безопасность движения. Для проверки и анализа получаемых по предложенной методике значений вероятности устойчивости подвижного состава используем результаты проводимых экспериментальных исследований по взаимодействию подвижного состава с железно-дорожным путем и устойчивости колеса на рельсе. [3].

Одним из таких экспериментов является исследование по устойчивости колеса на рельсе с использованием стенда "Колесо-рельс". Об этом эксперименте расскажу подробнее в этой статье. Стенд ЦНИИ МПС под названием «колесо-рельс» представляет собой одноосную тележку с тяговым двигателем постоянного тока, установленную на каток, вращающийся в подшипниках станины, укрепленной на её фундаменте (Рисунок 1). Водило тележки соединено со шкворнем, вокруг которого тележка может свободно вращаться в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Нагрузка на рельс-каток от колеса моторной тележки изменяется установкой специальных грузов на её раму.

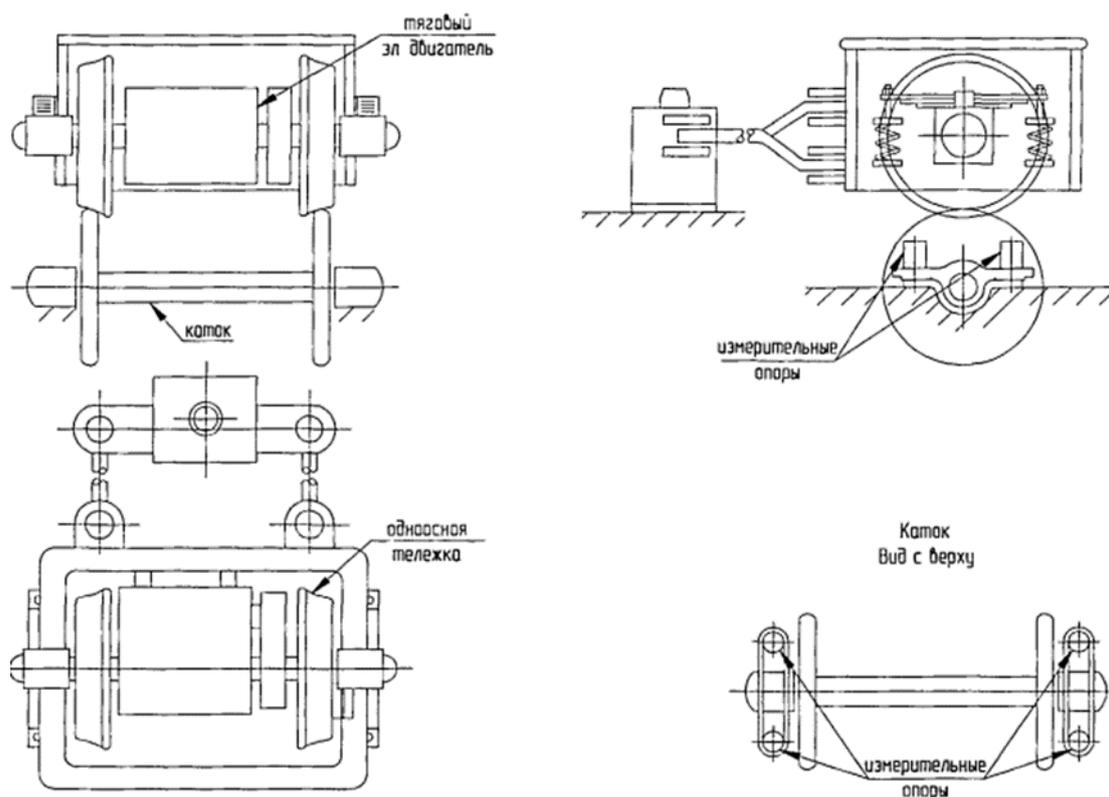


Рисунок 1 – Стенд «колесо-рельс»

Скорость движения тележки по рельсам-катку можно плавно менять от 0 до 200 км/ч и поддерживать в этих пределах длительное время. Набегание колесной пары под разными углами на рельсы-каток осуществляется изменением длины тяг водила тележки, представляющего собой треугольник. Таким образом, можно иметь угол набегания 0 до величины, намного превышающей действительную у экипажей в эксплуатации. Поперечное,

относительно, рельсов-катка перемещение тележки осуществляется пневматическим механизмом. Колеса тележки обтачиваются по профилю головки рельса типа Р50 с подуклоном в 1/20. [4].

Опыты со сходом колеса с рельс производились следующим образом. В задачу опыта входило определение величины  $Y/P$ , при которой происходит накатывание гребня набегающего колеса на головку рельса или его опускание. Отношение  $Y/P$  разной величины можно получить изменением бокового давления  $Y$  при  $P = \text{const}$  и изменением вертикальной нагрузки  $P$  при  $Y = \text{const}$  или той и другой нагрузки одновременно. Очевидно, что при некотором  $Y/P = C$  колесо катится, находясь в равновесии. Величина  $Y/P$  изменяется переменной нагрузкой  $P$  на контакт гребня с рельсом.

Если статическая нагрузка от гребня колеса на рельс, получающийся от веса тележки с грузами, равна,  $G$ , то силу  $P$  можно получить, например, периодически меняющейся по закону.

$$P = G - c(1 + a \cdot \cos \omega t) \quad (1)$$

где  $c$ ,  $a$  - коэффициент;  $t$

$\omega$  - угловая частота;

$t$  - время.

Очевидно, что сила  $P$  будет изменяться в пределах от  $P = G - c(1 + a)$  до  $P = G - c(1 - a)$ , а средняя ее величина будет  $P = G - c$ .

Если сделать  $G - c = P_0$ , т.е. равной нагрузке, соответствующей равновесному стоянию колеса, то

$$\frac{Y}{P} = \frac{Y}{P_0 - c \cdot a \cdot \cos \omega \cdot t} \quad (2)$$

Понятно, что при  $Y/P > Y/P_0$  колесо должно вкатываться гребнем на головку рельса и при  $Y/P < Y/P_0$  скатываться вниз; таким образом, колесо будет совершать колебания относительно равновесного состояния. Подбор, требуемый для каждой условий опыта величины  $c$  осуществлялся следующим образом. Упругая сила, необходимая для периодического изменения силы  $p$ , получалась прогибом балки электрического тельфера стенда. Рама тележки специальным захватом соединялась с тельфером. От импульса подъема тележки со стороны набегающего колеса возникал прогиб балки тельфера. Так создавалась некоторая величина  $c$ . Если колебаний колесной пары не наступало, то это означало, что  $c$  мало для равновесного состояния колеса. Повторными импульсами подъема колесная пара доводилась до колебательного движения. В связи тележки с тельфером была включена мессдоза, показания которой регистрировались на ленте осциллографа. Тензодатчиками регистрировалась величина силы  $C = c(1 + a \cdot \cos \omega t)$ . Величина  $C$ , соответствующая равновесному стоянию колеса, определялась надежно, так как колесо совершало колебания в течении сравнительно длительного времени и, наконец, оставалось в положении, соответствующем равновесию сил.

Опыт на сход с рельса состоял в том, что колесная пара устанавливалась по отношению к рельсу под углом набегания  $\theta$ . Опытные величины измерялись при постоянной скорости качения. Опыты проводились при скоростях движения и = 20, 40, 70, 120, 160, 180, 200 км/ч и углах  $\theta = 0, 15, 30, 45$  и  $60'$ . При каждой скорости создавалось предельное отношение сил  $Y$  и  $P$  колесной пары относительно положения равновесного состояния. Были испытаны колеса с углами наклона гребня  $Y - 60, 65$  и  $70^\circ$ . Силы и перемещения колесной пары относительно рельсов - катка измерялись с помощью тензодатчика и регистрировались на ленте осциллографа. Перед испытаниями статические нагрузки от правого и левого колес моторной тележки были определены взвешиванием. Грузы для создания разных нагрузок на колеса тележки также были взвешены.

Так как боковое давление  $Y$  создавалось силой трения колеса, не набегавшего на рельс, то были проведены специальные опыты для определения зависимости силы и коэффициента трения от угла набегания  $\gamma$  и скорости движения.

На стенде, как и в натурных условиях, получено: предел сцепления колеса с рельсом наступает при относительной скорости скольжения, равной 1,5 - 2,0% от скорости движения колеса, однако колесо может иметь одновременно продольное а и поперечное и скольжение. Трение, соответствующее такому скольжению, именуют перекрестным.

Полученные экспериментами на стенде значения  $Y/P$  в зависимости от угла набегания  $\theta$  при различных скоростях движения  $v$  и угла наклона гребня  $\gamma$  показаны на рис. 3.9а. Как видно, эти значения  $Y/P < \text{tg } \gamma$ , т.е. меньше предельного отношения, соответствующего отсутствию трения между гребнем колеса и рельсом.

Следовательно, разность

$$\text{tg} \cdot \gamma - \frac{Y}{P} > 0, \tag{3}$$

Создается трения гребня колеса о рельсе и опытное отношение представляет собой

$$\frac{Y}{P} = \text{tg} \cdot \beta = \text{tg} \cdot (\gamma - \varphi), \tag{4}$$

где  $\varphi$  - угол трения, равный  $\text{arctg } f$ . Очевидно, что

$$\varphi = \gamma - \text{arc} \cdot \text{tg} \cdot \frac{Y}{P} \quad \text{и} \quad f_u = \text{tg} \cdot \left( \gamma - \text{arc} \cdot \text{tg} \cdot \frac{Y}{P} \right). \tag{5} \tag{6}$$

На рисунке 2 показана зависимость  $f_u$  от угла набегания  $\theta$  скорости движения  $v$  при разных углах наклона гребня  $\gamma$ .

Зависимости предельных значений  $Y/P$  от угла наклона гребня  $\gamma$ , угла набегания  $\theta$  и скорости движения  $v$  (1, 2, 3, 4 - соответственно при скорости 20, 60, 100 и 150 км/ч)

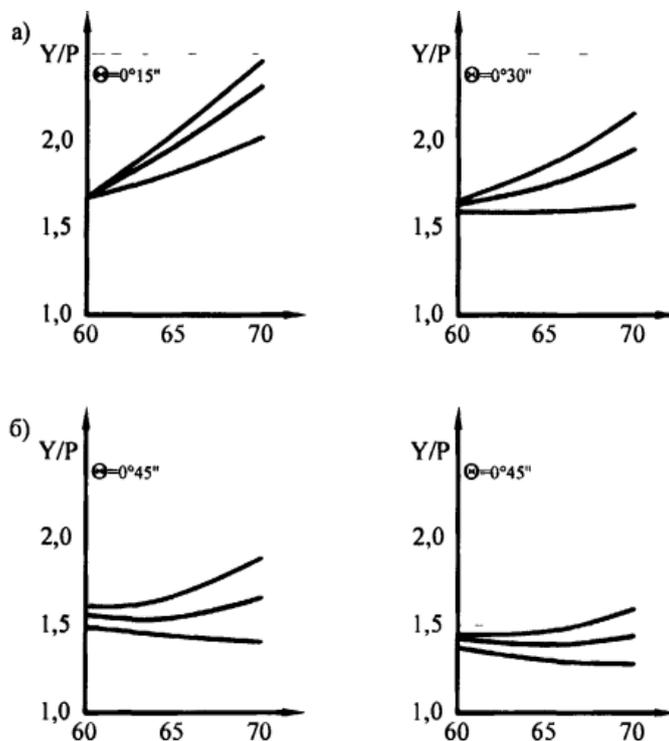


Рисунок 2 – зависимость  $f_u$  от угла набегания  $\theta$  скорости движения  $v$  при разных углах наклона гребня  $\gamma$ .

Из приведенных опытных данных следует, что предельное отношение возрастает с увеличением скорости движения и угла наклона гребня колеса  $\gamma$ , за исключением малых скоростей движения, при которых влияние наклона гребня сказывается незначительно. Далее, коэффициент трения  $f_{\mu}$  при прочих равных условиях возрастает с увеличением угла. Таким образом, с увеличением угла наклона гребня автоматически увеличивается коэффициент поперечного трения гребня о рельс. Это снижает прирост отношения  $Y/P$  от увеличения угла наклона гребня. Следовательно, колеса, имеющие разные углы наклона гребней, должны сравниваться при соответствующих их углах коэффициента трения  $f_{\mu}$  (но не одинаковых  $f_{\mu}$ , как это обычно делается). [5].

Данная статья важна, так как в случае возникновения всякого рода аварий, в первую очередь страдает человек и порой доходит до летальных случаев. Безопасность движения поездов – основное условие эксплуатации железной дороги, перевозок пассажиров и грузов. И хочется верить в то, что Казахстан не будет забывать об обеспечении безопасности на железных дорогах. До сих пор железнодорожный транспорт, в сравнении с другими видами, считался самым безопасным. Тем острее стоит задача сохранить хорошую репутацию отечественных железных дорог в период реорганизации, который происходит сейчас. Реализация поставленных целей и задач в обеспечении безопасности движения поездов не представляется возможным без экспериментального и теоретического исследований в данной области, а именно в изучении процессов, происходящих при взаимодействии колеса и рельса.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Терешина Н.П., Соколов Ю.И., Аверьянова О.А. Экономические аспекты управления безопасностью перевозок пассажиров и грузов. Экономика железных дорог, 2012. №8, с. 102-112.
2. Малусовский Г. И. Исследование устойчивости колеса против вкатывания гребнем на рельс с учетом неровностей и характеристик жесткости рельсовых нитей. - Дис... канд. техн. наук. - Москва: ЦНИИ МПС. - 1978. - 177 с.
3. Вершинский С. В., Грачева Л. О., Коган А. Я., Кочнов А. Д., Засимов Г. Ф., Куликовский Б. С., Лукин Е. А., Сосковец В. М., Хамоев А. Д., Черкашин Ю. М., Малусовский Г. И. Ходовые испытания 4-осных вагонов на старотипных тележках со скоростью движения до 80 км/ч по искусственным неровностям пути (заключительный отчет). Отчет, архив ЦНИИ МПС, 1976, стр. 2-111.
4. Малусовский Г. И. и др. (в соавторстве). Разработка предложений по повышению скоростей движения поездов при производстве путевых работ. Разработка предложений по повышению скоростей движения поездов и сокращению времени действия предупреждений о снижении скорости после производства путевых работ. Отчет, архив ЦНИИ МПС, 1977, стр. 2-156.
5. Сход колеса с рельса. Андриевский С. М., Крылов В. А. Исследования в области динамики и прочности локомотивов. Труды ЦНИИ МПС, 1969, вып. 393, стр 20-41