

УДК 629.113

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОПОЕЗДОВ РАЗНЫХ КОМПОНОВОЧНЫХ СХЕМ

**В.П. Сахно, профессор, д.т.н., В.М. Поляков, доцент, к.т.н.,
Национальный транспортный университет, г. Киев**

Аннотация. Установлено, что при анализе устойчивости движения автопоезда наиболее информативным является коэффициент усиления бокового ускорения. Сопоставление значений коэффициента усиления ускорения последнего звена автопоезда, при отсутствии крена кузова и с его учетом при скорости 15 м/с, указывает на его значительное увеличение от 12,9 % для автопоезда типа «B-Double» до 25,4 % – для автопоезда с двумя прицепами.

Ключевые слова: автопоезд, компоновочная схема, устойчивость.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ АВТОПОЇЗДІВ РІЗНИХ КОМПОНУВАЛЬНИХ СХЕМ

**В.П. Сахно, професор, д.т.н., В.М. Поляков, доцент, к.т.н.,
Національний транспортний університет, м. Київ**

Анотація. Встановлено, що при аналізі стійкості руху автопоїзда найбільш інформативним є коефіцієнт посилення бічного прискорення. Співставлення значень коефіцієнта посилення прискорення останньої ланки автопоїзда, за відсутності крену кузова і з його урахуванням за швидкості 15 м/с, указує на значне його збільшення від 12,9 % для автопоїзда типу «B-Double» до 25,4 % – для причіпного автопоїзда із двома причепами.

Ключові слова: автопоїзд, компонувальна схема, стійкість.

RESULTS OF RESEARCH OF LORRY CONVOYS STABILITY OF DIFFERENT LAYOUT DIAGRAMS

**V. Sakhno, Professor, Doctor of Engineering Science, V. Poliakov, Associate Professor,
Candidate of Engineering Science, National Transport University, Kyiv**

Abstract. It has been determined that at analysis of motion stability of the lorry convoy the most informing is the coefficient of amplification of the lateral acceleration factor. Comparison of the values of amplification of acceleration of the last link of the lorry convoy factor at task of body tilt and with its account at speed of 15 m/s indicates to its considerable increase from 12,9 % for the lorry convoy of «B-Double» type to 25,4 % – for the towed lorry convoy with two trailers.

Key words: lorry convoy, layout diagram, stability.

Введение

Эффективную и стабильную работу промышленности, сельского хозяйства, достойные условия жизни населения обеспечивает сложная и разветвленная транспортная система, которая включает все виды транспорта. С целью повышения эффективности автоперевозок, сокращения расхода топлива и

снижения выбросов вредных веществ на единицу перевозимого груза, с 1998 г. Швеция и Финляндия изменили требования к длине и полной массе автопоездов до 25,25 м и 60 т соответственно, сохранив при этом существовавшие требования к осевым нагрузкам. Разрешена эксплуатация двух компоновочных схем автопоездов. Первая: автопоезд сформирован из трехосного тягача

и пятиосного прицепа, выполненного на базе серийного трехосного полуприцепа на двухосной подкатной тележке (автопоезд №1). Вторая – седельно-прицепной автопоезд, в котором к серийному полуприцепу прицепляется двухосный прицеп, обычно с центрально расположенными (приближенными) осями (автопоезд № 2). Кроме того, возможны компоновочные схемы «B-Double» (автомобиль-тягач с двумя полуприцепами, автопоезд № 3) и с двумя прицепами (автопоезд № 4). При этом сохраняется модульный принцип формирования всех автопоездов [1].

Анализ публикаций

Появление таких автопоездов, полезный объем кузова которых достигает до 150 м³, ожидалось на международных перевозках, но, к сожалению, ни дорожное, ни транспортное законодательства до сих пор к этому не готовы ни в ЕС (кроме Швеции и Финляндии), ни в странах СНГ.

Внедрение в странах СНГ длинномерных автопоездов связано с тремя группами ограничений [2], в частности, с ограничениями по геометрическим и массовым параметрам автотранспортных средств (АТС), с требованиями безопасности к конструкции таких автопоездов, а также с трудностями приема их на существующих терминалах, логистических центрах.

Анализ ограничений первой и третьей групп по широкому внедрению трехзвенных автопоездов в международных автомобильных перевозках показывает, что все проблемы носят не столько технический, сколько организационный характер, поэтому их можно решать практически уже сегодня. Ограничения второй группы связаны с недостаточной изученностью эксплуатационных свойств трехзвенных автопоездов.

При наличии у автопоезда больше трех звеньев трудности возникают в том, что существенно усложняется исследование движения такого многозвенного АТС по причине необходимости учета влияния значительного количества факторов на характер движения всех звеньев. Взаимодействие соседних звеньев при движении автопоезда распространяется на все транспортное средство и вызывает отклонения составляющих автопоезд звеньев (модулей) от заданного ведущим

звеном (тягачом) направления движения. Учитывая то, что автопоезд как АТС является средством повышенной опасности, при решении проблем относительно возможности эксплуатации трех- и многозвенных автопоездов в числе первых следует делать шаги в направлении теоретических исследований маневренности и устойчивости их движения.

Цель и постановка задачи

Целью статьи является сравнительный анализ показателей устойчивости движения трехзвенных автопоездов разных компоновочных схем.

Исследование устойчивости автопоездов

Основу трехзвенных автопоездов, которые сегодня находятся в эксплуатации, составляют автомобили-тягачи компании Scania, а также прицепная техника компании Krone – трехосные полуприцепы SD-27, двух- и трехосные прицепы с приближенными осями ZZ-18 (ZZ-27), двух- и трехосные прицепы с разнесенными осями и передней поворотной осью AZ-18 (AZ-27), двухосная подкатная тележка «Dolly».

Как отмечено в работе [3], силы взаимодействия в опорно-сцепном и тягово-сцепном устройствах не влияют на перераспределение нагрузок по бортам звеньев автопоезда. Поэтому довольно сложную систему – трехзвенный автопоезд на подкатной тележке – можно рассматривать как три системы – тягач, подкатная тележка и полуприцеп, которые кренятся независимо друг от друга. При этом также считается, что ось крена каждого звена параллельна опорной поверхности, а движение звеньев автопоезда в вертикальной плоскости по углам галлопирования (тангажа, дифферента) и крена влияют на боковое движение, в первую очередь и в основном, путем изменения вертикальных нагрузок на колеса, изменяя тем самым вертикальные реакции опорной поверхности. С этой целью исходная система уравнений, которая приведена в работе [4], была разделена на три подсистемы, интегрирование каждой из которых осуществлялось с помощью программного обеспечения Maple 9. Интегрирование системы уравнений, что описывает трехзвенный автопоезд, позволяет исследовать характер изменения переменных, которые

оценивают устойчивость движения автопоезда при выполнении им разных маневров.

На рис. 1 в качестве примера приведены результаты расчета при скорости 5 м/с угла крена и угловой скорости последних звеньев рассматриваемых трехзвенных автопоездов, а на рис. 2 – вертикальная и боковая нагрузки последнего звена автопоезда в результате крена его кузова (на всех рисунках кривые обозначены цифрами, соответствующими номерам компоновочных схем автопоездов).

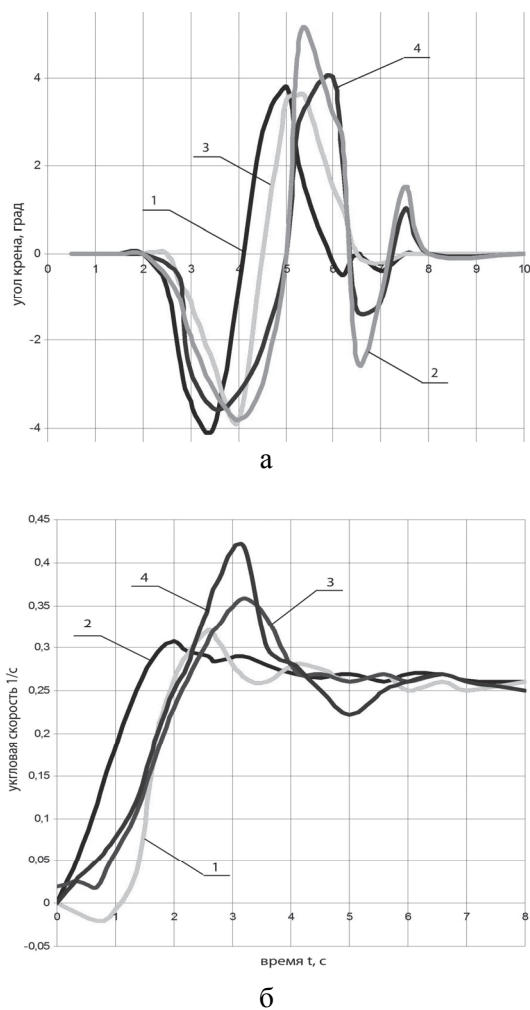


Рис. 1. Изменение угла крена (а) и угловой скорости (б) последнего звена автопоезда во время переходного процесса

Крены кузовов отдельных звеньев автопоезда приводят к изменению угла и угловой скорости поворота (рис. 1), угловой скорости рыскания и бокового ускорения (рис. 3).

Как и в предыдущем случае, наибольшая угловая скорость поворота последнего звена имеет место для второго прицепа прицепного автопоезда, а угловая скорость рыскания –

для автомобиля-тягача. Этим объясняется то, что при выполнении разных маневров двухзвенным автопоездом ограничивающим фактором является автомобиль-тягач.

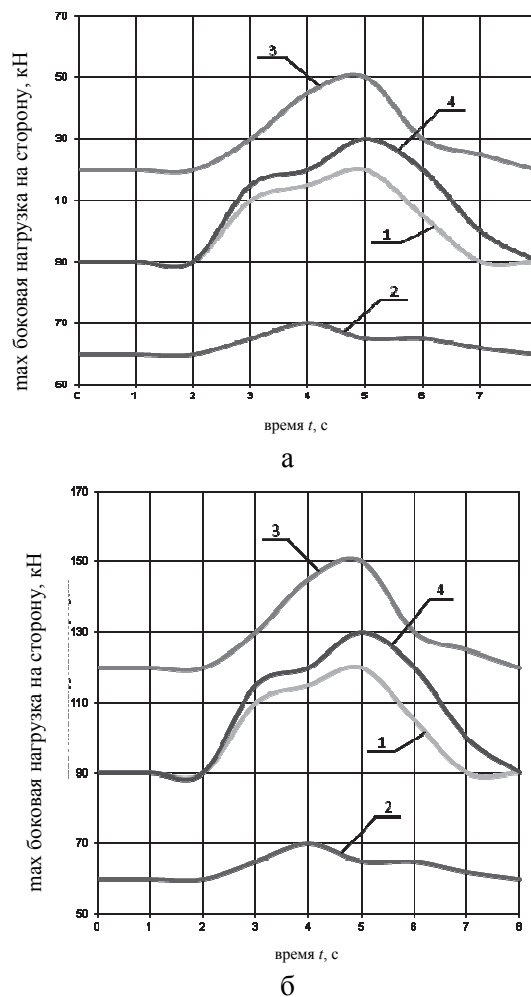


Рис. 2. Изменение вертикальной и боковой нагрузки звеньев автопоезда во времени переходного процесса

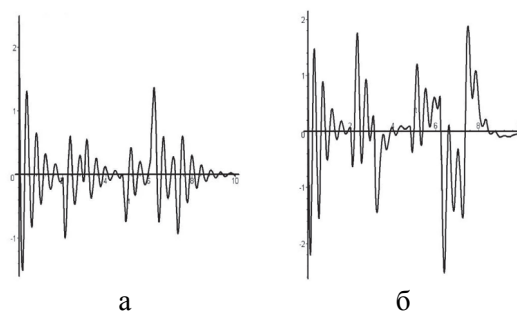


Рис. 3. Боковые ускорения центра масс автомобиля-тягача автопоездов №1 (а), №4 (б) в переходном процессе

Для трехзвенных автопоездов боковые ускорения, которые действуют в центре масс автомобиля-тягача при входе в поворот и

движении по кругу, одинаковые для седельно-прицепного автопоезда и автопоезда типа «B-Double» и значительно меньше в сравнении с прицепными автопоездами, т.е. и по этому показателю преимущество следует отдать автопоезду типа «B-Double».

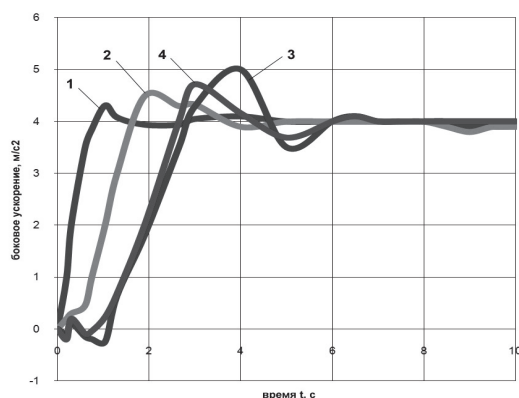
Аналогичные расчеты были выполнены и для последнего звена автопоезда при выполнении маневров «рывок руля», «переставка», «вход в поворот», «движение по кругу» (рис. 4).

Как следует из приведенных графиков, при выполнении маневра «рывок руля» максимальные боковые ускорения прицепных автопоездов № 1 и № 4 почти одинаковы и несколько превышают их значения для автопоездов № 2 и № 3; тем не менее, размах колебаний прицепа автопоезда № 4 (и при выполнении других маневров) значительно больше в сравнении со всеми другими автопоездами, т.е. устойчивость движения

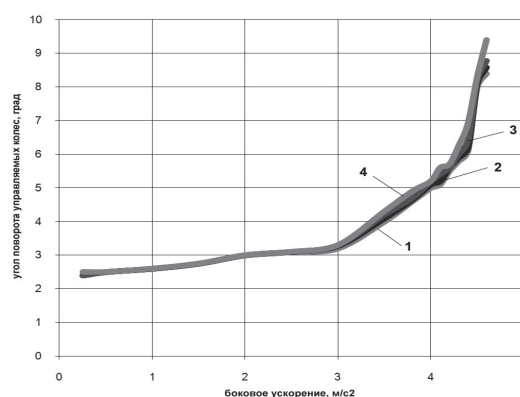
прицепного автопоезда с двумя прицепами ниже всех у рассматриваемых автопоездов.

В круговом движении при скорости 10 м/с боковые ускорения, которые действуют в центре масс автомобиля-тягача при незначительных углах поворота управляемых колес (до 10°), почти одинаковы для всех автопоездов, несмотря на то, что для последнего звена всех автопоездов ускорения существенно различаются.

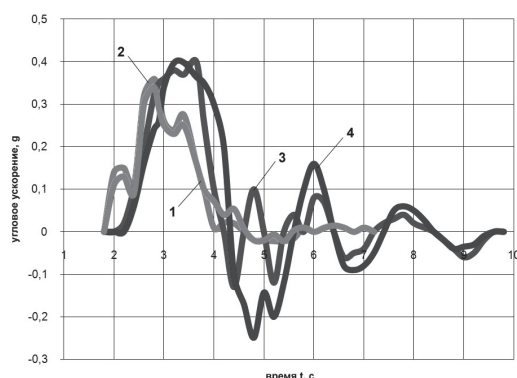
При увеличении скорости движения автопоезда наблюдается также увеличение значений всех параметров криволинейного движения; тем не менее, затухающий характер колебаний интегральных кривых относительно значений этих переменных в неустановившихся режимах показывает, что во всех вариантах скорости движения и угла поворота управляемых колес тягача, автопоезд после завершения переходных процессов обретает установившееся движение.



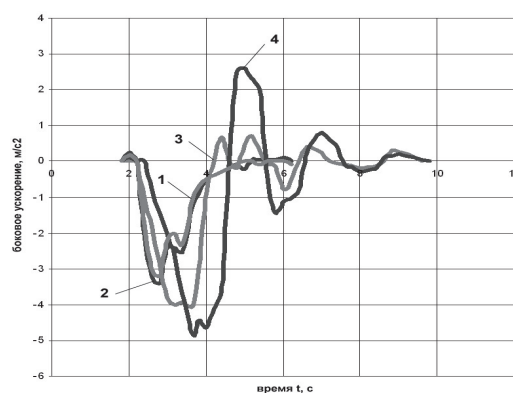
а



б



в



г

Рис. 4. Боковые ускорения центра масс последнего звена автопоезда при выполнении маневров «переставка» (а), «рывок руля» (б), «вход в поворот» (в) и «движение по кругу» (г)

В табл. 1 в качестве обобщающего параметра приведены значения коэффициента усиления ускорения последнего звена для всех типов автопоездов при скорости 15 м/с и маневре «рывок руля». Сопоставление полученного значения коэффициента усиления ускорения последнего звена автопоезда, при отсутствии крена кузова и с его учетом при скорости 15 м/с, указывает на значительное его увеличение от 12,9 % для автопоезда типа «B-Double» до 25,4 % – для прицепного автопоезда с двумя прицепами. Таким образом, учет крена кузова приводит к существенному ухудшению всех показателей устойчивости, в частности, предельной скорости движения при выполнении разных маневров (табл. 1), что необходимо учитывать при формировании трехзвенных автопоездов.

Таблица 1 Значения предельных скоростей автопоездов при выполнении маневров, км/ч

№ автопоезда	Маневр					
	«Переставка»		«Поворот $R=35$ м»		Коэффициент усиления бокового ускорения	
	плоская модель	пространственная модель	плоская модель	пространственная модель	плоская модель	пространственная модель
1	56,2	50,6	49,5	46,4	1,47	1,22
2	57,8	53,2	49,2	46,2	1,62	1,43
3	54,2	50,7	47,3	44,4	1,15	1,33
4	50,4	45,5	46,8	40,5	1,93	1,72

Только трехзвенные автопоезда – прицепной на подкатной тележке и типа «B-Double» – при выполнении маневров «переставка» и «поворот $R = 35$ м» (табл. 1) удовлетворяют нормативным требованиям (соответственно 50 км/ч и 46 км/ч). В то же время седельно-прицепной автопоезд и прицепной автопоезд с двумя прицепами этим требованиям не удовлетворяют, и для таких автопоездов необходимы определенные конструктивные решения для уменьшения колебаний прицепа.

Выводы

Установлено, что при анализе устойчивости движения автопоезда более информативным, чем боковые ускорения, является коэффици-

ент усиления бокового ускорения последнего звена автопоезда. Анализ результатов расчета показал, что наибольшего значения коэффициент усиления достигает для второго прицепа прицепного автопоезда. Сопоставление полученных значений коэффициента усиления ускорения последнего звена автопоезда, при отсутствии крена кузова и с его учетом при скорости 15 м/с, указывает на значительное его увеличение от 12,9 % для автопоезда типа «B-Double» до 25,4 % – для прицепного автопоезда с двумя прицепами. Таким образом, учет крена кузова приводит к существенному ухудшению всех показателей устойчивости, в частности, предельной скорости движения при выполнении разных маневров.

Литература

1. Шкварко К.В. Довгомірні триланкові автопоїзди – новий етап розвитку автомобільних перевезень в Україні на шляху до Європи / К.В. Шкварко // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів: науковий журнал. – 2003. – Вип. 17. – С.146-152.
2. Перспективные большегрузные автопоезда для евроазиатских перевозок / В.А. Топалиди (УНЦ AIRCUZ «BILIMINTE-TRANS»). [Електронний ресурс] / Режим доступу: www.iru-cis.ru/iru-moscow/2007/02_sr/doc/21/Topalidi_Uzbekistan_Rus.pdf.
3. Сахно В.П. Застосування розрахункових методів до визначення показників поперечної стійкості автотранспортних засобів / В.П. Сахно, В.М. Сондак // Автошляховик України. Проблеми розвитку автомобільного транспорту. Вісник ЦНЦ ТАУ. – 2000. – Окремий випуск №1. – С.80–83.
4. Сахно В.П. Рівняння руху моделі чотириланкового причіпного автопоїзда / В.П. Сахно, В.Г. Вербицький, А.Є. Бондаренко, О.А. Енглезі // Автошляховик України. Вісник ЦНЦ ТАУ. – 2007. – Окремий випуск №10. – С.117–120.

Рецензент: А.С. Полянский, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 16 апреля 2013 г.