

Ю. В. ДЕМИН, д.т.н., профессор, ДНДЦ УЗ (Украина)

## УСТОЙЧИВОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ПО В. А. ЛАЗАРЯНУ

Відзначається основна роль В. А. Лазаряна в становленні теорії стійкості руху рейкових екіпажів і подальшому її розвитку в створеній ним науковій школі механіків.

Отмечается основополагающая роль В. А. Лазаряна в становлении теории устойчивости движения рельсовых экипажей и дальнейшем ее развитии в созданной им научной школе механиков.

The background role of V. A. Lazaryan in formation of the theory of stability of motion of rail vehicles and its further development in the scientific school of mechanical engineering he created is noted.

Замечательным качеством В. А. Лазаряна как ученого и организатора науки было тонкое чувство предвидения в отношении тенденций развития научного поиска. Он обладал редкой способностью широкомасштабного прогнозирования научных направлений с постоянно возрастающей актуальностью.

Научная деятельность В. А. Лазаряна была неразрывно связана с созданием новой техники. В технике он черпал актуальные задачи механики. В технику он возвращал свои знания, обогащенные фундаментальными результатами научных исследований. Создание многих технических объектов транспортного машиностроения обязано личным участием в проектах В. А. Лазаряна.

В своем емком определении динамики подвижного состава как раздела механики машин, в котором находился центр приложения его интеллектуальных сил, В. А. Лазарян выделил три составляющих – устойчивость невозмущенного движения, колебания и переходные режимы движения.

Начало цикла многолетних исследований по проблеме устойчивости движения рельсовых экипажей положили две работы В.А. Лазаряна – «Собственные колебания тележечных грузовых вагонов», опубликованная в 1958 г. в Вестнике ВНИИЖТ [1], и «Власні коливання локомотивів», опубликованная в 1960 г. в журнале «Прикладна механіка» [2]. Опираясь на классические труды великого ученого А. М. Ляпунова, В. А. Лазарян впервые строго обосновал условия устойчивости движения рельсовых транспортных средств. Созданная В. А. Лазаряном и его соратниками Л. А. Длугачем и М. Л. Коротенко теория устойчивости рельсовых экипажей во многом определила последующее развитие этого раздела динамики подвижного состава [3].

К сожалению, неординарный подход В. А. Лазаряна к решению основополагающей проблемы динамики подвижного состава не был первоначально воспринят в среде ученых-железнодорожников. Так, например, некоторые из них ошибочно полагали, что явление потери устойчивости аналогично резонансному режиму. Больших усилий стоило В. А. Лазаряну и его ученикам изменить отношение к приложению теории устойчивости движения к исследованиям в области динамики рельсовых экипажей. Эта теория прошла сложный путь своего становления, прежде чем приобрела свою практическую значимость и получила широкое признание.

Убедительным доказательством действительности положений новой теории стали опыты со скоростным вагоном-лабораторией, оборудованным реактивными двигателями. В 1971 году, благодаря инициативе В. А. Лазаряна и смелому решению руководства Приднепровской железной дороги, были проведены динамические испытания СВЛ, в ходе которого на обычном участке пути была достигнута рекордная на то время скорость – 250 км/ч. С технической точки зрения эти опыты стали возможны потому, что, как показали наши расчеты, СВЛ обладал запасом устойчивости движения до 360 км/ч.

Сейчас стало привычным словосочетание «критическая скорость по влиянию рельсового экипажа». А в период становления теории устойчивости применительно к движению рельсовых экипажей надо было экспериментально доказать достоверность определения этой величины расчетным путем. В. А. Лазарян всегда придерживался правила «переплетения» теоретических и экспериментальных методов исследования. О необходимости объединения теории и эксперимента еще в начале развертывания фундаментальных исследований динамики

подвижного состава он писал [4]: «...теоретические исследования должны показать, что и как нужно мерить и какого порядка силы можно ожидать, а экспериментальные исследования должны дать возможность уточнить основные гипотезы и расчетные схемы с тем, чтобы, в случае необходимости, можно было исправить результаты теоретических исследований и выполнить нужные перерасчеты».

Поэтому, имея в своем распоряжении такой объект как СВЛ, В.А. Лазаряном принято решение о проверке методики моделирования задач устойчивости движения путем постановки, как он говорил, «академических опытов». При подготовке исследовательских испытаний СВЛ необходимо было определить, каким образом можно понизить его критическую скорость так, чтобы она стала ниже предельно достижимой по силе тяги спарки реактивных двигателей.

Расчетным путем было установлено, что критическую скорость можно снизить до уровня 160 км/час, если увеличить вдвое уклон поверхности катания колес, уменьшить момент сил сопротивления повороту тележки относительно кузова и ослабить связь колесных пар с рамами тележек. Соответствующие изменения конструкции ходовой части были осуществлены в Днепропетровском пассажирском вагонном депо.

Опыты с «испорченным» таким образом СВЛ показали, что при превышении скоростного диапазона 155-165 км/ч возникали интенсивные автоколебания виляния тележек. Так убедительно была доказана достоверность результатов исследования устойчивости движения рельсовых экипажей по методу В. А. Лазаряну [5].

Этим уникальным экспериментом завершился этап становления теории устойчивости движения. Сейчас, по прошествии времени, вполне достаточного для оценки степени развития исследований в области устойчивости движения рельсовых экипажей, можно с уверенностью утверждать, что в тот период достижения в этой области школы В. А. Лазаряна вышли на мировой уровень, опережая разработки многих зарубежных ученых. Гораздо позже, при отработке высокоскоростного поезда TGV французские специалисты также применили способ уменьшения сопротивления повороту ходовой части в плане для провоцирования потери устойчивости движения рельсового экипажа с целью получения данных о его динамических показателях в закритической области.

Благодаря научным достижениям В. А. Лазаряна, его имя стало широко известным в кругах зарубежных специалистов, занимавшихся проблемами динамики машин. Известный голландский ученый в области устойчивости движения профессор Дельфтского технологического университета А. Д. де Патер в то время писал: «...я думаю, что академик Лазарян был корифеем в области динамики и колебаний».

Благодаря плодотворности научных идей В. А. Лазаряна его последователям удалось получить ряд существенных результатов в области устойчивости движения рельсовых экипажей, которые, в частности, нашли практическое применение при отработке первых скоростных экипажей колеи 1520 мм – электропоезда ЭР-200 и вагонов локомотивной тяги РТ-200.

В последующем, развивая идеи В. А. Лазаряна, его ученики тем самым обогащали арсенал методов и средств для исследования устойчивости и колебаний рельсовых транспортных средств. Поскольку область применения разработанных ранее методов исследования устойчивости движения существенно ограничивалась системами, корректно приводимыми к линейным, основное внимание было уделено анализу систем с сильными нелинейностями, такими, например, как «сухое трение». Это обстоятельство вызвано тем, что конструкции многих типов экипажей насыщены узлами трения, работающими без смазочных материалов.

Исследования устойчивости движения рельсовых экипажей различных типов позволили установить основные закономерности зависимости показателей устойчивости от сочетания жесткостей горизонтальных связей колесных пар с рамами тележек и сил сухого трения в опорах кузова на тележки [6]. Так, было установлено, что при достаточно гибком в плане буксовом подвешивании, как это имеет место, например, в тележках пассажирских вагонов, критическая скорость возрастает с увеличением сил трения в опорах до определенной величины. При увеличении жесткостей горизонтальных связей колесных пар с рамами тележек до значений, характерных для моторных вагонов и локомотивов, критические скорости падают с ростом сил трения в опорах.

Изучение явления дестабилизации движения рельсового экипажа при включении фрикционных элементов в соединения кузова и ходовых частей послужило основанием для развития методов исследования самовозбуждающихся колебаний рельсовых экипажей с узлами сухого трения как систем переменной структу-

ры. Условия для структурных превращений многомассовых систем, представляющих расчетные модели экипажей, создаются вследствие действия сил сухого трения в сочленениях отдельных элементов. Результаты многих решений систем нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих боковые колебания вагонов различных типов и локомотивов, показывают, что в режиме установившихся автоколебаний для величин взаимных перемещений тел, соединенных фрикционными элементами, характерно периодическое установление постоянных значений. Следовательно, указанные тела в определенные промежутки времени перемещаются совместно. Таким образом, можно считать, что на исходную систему накладываются дополнительные связи, вследствие чего сокращается число степеней свободы.

Для полного описания основных особенностей исследуемых систем было предложено принимать во внимание весь спектр возможных структурных состояний, определяемых режимом работы связей, включающих пары трения. При этом нелинейной системе с фрикционными связями ставится в соответствие множество линейных подсистем. Каждая из подсистем соответствует одному из возможных состояний нелинейной системы. Такие подсистемы строятся в соответствии со структурными изменениями исходной системы вследствие поочередного записания связей с сухим трением. При этом диссипативные характеристики незапертых связей аппроксимируются эквивалентным вязким трением, параметры которого определяются итерационным путем по типу метода гармонической линеаризации.

Исследованием устойчивости соответствующих структурных состояний, которые могут принимать расчетные модели экипажей в автоколебательных режимах движения, установлено, что аппроксимирующие подсистемы в общем случае существенно отличаются по характеристикам устойчивости. Показано, что из спектра возможных для конкретной системы состояний определяющими развитие автоколебательных режимов являются наиболее неустойчивые подсистемы.

Применительно к системам переменной структура разработана методика выбора значений параметров, при которых исключается возможность развития автоколебаний либо существенно ослабляется их влияние на динамические характеристики систем. Предложенный подход к исследованию автоколебаний рельсовых экипажей позволил значительно расши-

рить области применимости разработанных В. А. Лазаряном и его учениками методов теории устойчивости движения.

В. А. Лазарян предвидел усиление роли математического моделирования при решении задач динамики подвижного состава железных дорог и поэтому уделял постоянное внимание применению прогрессивных методов в научно-исследовательских работах, проводимых под его руководством. Последующее пополнение научного инструментария в области механики рельсовых экипажей полностью подтвердило перспективность установки на опережающее развитие средств компьютерного моделирования динамики подвижного состава [7].

Подчеркивая необходимость «капитально заниматься увеличением скорости движения рельсовых экипажей», В. А. Лазарян указывал, что особую остроту проблема устойчивости приобретает в связи с созданием высокоскоростного рельсового транспорта. Это положение он объяснял тем, что если при обычно реализуемых скоростях движения потеря устойчивости единиц подвижного состава нежелательна из-за повышения нагруженности ходовых частей и, как следствие, ускоренных износов взаимодействующих элементов экипажей и пути, отбора мощности локомотивов для поддержания постоянной скорости движения поездов, в состав которых входят неустойчивые вагоны, то при высоких скоростях это явление недопустимо из-за реальной угрозы безопасности движения. Поэтому в школе В. А. Лазаряна проблемы стабилизации движения высокоскоростных экипажей всегда оставались в центре научного поиска.

Сегодня обязательной составляющей современных научно-технических разработок, сопровождающих создание локомотивов и вагонов новых поколений, являются исследования устойчивости их движения. Цель этих исследований заключается в выборе такой совокупности значений параметров и соответствующих технических решений, при которых критическая скорость движения каждого нового экипажа будет превышать конструкционную. Такой принцип в свое время установил В. А. Лазарян. Своими фундаментальными научными результатами он убедительно доказал, что, не решив проблему устойчивости, ни о каком высоком качестве хода любого транспортного средства, движение которого направляется рельсовой колеей, не может быть и речи. Так устойчивость движения по В. А. Лазаряну продолжает работать в интересах железнодорожного дела,

обеспечивая принятие прогрессивных технических решений при создании новой техники и способствуя тем самым выходу железнодорожного транспорта на рельсы устойчивого технического развития.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лазарян, В. А. Собственные колебания тележечных грузовых вагонов [Текст] / В. А. Лазарян / Вестник ВНИИЖТ. – 1958. – № 2. – С. 7-12.
2. Лазарян, В. А. Власні коливання локомотивів [Текст] / В. А. Лазарян / Прикл. механіка. – 1960. – № 1. – С. 31-39.
3. Лазарян, В. А. Устойчивость движения рельсовых экипажей [Текст] / В. А. Лазарян, Л. А. Длугач, М. Л. Коротенко. – К.: Наук. думка, 1972. – 200 с.
4. Лазарян, В. А. Динамика транспортных средств: Избр. тр. [Текст] / В. А. Лазарян. – К.: Наук. думка, 1985. – 528 с.
5. Лазарян, В. А. Экспериментальная проверка методов исследования устойчивости движения рельсовых экипажей [Текст] / В. А. Лазарян, Ю. В. Демин, Г. Ф. Осадчий // Некоторые задачи механики скоростного наземного транспорта. – К.: Наук. думка, 1974. – С. 3-13.
6. Автоколебания и устойчивость движения рельсовых колебаний [Текст] / Ю. В. Демин и др. – К.: Наук. думка, 1984. – 160 с.
7. Демин, Ю. В. Математическое моделирование и динамика подвижного состава железных дорог [Текст] / Ю. В. Демин, Р. Ю. Демин, А. Ю. Черняк // Залізн. трансп. України. – 2007. – № 4. – С. 3-8.

Поступила в редколлегию 12.08.2009