



Днепропетровский национальный университет железнодорожного  
транспорта имени академика В. Лазаряна

**АКАДЕМИК**  
**ЛАЗАРЯН ВСЕВОЛОД АРУТЮНОВИЧ**

Серия «Профессора ДИИТа»



Днепропетровский национальный университет железнодорожного  
транспорта имени академика В. Лазаряна

Академик Лазарян Всеволод Арутюнович

Серия «Профессора ДИИТа»



Днепропетровск  
2009

Лазарян Всеволод Арутюнович. Серия «Профессора ДИИТа». – Днепропетровск, 2009. – 45 с.

В настоящем издании приведены краткие сведения о жизни, научной и педагогической деятельности академика Лазаряна В. А., который 17 лет возглавлял институт и 34 года – кафедру строительной механики.

Издание посвящается 100-летию со дня рождения академика Лазаряна В. А.

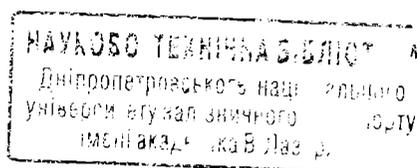
Редакционная коллегия:

Мямлин С. В., д.т.н., профессор (председатель)

Блохин Е. П., д.т.н., профессор

Климснко И. В., к.т.н, доцент

Карпенко В. В., с.н.с.





Всеволод Арутюнович Лазарян

## Уважаемые коллеги!

В следующем году наш Университет будет отмечать 80 лет со дня основания.

Инициатива создания ДИИТа, руководство строительством ныне чудесного городка – парка с его учебными и спортивными корпусами, стадионами, плавательным бассейном и общежитиями, домами для сотрудников, поликлиникой, котельной и другой инфраструктурой, организация факультетов, кафедр и лабораторий, привлечение научных и педагогических кадров принадлежат выдающемуся организатору – первому начальнику ДИИТа Никандру Михайловичу Федиченко.

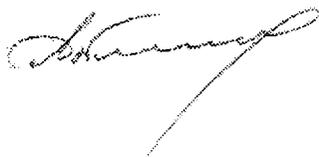
И, тем не менее, наш, теперь уже Национальный Университет железнодорожного транспорта носит имя академика В. А. Лазаряна, который как начальник ДИИТа успешно продолжил дело своего предшественника в военные и послевоенные годы: организовал восстановление института, обеспечил открытие новых учебных специальностей, новых кафедр, лабораторий и факультетов, способствовал созданию и развитию научных школ по многим направлениям науки и техники. Научную школу в области нелинейной механики и мостов возглавил ученик В. А. Лазаряна д.т.н., профессор Н. Г. Бондарь, ставший в последующем академиком АН Украины, в области оснований и фундаментов – д.т.н., профессор М. Н. Гольдштейн, в области строительных конструкций – Лауреат Сталинской премии, д.т.н., профессор М. М. Сахновский, в области локомотивостроения – д.т.н., профессор В. Н. Тверитин, пути и путевого хозяйства – д.т.н., профессор М. А. Фришман, управления перевозочным процессом – д.т.н., профессор Н. Р. Ющенко.

Однако, среди этих школ особенно выделяется та, которую непосредственно создал доктор технических наук профессор В. А. Лазарян на базе кафедр строительной механики, теоретической механики и созданной им Отраслевой научно-исследовательской лаборатории динамики и прочности подвижного состава железных дорог. Кафедра строительной механики и упомянутая лаборатория стали кузницей научно-педагогических кадров не только для ДИИТа, но и других учебных, научных заведений и предприятий промышленности. Это подразделение института стало одним из ведущих, вокруг которого сконцентрировалась научно-исследовательская деятельность многих кафедр.

Прошло уже 30 лет, как ушел от нас профессор В. А. Лазарян, но созданные им коллектив, научная школа продолжают успешно работать под руководством д.т.н., профессора, Лауреата государственной премии в области науки и техники Е. П. Блохина, который стал преемником своего учителя по кафедре и лаборатории. Лаборатория сотрудничает с железными дорогами и предприятиями транспортного машиностроения не только в Украине, но и за рубежом. Ведет на условиях хозяйственных договоров работы с железными дорогами и предприятиями Польши, Литвы, Ирана.

Вклад академика Всеволода Арутюновича Лазаряна в развитие нашего Университета неосценим. Отмечая 100-летие со дня его рождения, мы предлагаем посвященное ему издание «Профессора ДИИТа».

Ректор университета,  
д.т.н., профессор,  
Лауреат государственной  
премии



А.Н. Пшынко

**УЧЕНЫЙ, ПЕДАГОГ, ОРГАНИЗАТОР НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ  
(К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА  
ВСЕВОЛОДА АРУТЮНОВИЧА ЛАЗАРЯНА)**

Многогранная деятельность Всеволода Арутюновича Лазаряна, 100-летие со дня рождения которого мы сегодня отмечаем, высвечивается многими яркими сторонами. Однако наиболее заметна из них та, что связана с ролью талантливого ученого и педагога, организатора науки и высшего образования, профессора, требовательного, внимательного и заботливого учителя.

Природная одаренность Всеволода Арутюновича в сочетании с его высокой требовательностью к себе, колоссальной работоспособностью, обаянием, высокими моральными качествами, создали сплав незабываемого человека.

Конечно же, фундамент всему этому был заложен еще в семье Арутюна Лазаревича Лазаряна – военного врача и его супруги Нсонины Васильевны – учительницы гимназии, а затем средней школы, проживающих в ту пору в городе Орехове Запорожской области (бывшая Таврическая губерния), а потом в городе Бердянске.

Поступлению Всеволода Лазаряна в горный институт предшествовали трудовая (1923 г.) и профтехшкола (1924-1925 гг.) в Орехове и Бердянске, Днепропетровский строительный техникум путей сообщения (1925-1927 гг.).

В 1927 г. он уходит с последнего курса техникума для поступления на маркшейдерское отделение горно-геологического факультета Днепропетровского горного института. Во время обучения он работает техником-вычислителем в Горном институте, занимается уравнительными вычислениями координат точек тригонометрической триангуляции в Донбассе, работает техником в управлении Сталинской железной дороги на изысканиях станции Нижнеднепровск-Узл. Горный институт окончил в 1931 году, получив звание инженера-маркшейдера. «От техника Екатерининской железной дороги до действительного члена Академии наук Украины» – так напишет газета много лет спустя.

Еще будучи студентом IV курса Горного института, В. Лазарян начал работать ассистентом кафедры строительной и теоретической механики Днепропетровского горного и транспортного институтов. Студент и одновременно преподаватель института, нужно согласиться, событие далеко неординарное.

Осенью 1931 г. он был принят в аспирантуру по кафедре строительной механики Днепропетровского института инженеров транспорта. Аспирантуру проходил под руководством профессора прикладной математики Абрама Савельевича Локшина – одного из учеников академика Александра Николаевича Динника. Одновременно В. Лазарян был сотрудником механической лаборатории академика А. Н. Динника и участвовал в работе руководимого им семинара.

В декабре 1932 года В. Лазарян защитил аспирантскую работу на тему «О форме переходной кривой», которая была посвящена теоретическим основам выбора рациональной переходной кривой на железных дорогах. Эта работа опубликована в сборнике трудов ДИИТа № 1. С января 1933 года он – доцент кафедры теоретической и строительной механики Днепропетровского горного и транспортного институтов.

В 1934 году двадцатипятилетний доцент Лазарян был одним из докладчиков на II Всесоюзном математическом съезде в Ленинграде. Доклад был опубликован во втором томе трудов съезда. В этом же году, после смерти профессора А. С. Локшина, В. А. Лазаряна назначают исполняющим обязанности заведующего кафедрой строительной механики ДИИТа. С 1933 до 1938 г. в разное время он – ученый секретарь, заместитель начальника и начальник научно-исследовательского сектора ДИИТа. При этом вплоть до 1941 года непрерывно работал по совместительству в Днепропетровском горном институте.

В декабре 1940 года в Ленинградском институте инженеров транспорта В. А. Лазарян защищает докторскую диссертацию на тему «К вопросу о динамических усилиях в упругих приборах поездов». В апреле 1941 года ему была присуждена ученая степень доктора технических наук и звание профессора кафедры строительной механики. В этом же месяце он был назначен начальником ДИИТа.

Эвакуация института в Новосибирск, исполнение обязанностей заместителя начальника Новосибирского института военных инженеров по научной и учебной работе, вновь начальника ДИИТа, реэвакуация в Днепропетровск, восстановление института и студенческого городка легли на плечи молодого генерал-директора пути и строительства III ранга профессора В. А. Лазаряна.

С 1930 года в течение 48 лет Всеволод Арутюнович неразрывно связан с ДИИТом и особенно с кафедрой строительной механики, Отраслевой научно-исследовательской лабораторией динамики и прочности подвижного состава железных дорог, им созданной. Мысли о ДИИТе, о подготовке инженеров занимали его даже в пору большой занятости по организации в Днепропетровске нового академического института.

Всеволоду Арутюновичу было присуще редкое сочетание ученого и выдающегося педагога. Его лекции поражали строгостью доказательств, логичностью, исключительной доступностью изложения. Он до конца жизни не оставлял педагогическую работу в ДИИТе: чтение лекций, работу со студентами и аспирантами. Его лекции, глубокие по научному содержанию, блестящие по форме, привлекали не только студентов. Преподаватели и аспиранты нашего и других институтов постоянно посещали их. Многие из нас учились у Всеволода Арутюновича лекторскому мастерству, умению доходчиво и интересно объяснить сложный материал, зародить интерес к предмету, к рассматриваемой на лекции задаче. Профессор Лазарян все время заботился о повышении квалификации своих коллег. На кафедре строительной механики постоянно работал методический семинар, на котором опытные преподаватели, а зачастую и сам Всеволод Арутюнович, рассказывали начинающим ассистентам, какую именно задачу следует решать со студентами и как ее доходчиво объяснить, даже какими рисунками это решение следует сопровождать. Иногда на семинарах разгорался спор о методике преподавания того или иного раздела. Причем Всеволод Арутюнович никогда не навязывал безапелляционно свое мнение.

На кафедральных семинарах рассматривались вопросы о том, как привязать ту или иную тему занятия к практике, чтобы занятия не оставались схоластическим. Такую возможность доставляла обширная научная деятельность коллектива, возглавляемого профессором Лазаряном.

Всеволод Арутюнович был очень требователен к себе при подготовке каждой лекции, много внимания уделял методическому обеспечению учебного процесса, развитию его материальной базы. По его инициативе были поставлены многие оригинальные курсы и лабораторные работы по ним. Он был противником методических указаний в духе «шпаргалок», но постоянно работал над созданием учебников, учебных пособий, которые были бы доходчивы для студента и одновременно поднимали обучение на новую ступень.

Им изданы «Лекции по теории колебаний» (1954 г.), «Энергия деформаций» (1955 г.), «Применение математических машин непрерывного действия к решению задач динамики подвижного состава железных дорог» (1962 г.), «Динамика вагонов» (1964 г.), «Напряжения и деформации» (1964 г.), «Элементы операционного исчисления» (1964 г.), «Устойчивость движения рельсовых экипажей» (совместно с Л. А. Длугачем и М. Л. Коротенко) (1972 г.), «Энергия деформаций и перемещения линейных систем» (1972 г.), «Обобщенные функции в задачах механики» (совместно с С. И. Конашенко) (1974 г.), «Техническая теория изгиба» (1976 г.). Всего Всеволод Арутюнович опубликовал 364 научные работы.

По этим книгам учились и учатся студенты, они оказались настольными книгами многих преподавателей, научных работников и инженеров.

В научном наследии академика В. А. Лазаряна доминирующее место занимают исследования переходных режимов движения такой сложной механической системы, какой является железнодорожный поезд. Только этой проблеме посвящены его монография «Исследование неустановившихся режимов движения поездов» (1949 г.) и более 100 научных статей, написанных им и совместно с его учениками. Значительное место занимают и работы, посвященные исследованиям устойчивости невозмущенного движения подвижного состава железных дорог и его взаимодействия с железнодорожной колеей. На нынешней конференции по этим научным направлениям специально будут сделаны доклады, и это освобождает меня от необходимости привлечь к ним ваше внимание.

Академик Лазарян подготовил около 20 докторов и свыше 100 кандидатов наук, которые теперь руководят вузами и кафедрами, возглавляют отделы научно-исследовательских институтов, являются ведущими учеными и преподавателями ряда институтов страны, ведущими специалистами различных предприятий промышленности и транспорта.

Среди тех, кто окончил аспирантуру у Всеволода Арутюновича или выполнили под его руководством докторские диссертации, академик Н. Г. Бондарь, член-корреспондент В. Ф. Ушкалов, профессора Е. П. Блохин, Г. И. Богомаз, Ю. В. Демин, М. Л. Коротенко, О. М. Савчук, Ю. А. Шевляков и многие другие.

Кафедра строительной механики подготовила для ДИИТа: двух ректоров (д.т.н., профессор В. А. Лазарян, профессор В. А. Каблуков); шесть проректоров (кандидаты технических наук В. М. Мещерков и С. И. Конашенко, доктора технических наук: Н. Г. Бондарь, Е. П. Блохин, О. М. Савчук, С. В. Мямлин); трех деканов (профессор Н. Г. Бондарь, кандидаты технических наук А. Г. Гальченко и В. Я. Нечай); 17 заведующих кафедрами (строительной механики, зданий и строительных материалов, вагонов, электроподвижного состава, пути и путевого хозяйства, компьютерных и информационных технологий, локомотивов, мостов, прикладной математики, теоретической механики); 9 докторов наук, 56 кандидатов наук, доцентов для 14 кафедр университета.

В 1979 году Днепропетровский горком комсомола учредил премию имени академика В. А. Лазаряна.

Первыми ее лауреатами оказались выпускники ДИИТа:

- Сергей Блохин – ныне д.т.н., профессор, декан Национального горного университета, заведующий кафедрой теоретической, строительной и прикладной механики;
- Виктор Нечай – ныне к.т.н., доцент, декан нашего университета;
- Сергей Крюков, Людмила Маслеса, Людмила Урсулак – кандидаты технических наук, доценты ДИИТа;
- Сергей Редько – д.т.н., профессор Института технической механики НАН Украины (ИТМ);
- Ольга Маркова – ныне к.т.н., ученый секретарь ИТМ;
- Надежда Науменко – ныне к.т.н., заведующая отделом ИТМ;
- Татьяна Мокрый и Наталья Тульчинская – ныне к.т.н., старшие научные сотрудники ИТМ НАН Украины.

С участием этих, в ту пору молодых, ученых создавались методики математического моделирования переходных режимов движения поездов, взаимодействия подвижного состава с искусственными сооружениями и земляным полотном, решались задачи об устойчивости движения рельсовых экипажей. Результаты исследований использовались в университетах и конструкторских бюро, с учетом их были даны рекомендации к техническим требованиям на проектирование поглощающих аппаратов автосцепки, а рекомендации, связанные с оценкой нагруженности подвижного состава при различных переходных режимах во время движения поездов по пути ломаного профиля, вошли в новые Нормы проектирования продольного

профиля пути (Строительные нормы и правила. Часть II. Нормы проектирования. Глава 39 – Железные дороги колеси 1520 мм. – СНиП-II-39-76. – М.: Стройиздат, 1977).

Думая об истоках колоссального авторитета своего учителя, его славе и широкой известности не только в стране, но и за ее пределами, любви и привязанности к нему тысяч разных людей, приходишь к выводу, что они кроются, прежде всего, в его человеческих качествах, в его высокой нравственности и порядочности, в его стремлении помочь человеку даже в условиях ограничений, наложенных теми или иными канонами.

Семнадцатилетняя деятельность Всеволода Арутюновича как начальника ДИИТа в самые тяжелые для страны военные и послевоенные годы позволила наиболее ярко проявить эти качества.

Вот два примера. Студент Анатолий Плюйко – бывший фронтовик обратился в голодные послевоенные годы к начальнику ДИИТа В. А. Лазаряну с просьбой об отчислении его по состоянию здоровья (открытая форма туберкулеза). Студента не отчислили, а выделили ему отдельную комнату в общежитии, направили на несколько месяцев для бесплатного лечения и дали возможность закончить институт. И еще. В те же годы звонят из общежития ДИИТа домой В. А. Лазаряну и сообщают, что студентка вот-вот будет рожать. Начальник ДИИТа заводит единственный в институте старенький «Москвич», забирает эту студентку из общежития и вносит в родильное отделение больницы. Такое ведь не забывается.

Подобных примеров много. Именно поэтому тысячи ДИИТовцев тех лет сохраняют благодарную память о своем учителе и передают ее своим детям.

Для всех нас Всеволод Арутюнович был и остается примером самоотверженного служения науке, образованию, народу.

Профессор Е. П. Блохин – ученик академика В. А. Лазаряна, д.т.н., лауреат Государственной премии и премии имени академика А. Н. Динника, заслуженный работник высшей школы, зав. кафедрой строительной механики.

## МОИ ВОСПОМИНАНИЯ О В. А. ЛАЗАРЯНЕ

Я уже не молод и, возможно, напутаю в деталях моих воспоминаний, но я знал В. А. Лазаряна, наверное, более 40 лет. Я помню нашу первую встречу с ним в кабинете одного из умнейших людей МИИТа профессора А. Ф. Смирнова. Вошёл энергичной походкой темноволосый человек в очках, и лицо Анатолия Филипповича «расплылось» в широкой улыбке. Они говорили недолго, я был невольным свидетелем их разговора, и по отдельным фразам я понял, что это люди одного ранга. А когда Всеволод Арутюнович ушёл из кабинета, Анатолий Филиппович мне сказал, что это, как он считает, самый знающий в вопросах механики человек из всех кафедр железнодорожных периферийных вузов нашей страны.

Потом я помню время, когда Всеволода Арутюновича избрали в Республиканскую Академию наук. Тогда мне пришлось познакомиться с некоторыми его учениками. Я не склонен в этой маленькой статье перечислять все заслуги В.А. Лазаряна перед наукой и людьми, но мне кажется, я почти уверен, что его можно назвать отцом серьёзной постановки науки: «Динамики рельсовых экипажей» в СССР. Сам я по образованию «мостовик», но судьбе было угодно приобщить меня к преподаванию курса «Теоретической механики». И поэтому, в общем-то, случайно, круг моих интересов пересёкся с вопросами исследования различных вопросов, возникающих при проектировании подвижного состава. Нужно сказать, что уровень многих работ, выполняемых на прикладных кафедрах, в то время страдал недостаточной корректностью и чёткостью.

И вот тут, я уже не помню в каком году, я познакомился с книгой В. А. Лазаряна «Динамика подвижного состава». Как человек не так уж далёкий от теоретической механики, я был поражён глубиной и охватом многих теоретических вопросов динамики, которые применял Всеволод Арутюнович при решении чисто технических задач.

Можно сказать, что В. А. Лазарян первый у нас в стране широко использовал методы Аналитической механики при решении задач динамики подвижного состава для инженерных задач, исследования движения рельсового транспорта.

Более того, ведя в течение 15 лет курс «Аналитической механики» на факультете повышения квалификации преподавателей МИИТа, я был убежден, что многим преподавателям кафедр эта книга оказалась не «по зубам». А вот постепенно с легкой руки Всеволода Арутюновича почти все молодые аспиранты кафедры подвижного состава в авторефератах своих диссертаций писали: «Уравнения движения, составленные с помощью уравнения Лагранжа II рода. В.А. Лазарян четко сформулировал задачу оценки устойчивости движения рельсового экипажа в виде диссипативной механической системы.

А каким человеком он был! Не просто замечательный учёный, но и педагог, организатор, умеющий собрать вокруг себя талантливую молодёжь и создать ей все возможные для того времени условия для творческой работы. Всеволод Арутюнович не был «сухим» теоретиком, он участвовал во многих экспериментах, включая и натурные исследования, помогая исполнителям организовывать эксперимент и осмыслить его результаты. А как он умел бережно и вместе с тем квалифицированно вести научные конференции, совещания, Советы по защита диссертаций. В 1965 году я имел удовольствие докладывать в ДИИТе первый раз результаты некоторых своих исследований. И я до сих пор помню, как внимательно отнёсся к этому докладу В. А. Лазарян. Очень чётко и строго он рассматривал все диссертации, которые защищались в ДИИТе по его специальности. Говорю об этом не понаслышке, а как оппонент, выступающий на его «Совете». Его знания и исключительные человеческие качества позволили ему создать целую школу весьма квалифицированных специалистов по механике подвижного состава, среди которых имеется много докторов и даже академиков. Тщательно относясь к работам и мнениям других учёных, Всеволод Арутюнович очень аккуратно давал им оценки. Например, заметив какую-нибудь ошибку

или явную глупость в научной работе коллеги, он мог высказать примерно такое суждение: «Это не механика! Это выше моего понимания. Это находится по ту сторону добра и зла». Каюсь, но последнее изречение я использую иногда в своём общении с коллегами. Я счастлив, что мне удалось в какой-то промежуток моей длинной жизни знать, учиться и общаться с великим учёным, организатором науки и прекрасным человеком – Всеволодом Арутюновичем Лазаряном.

Г. П. Бурчак – к.т.н, профессор  
(Москва, Россия)

## ОБ УЧИТЕЛЕ

Я впервые встретил Всеволода Арутюновича Лазаряна осенью 1942 г в г. Новосибирске во время Великой Отечественной Войны при поступлении в ДИИТ после сдачи экстерном экзаменов за среднюю школу. Он сразу произвел на меня неизгладимое впечатление, и я почувствовал к нему огромное уважение. Всеволод Арутюнович в нашем потоке читал лекции по теоретической механике и сопротивлению материалов. Он нам читал лекции так, что все было предельно ясно. Когда мне самому пришлось читать лекции, я всегда старался читать их так, чтобы они в какой-то степени походили на лекции В.А. Лазаряна. Я был очень рад и горд, когда Всеволод Арутюнович в 1956 г пригласил меня работать ассистентом на кафедре строительной механики (он был тогда начальником института и заведующим кафедрой строительной механики). С тех пор моя жизнь была связана с В. А. Лазаряном. Он был строгим, но очень справедливым, доступным и добрым начальником. Любой сотрудник института (преподаватель, рабочий) или студент могли прийти к нему за помощью, если у него случалась беда, и Всеволод Арутюнович всегда шел ему навстречу.

Создавая факультет вычислительной техники, Всеволод Арутюнович первым стал читать лекции по программированию, а мы, преподаватели кафедры строительной механики, вели практические занятия в академических группах.

Я нередко бывал в доме Всеволода Арутюновича на праздниках и в день его рождения. Он был очень гостеприимным хозяином, любил во время застолья читать стихи своего любимого поэта А. К. Толстого и за столом всегда был бессменным тамадой.

И. Г. Барбас – профессор кафедры строительной механики

В 1962 году группа выпускников механического факультета из пяти человек была направлена на Ждановский завод тяжелого машиностроения (ныне – ОАО "Азовмаш", г. Мариуполь).

Все мы были в значительной мере воспитанниками академика Лазаряна Всеволода Арутюновича. Именно он, лично, читал нам лекции по динамике подвижного состава. В то время применение вычислительной техники было чем-то сверхъестественным и не все понимали ее возможности и перспективы. Но Лазарян Всеволод Арутюнович уже в то время в лаборатории «Динамика подвижного состава» проводил исследования с использованием аналоговых вычислительных машин. Студенты следили за этим процессом как за каким-то фантастическим чудом.

До сих пор прекрасно помню остроумие Лазаряна. На одной из лекций он, обращаясь к весело щелбавшей студентке, заметил: «Вам мои рассуждения до этого предмета» и показал на лампочку.

Вся система преподавания в ДИИТе была заложена этим выдающимся человеком. Его авторитет был непререкаем. О качестве преподавания говорит то, что из пяти выпускников прибывших на завод двое впоследствии стали докторами технических наук, один кандидатом технических наук.

Начало шестидесятых было периодом становления молодого завода, и нам, молодым специалистам, довелось участвовать в становлении проектно-конструкторского дела.

Так, Кельрих М. Б. занимался вопросами прочности и динамики подвижного состава, внес большой вклад в создание современной испытательной базы на заводе. Ныне он доктор технических наук, заведующий кафедрой "Вагоны" Киевского университета экономики и технологии транспорта, профессор.

Лагута Виктор Степанович возглавлял конструкторское бюро, создавшее первые на заводе полувагоны. Впоследствии кандидат технических наук, заместитель директора УкрНИИВ (Украинского научно-исследовательского института вагоностроения).

Пархотько Валерий Владимирович спроектировал а затем оказывал помощь в организации эксплуатации грузовых вагонов на Кубе.

Работа Губарева Виктора Дмитриевича не была связана с вагоностроением. Он занимался обеспечением ракетных стартов на космодроме Байконур.

Автор этой статьи также стал доктором технических наук. Знания, которые мы получили в те далекие годы, оказались настолько глубоки и востребованы, что до сих пор они актуальны.

Я искренне благодарен судьбе, что мое формирование как специалиста проходило под огромным влиянием выдающегося человека – Лазаряна Всеволода Арутюновича.

В.М. Бубнов, д.т.н., профессор, член-корр.  
Международной инженерной академии  
и инженерной академии Украины,  
директор – Генеральный конструктор  
Головного специализированного  
конструкторского бюро вагоностроения

## РАЗВИТИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ ПОЕЗДА В ТРУДАХ В. А. ЛАЗАРЯНА И ЕГО УЧЕНИКОВ

Проблемы динамики поезда – одно из серьезнейших направлений механики железнодорожного транспорта, как по своей технической значимости, так и по трудностям решения поставленных задач. Это и задача прогнозирования нагрузок, действующих на путь и вагоны, каждый из которых, в свою очередь, вместе с грузом есть сложная динамическая система с нелинейными связями её элементов. Без знания нагруженности всех элементов системы нельзя прогнозировать их долговечность и определять мероприятия для её обеспечения. Это и задача выбора технических параметров ряда устройств таких как амортизаторы ударов и рессорное подвешивание кузовов экипажей. Это и задача безопасного и оптимального управления движением поезда. Это и задача обеспечения безопасности движения и пассажиров при, хотя и мало вероятных, но возможных аварийных режимах движения поездов, обеспечение сохранности транспортируемых грузов и самого оборудования экипажей. Это и задача определения параметров железнодорожного пути. Сложность проблемы, в целом, в ее существенной многомерности, в сложной реологической природе деформирующихся материалов и устройств, которые, в свою очередь, принципиально нелинейные и, более того, описываются негладкими функциями.

Первые математические модели железнодорожного поезда в России были предложены Н. Е. Жуковским [1]. Одна из этих моделей представляла поезд как упругий стержень с массой (локомотивом) на одном из его концов. Такая модель позволяла использовать для решения задачи о продольных колебаниях поезда аппарат решения уравнения математической физики. Вторая модель представляла поезд в виде цепочки упруго соединённых твёрдых тел. Обе модели позволяли лишь оценить наибольшие силы, возникающие при трогании растянутого (без проявления зазоров) поезда. Впоследствии эти подходы были существенно усовершенствованы В. А. Лазаряном [2-6, 64, 68, 104], который рассмотрел физически более близкую к реальному растянутому поезду модель, представив его в виде стержня с упругими несовершенствами. несовершенства представлялись элементами соединений тел с постоянным коэффициентом вязкости и с коэффициентом вязкости, обратно пропорциональным частоте собственных упругих колебаний стержня. Такой подход позволил не только оценить наибольшие силы при трогании поезда, но и рассчитать их изменении во времени, адекватно отражающее аналогичный процесс, получаемый в испытаниях реального поезда. При этом, для решения задачи было эффективно использовано применение обобщённых координат [6-18] и операционное исчисление. Подобная модель была также использована С. В. Вершинским в работе «Продольная динамика вагонов в грузовых поездах» (Тр. ВНИИЖТа, 1957, вып. 143, 263с.).

Успехи в этом направлении позволили В. А. Лазаряну вместе со своими учениками расширить круг решаемых задач, связанных с проблемами вождения и формирования поездов. С этой моделью были получены решения по соударению сжатых сцепов вагонов (П. С. Бодянов) [25], по переходному режиму при торможении сжатого поезда (А. И. Стукалов), по колебаниям неоднородных поездов и поездов с массивными включениями (Е. П. Блохин) [24, 30], по колебаниям поезда без зазоров в соединениях, движущегося по переломам продольного профиля пути (И. Г. Барбас) [28, 29], колебаниям сцепов и поездов без зазоров в соединениях вагонов с подвижными грузами, типа наливных (Г. И. Богомаз, Л. А. Манашкин, А. В. Рыжов) [119, 121, 122, 136]. Использование метода Даламбера для решения задачи о колебании стержня с упруго-фрикционной зависимостью силы от деформаций позволило получить замкнутое выражение для расчёта распределения вдоль состава наибольших сил и ускорений при трогании растянутого поезда с места, в том числе при учёте сопротивления движению, а также в случаях торможения

сжатого поезда при различных соотношениях скорости бега волны пневматического включения тормозов (Л. А. Манашкин, А. В. Рыжов) [104]. Волновые процессы в поезде позволили определить ряд интегральных характеристик элементов системы в целом [142].

Высоко эрудированный и разносторонний по своим знаниям и интересам В. А. Лазарян один из первых в Украине построил в ДИИТе электрическую RLC модель (36 контуров) для решения линейных и нелинейных задач продольной динамики поезда [12, 13, 16, 19, 27, 31]. На этой модели были повторены задачи, решённые ранее, и впервые решена задача по торможению растянутого поезда (А. И. Стукалов), когда в процессе формирования сжимающих сил проявлялись зазоры в соединениях вагонов.

Появление электронных аналоговых и цифровых вычислительных машин привело к рассмотрению дискретной расчётной схемы поезда, когда каждый вагон представлялся одним твёрдым телом, а соединения вагонов представляли специальными элементами, достаточно точно моделирующими работу соединения вагонов, оборудованных упруго-фрикционными поглощающими аппаратами. Ранее подобная задача для линейных упруго-вязких систем решалась Т. Л. Городской. Одновременно с этим апробировались различные численные методы интегрирования многомассовых систем дифференциальных уравнений движения с негладкими правыми частями (Е. П. Блохин, Л. В. Белик, В. А. Каблуков, Л. А. Манашкин, В. А. Музыкин) [36, 48, 71]. С помощью АВМ была построена специализированная модель поезда [33, 39, 40], позволившая исследовать переходные режимы при трогании сжатых поездов, движении их по переломам продольного профиля пути (И. Г. Барбас) [38], троганиях электропоездов (В. А. Каблуков) [37], изучить влияния зазоров в соединениях вагонов и различных параметров фрикционных поглощающих аппаратов на уровни сил и ускорений вагонов (Л. А. Манашкин, А. В. Рыжов) [64], формировать в заданных диапазонах величин случайные начальные состояния поезда и сил управления с целью имитации реальных условий формирования нагрузок для оценок надёжности и долговечности подвижного состава (Л. А. Манашкин, А. М. Бондарев, М. М. Кедря) [95, 96, 117, 126, 131], исследовать аварийные столкновения электропоездов и параметры элементов защиты (Л. А. Манашкин, В. А. Музыкин) [46, 49, 62, 65, 76] по заказу ВНИИ Вагоностроения, Москва (Л. Кузьмич, А. Иванов), имитировать движение объединённого поезда и возникающие в нём динамические нагрузки при работе реальной системы управления вспомогательным локомотивом (Е. П. Блохин, В. Н. Захаров, М. Е. Итин, Л. А. Манашкин) [89, 114].

По мере увеличения быстродействия ЦВМ центр тяжести в решении задач динамики поезда переместился к ним (Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин, Л. В. Белик, Н. И. Грановская, Л. Г. Маслеева, Л. В. Урсуляк, К. И. Железнов) [142, 146, 164-174]. Критерием достоверности результатов моделирования служили данные обширных экспериментальных исследований, проводимых НИЛ динамики и прочности подвижного состава ДИИТа в реальных условиях железных дорог бывшего СССР под руководством В. А. Лазаряна [26, 32, 37, 52, 54, 57, 75, 98, 112, 146] и Е. П. Блохина [22, 90, 123, 155-163].

В 1961 году сотрудник кафедры математики МИИТа Н. А. Панькин в своей работе «Распространение сильных возмущений в поезде» (Ученые записки ВЗИИТа, 1961, вып. 7, с. 105-166) предложил использовать для анализа процессов в поездах газодинамическую модель поезда. При этом рассматривалось равномерное нарастание скорости локомотива подобно равномерному нарастанию скорости поршня в воздушной ударной трубе. В газодинамических системах с жёсткими (модуль упругости увеличивается по мере увеличения деформаций среды) зависимостями давления от деформаций возникает ударная волна. В случае мягких (модуль упругости уменьшается по мере увеличения деформаций среды) характеристик возникшая ударная волна наоборот распадается подобно процессам при соударениях упруго-пластических стержней. В ДИИТе под руководством В. А. Лазаряна были проведены обширные аналитические и численные с помощью АВМ и ЦВМ иссле-

дования динамических процессов в поезде с использованием газодинамической модели для анализа результатов численного интегрирования (Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин, Л. В. Белик, Н. И. Грановская, В. С. Кнышенко) [44-47, 62, 65, 79, 137-140, 142].

При трогании с места растянутого грузового поезда скорость локомотива может нарастать только по мере увеличения силы тяги. При постоянной силе тяги скорость локомотива изменяется ступенями в моменты, когда со свободного конца поезда «прибегает» волна разгрузки. При этом вдоль состава распространяется постоянная сила, реализуемая локомотивом. В этом случае возникающие силы не превышают реализуемую локомотивом силу тяги. Особенность «ударного» процесса в растянутом поезде с жёсткими характеристиками соединений вагонов проявляется в увеличении темпа нарастания силы в них с увеличением их расстояния от локомотива. При соединениях вагонов с мягкими характеристиками темп нарастания силы в соединениях вагонов уменьшается.

При трогании с места сжатого поезда (что наиболее часто имеет место в случаях грузовых поездов, так как перед троганием состав осаживается, сжимается, чтобы облегчить процесс трогания) локомотив уже с первым вагоном взаимодействует ударно, так как, двигаясь в пределах зазора, он набирает скорость относительно неподвижного вагона. В пределе, соединение вагонов с любой характеристикой поглощающих аппаратов при проявлении зазора, в целом, имеет жёсткую характеристику и, более того, негладкую. Вдоль поезда от локомотива к хвостовой части распространяется волна ударов растянутой части состава по каждому следующему вагону, перед которым выбрался зазор, в результате движения предыдущей части поезда. При протекании процесса растянутая часть состава ведёт себя как стержень с упругими несовершенствами. Поэтому возникающая при ударном нагружении сила распространяется с места удара в головные сечения. В своё время процесс трогания сжатого состава был рассмотрен В. А. Галесвым и Ю. И. Першицем (Вопросы механики поезда, М.: Трансжелдориздат, 1958, 233 с.), но при этом растянутая часть рассматривалась как абсолютно твёрдое тело и не принимались во внимание процессы в растянутой части состава.

При исследовании переходных режимов движения поезда, как нелинейной сплошной системы, под руководством В. А. Лазаряна были рассмотрены случаи упругой и неупругой сред (Л. А. Манашкин) [137, 139, 142]. При этом была изучена структура формирования ударной волны в системе с жёсткой характеристикой поглощающих аппаратов при разных случаях рассеяния энергии. Показано, что в случае фрикционных поглощающих аппаратов с пренебрежимо малой величиной силы их начальной затяжки на фронте ударной волны при трогании с места всегда будет иметь место мгновенный скачок силы при переходе от ненагруженной части системы к нагруженной. Если же происходит нарастание силы тяги из некоторого стационарного состояния, то реализуемая силовая характеристика соединения при жёстких характеристиках поглощающих аппаратов может оказаться как жёсткой, так и мягкой. В последнем случае ударная волна не образуется. В случаях неупругих сил, зависящих не только от знака скорости деформаций, но и от её величины, что характерно для гидравлических и эластомерных поглощающих аппаратов, переход от ненагруженной части системы к нагруженной происходит непрерывно на переходном участке, называемом «шириной фронта ударной волны». Изучено распределение сил по ширине фронта ударной волны [142].

Под руководством В. А. Лазаряна были изучены общие условия [139], при которых дискретная модель поезда как цепочки твёрдых тел эквивалентна его континуальной модели (в виде стержня или газодинамической), а также обоснованы критерии моделирования длинных дискретных систем их укороченными образами, что позволяет получать информацию, интегрируя численно существенно меньшее число дифференциальных уравнений [35, 127, 135, 139, 145, 149], что особенно важно для систем управления поездом, использующих цифровые интеграторы для контроля за силами и ускорениями вагонов в

процессе управления поездом. Оказалось, что эти же общие условия одновременно являются критериями оптимизации неупругих сил гидравлических и эластомерных поглощающих аппаратов. При этих условиях силы в поезде при трогании его с места не превосходят приложенной к поезду силы тяги локомотива или силы торможения локомотивом. Показано, что в тех случаях, когда дискретная и континуальная модели поезда не эквивалентны, что может иметь место при определённых условиях и в случае линейных упругих характеристик поглощающих аппаратов (вследствие неравномерной сходимости рядов при мгновенно прикладываемых силах), силы в соединениях вагонов существенно выше реализуемой локомотивом силы тяги или торможения (Л. А. Манашкин, В. С. Кнышенко) [138, 140, 142].

Разработанный В. А. Лазаряном и С. И. Конашенко применительно к задачам механики аппарат обобщенных функций [91, 106, 113] и аппарат метода конечных элементов позволили рассмотреть поезд как цепочку стержней, соединённых нелинейными элементами [154].

Методами статистического анализа обобщены результаты решаемых методом Монте-Карло задач продольной динамики поезда и получены статистические характеристики продольных динамических нагрузок в поезде. Эти результаты использованы как исходные данные для формирования условий испытания вагонов и локомотивов на надёжность и долговечность по нестационарным нагрузкам [142, 153].

Изменившиеся в последней четверти двадцатого века условия вождения грузовых поездов на дорогах бывшего СССР, появление большегрузных и длинносоставных грузовых и пассажирских поездов, повышение скоростей их движения привели к необходимости пересмотра Норм и условий проектирования профиля железных дорог, одним из критериев которых стали нагрузки, возникающие в поездах при их движении по переломам профиля пути. Выполненные под руководством и при непосредственном участии В. А. Лазаряна обширные исследования в этом направлении позволили ответить на целый ряд важных вопросов проектирования железных дорог (Е. П. Блохин, Л. Г. Маслсева, Л. В. Урсуляк) [111, 125, 127, 142, 146, 166, 167, 169, 170, 172] и внести дополнения в СНиП II-39-76.

Для анализа влияния особенностей поглощающих аппаратов на динамическую нагруженность конструкции вагонов при их соударениях В. А. Лазаряном, Л. А. Манашкиным и А. В. Юрченко была разработана математическая модель продольно-изгибных колебаний неоднородного криволинейного стержня, центр масс которого не совпадает с центром его жёсткости, с сосредоточенными включениями [99, 105, 110, 116]. Анализ результатов численного интегрирования показал, что резкое нарастание силовой характеристики поглощающих аппаратов при соударениях вагонов приводит и возникновению интенсивных высокочастотных вибраций элементов конструкции вагона [134].

Вопросы безопасности движения грузовых поездов, особенно тяжеловесных, поставили перед исследователями проблему математического моделирования колебаний поезда в плоскости и в пространстве. В. А. Лазаряном, Е. П. Блохиным и Е. Л. Стамблером были проведены обширные экспериментальные и теоретические исследования, построены линеаризованные модели колебаний поезда как одномерной системы динамических подсистем, линеаризовано учтены особенности нелинейного взаимодействия вагонов, соединённых автосцепками. Получены значения сил, при которых поезд, как система, теряет устойчивую форму равновесия [70, 83, 98, 115]. Эти работы позволили построить пространственную нелинейную имитационную математическую модель поезда как системы, движущейся по криволинейному в пространстве пути, представленному в виде слабо закрученной криволинейной полосы (Л. А. Манашкин, Н. И. Грановская, А. Н. Пшинько) [144, 147, 150, 152, 154]. Эта модель позволила рассмотреть случай выбивания вагонов из колеи при соударениях сцепов вагонов, нештатные режимы соударения цистерн, исследо-

вать продольные и вертикальные силы, действующие на вагоны порожнего поезда [151, 154].

С использованием существенно нелинейной пространственной модели поезда и объектно-ориентированного метода программирования и, естественно, соответствующих дифференциальных уравнений его движения, решены многие задачи, связанные с выбором оптимальных режимов движения поезда [175] и расследованием причин крушений обычных и длинносоставных, в том числе соединённых, поездов, которые имели место в последние годы на железных дорогах России и Украины [176-181].

Математическая модели поезда использована и при создании в лаборатории динамики и прочности подвижного состава железных дорог университета (Е. П. Блохин, К. И. Железнов, В. В. Глухов, Л. В. Урсуляк) тренажёрных комплексов на базе компьютерных технологий для обучения машинистов магистральных локомотивов безопасным и энергосберегающим технологиям вождения поездов [179, 180, 182]. Такими тренажёрами оборудованы многие локомотивные депо украинских железных дорог и Обучающий центр в Тегеране (Иранские железные дороги).

Разработанные в ДИИТе математические модели поезда, реализованные удобным программным обеспечением, применяются многими научными коллективами бывшего Советского Союза для исследований и имитации движения поезда.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жуковский Н.Е., Работа (усилие) русского сквозного и американского несквозного тягового прибора при трогании поезда с места и в начале его движения // Бюллетень Экспериментального института путей сообщения. -1919. - 13. -С.31-57.
2. Лазарян В.А., О динамических усилиях в упряжных приборах поезда при изменении силы тяги локомотива.- Тр. ДИИТа,1945, вып.15, с. 3-51.
3. Лазарян В.А., О динамических усилиях в упряжных приборах поезда при трогании с места.- Там же, с. 52- 85.
4. Лазарян В.А., Влияние первоначального сжатия поезда на усилия в упряжных аппаратах. – Тр. ДИИТа, 1947, вып. 16, с. 3-20.
5. Лазарян В.А., О динамических усилиях в упряжных приборах пассажирских поездов. – Тр. ДИИТа, 1948, вып. 18, с. 3-90.
6. Лазарян В.А., О динамических усилиях в упряжных приборах поезда при немономтонном изменении силы тяги. – Тр.ДИИТа, 1948, вып.19, с.63-82.
7. Лазарян В.А., О применении обобщённых координат к исследованию вынужденных колебаний стержней. – Там же, с.83-92.
8. Лазарян В.А., О динамических усилиях, возникающих в упряжных приборах при торможениях однородного поезда. – Там же, с.120-133.
9. Лазарян В.А., Исследование неустановившихся режимов движения поезда. – М.: Трансжелдориздат, 1949. – 135с.
10. Лазарян В.А., О динамических усилиях в упряжных приборах однородных поездов при сопротивлениях относительным перемещениям экипажей. – Тр.ДИИТа, 1950, вып.20, с.3-32.
11. Об усилиях в упряжных приборах поезда при тяге и подталкивании. – Тр. ДИИТа, 1951, вып 21, с.3-12.
12. Лазарян В.А., Б.Д.Лапкин, Применение электромеханических аналогий и моделирования к исследованию удара механических систем. – Там же, с.13-32.
13. Лазарян В.А., Б.Д.Лапкин, Примснение электрического моделирования к исследованию усилий в упряжных приборах поездов. – Техника железных дорог, 1951, № 6, с.26-29.
14. Лазарян В.А., К вопросу о выборе расчётной схемы при исследовании переходных режимов движения поездов. – Техника железных дорог, 1952, № 6, с.17-19.
15. Лазарян В.А., Исследования переходных режимов движения поездов при сплошном торможении и при переходах через переломы продольного профиля пути. – Тр.ДИИТа, 1953, вып.23, с.5-23.
16. Лазарян В.А., Электричне моделювання перехідних режимів руху стержнів з пружними недосконаlostями. - Прикладна механіка, 1955, 1, № 3, с.311-324.
17. Лазарян В.А., Дослідження зусиль, що виникають в упряжних приладах при зрушуванні з місця вагтажних поїздів. – Прикладна механіка, 1956, 2, № 1, с 16-28.
18. Лазарян В.А., Исследования усилий, возникающих при переходных режимах движения в стержнях с различными упругими несовершенствами. – Тр.ДИИТа, 1956, вып.25, с.5-50.

19. Лазарян В.А., К вопросу об электрическом моделировании переходных режимов движения стержней. + Там же, с.84-123.
20. Лазарян В.А., О динамических усилиях, возникающих в упругих приборах при трогании с места растянутых грузовых поездов. – Там же, с.124-151.
21. Лазарян В.А., О динамических усилиях, возникающих в сцепных приборах поездов при торможении. – В кн. Пути развития тормозной техники на железных дорогах СССР, М.: Трансжелдориздат, 1957, с.19-28.
22. Блохин Е.П., О влиянии неоднородного поезда на динамические усилия, возникающие в упругих приборах при трогании с места. – Тр.ДИИТа, Вып. 26, М.:Трансжелдориздат, 1958. с.235-258.
23. Блохин Е.П., Электрическое моделирование продольных усилий, возникающих в неоднородных поездах при трогании с места. - Там же, с.270-289.
24. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Власні позовжні коливання систем, які складаються з трьох жорстких тіл і двох деформованих стержнів. – Прикладна механіка, 1951, 7, № 1, с. 61-65; № 5, с.477-481.
25. Лазарян В.А., Бодянов П.С., Гронский В.И., Влияние жёсткости связи между секциями локомотива на продольные усилия, возникающие при ударах.- Тр ДИИТа, 1961, вып. 35, с 66-98.
26. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Львов А.А., Продольные усилия, возникающие в тяжеловесных поездах при трогании с места. – Там же, с.112-147.
27. Лазарян В.А., Применение математических машин непрерывного действия к решению задач динамики подвижного состава железных дорог. – М.: Трансжелдориздат, 1962, 218с.
28. Лазарян В.А., Барбас И.Г., Работа системы автоматического управления при переходных режимах движения поездов. – Вестник ВНИИЖТ, 1962, № 4, С.3-6.
29. Лазарян В.А., Барбас И.Г., Влияние переходных режимов поезда на работу системы автоматического управления. – Тр.ДИИТа, 1963, вып.44, с.69-94.
30. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Исследование усилий, возникающих в грузовых поездах при включении в них восьмиосных полувагонов. Там же, с.49-57.
31. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Исследование с помощью модели-аналога усилий в упругих приборах поезда при тяге и подталкивании. – Там же, с. 58-67.
32. Лазарян В.А., Бодянов П.С., Стукалов А.И., Сравнительные исследования поглощающих аппаратов автосцепки различной конструкции. – Там же, с.95-107.
33. Лазарян В.А., Барбас И.Г., Каблуков В.А., Манашкин Л.А., Применение электронных моделей к решению задач о трогании поездов. – Вестник ВНИИЖТ, 1963, № 3, с.51-53.
34. Лазарян В.А., Барбас И.Г., Каблуков В.А., Манашкин Л.А., Влияние времени нарастания силы тяги на продольные усилия при трогании однородного поезда. – Тр.ДИИТа, 1964, вып.50, с.21-27.
35. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Манашкин Л.А., О выборе числа контуров при электрическом моделировании колебаний стержней. – Там же, с.28-34.
36. Белик Л.В., Каблуков В.А., Манашкин Л.А., Автоматический выбор шага при решении задач методом Рунге-Кутты. – Там же, с.35-38.
37. Лазарян В.А., Каблуков В.А., Стукалов А.И., Юспина Е.В., Исследование продольной динамики электропоезда. – Там же, с.92-104.
38. Лазарян В.А., Барбас И.Г., Манашкин Л.А., Электрическое моделирование движения однородных поездов через переломы продольного профиля пути. – Там же, с.5-20.
39. Лазарян В.А., Барбас И.Г., Каблуков В.А., Манашкин Л.А., Электронное моделирование трогания поезда с зазорами в упруги. – Вестник ВНИИЖТ, 1964, № 2,с.56-60.
40. Лазарян В.А., Манашкин Л.А. Применение электронных моделей при исследовании соударений вагонов. Там же, № 7, с.60-64.
41. Лазарян В.А., Манашкин Л.А., Про амортизацію удару, Прикладна механіка, 1964, 10, № 4, с.349-359.
42. Лазарян В.А., Манашкин Л.А., Работа амортизаторов при ударах, сопровождающихся действием постоянной по величине продольной силы. – Тр.ДИИТа, 1965, вып.55, с.97-104.
43. Лазарян В.А., Барбас И.Г., Блохин Е.П., Влияние веса и длины пассажирского поезда на продольные усилия. – Тр.ДИИТа, 1966, вып.62. с.79-85.
44. Лазарян В.А., Манашкин Л.А., Влияние силовых характеристик фрикционных поглощающих аппаратов на особенности ударных процессов. – Там же, 1966. вып.59, с.9-15.
45. Лазарян В.А., Барбас И.Г., Блохин Е.П., Каблуков В.А., Манашкин Л.А., Исследование переходных режимов движения нелинейных одномерных механических систем. – В кн.: Динамика машин, М.: Машиностроение, 1966, с.96-104
46. Лазарян В.А., Белик Л.В., Манашкин Л.А., Музыкин В.А., Исследование процессов распространения упруго-пластических деформаций в одномерных системах. – В кн. 3-й Всесоюзный симпозиум по распространению упругих и упруго-пластических волн, Тез.докл., Ташкент, 1966, с.9.
47. Лазарян В.А., Барбас И.Г., Блохин Е.П., Манашкин Л.А., К вопросу о влиянии характеристик связей одномерных механических систем на переходные режимы движения. – Тр.ДИИТа, 1966, вып. 59, с.3-8.

842013

48. Лазарян В.А., Белик Л.В., Манашкин Л.А., Музыкин В.А.. Численное решение задачи о переходных режимах движения одномерных многомассовых систем при помощи ЭВМ "Урал-3". В кн.: Тезисы докладов V Всесоюзного совещания пользователей ЭВМ типа "Урал", Тарту, 1966, с.55.
49. Лазарян В.А., Манашкин Л.А., Музыкин В.А.. Моделирование силовых характеристик связей, имеющих упруго-пластическую область деформаций. – В кн.: Динамика и прочность машин, 1967. вып.6, с.136-141.
50. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Манашкин Л.А., Юспина Е.В., Исследования при помощи машин непрерывного действия процессов, происходящих при продольном соударении одномерных механических систем. – Тр. ДИИТа, 1967, в.72. с.15-43.
51. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Манашкин Л.А., Юспина Е.В., Вашурин Л.А., Переходные режимы движения поезда, составленного из вагонов с подвижной хребтовой балкой при отсутствии зазоров в упряжи. – Там же. с.44-56.
52. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Зеленский В.А., К вопросу о переходных режимах движения поездов, вагоны которых оборудованы поглощающими аппаратами Ш-2-Т. – Там же, с.57-66.
53. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Барбас И.Г., Об усилиях в грузовых поездах при торможении локомотива прямодействующим тормозом. – Там же, с.67-73.
54. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Барбас И.Г., Бадикова Л.С. Юспина Е.В., Исследование работы поглощающих аппаратов в поездах. – Там же, вып.68, с.26-41.
55. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Барбас И.Г., Стукалов А.И, Манашкин Л.А., Юспина Е.В., Исследование работы поглощающих аппаратов типа Р-4п в длинносоставном пассажирском поезде. – Там же, с.19-25
56. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Барбас И.Г., Манашкин Л.А., Юспина Е.В., Исследование работы резино-металлических амортизаторов при ударах. – Там же, с.70-85.
57. Лазарян В.А., Барбас И.Г., Блохин Е.П., Юспина Е.В., Продольные усилия, возникающие в тяжеловесном грузовом поезде при регулировочных торможениях. – Там же, с.3-9.
58. Лазарян В.А., Исследования в области переходных режимов движения механических систем, выполненные в Днепропетровске. – Прикладная механика, 1967, 3, № 10, с.123-128.
59. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Манашкин Л.А., Юспина Е.В., Исследование переходных режимов движения сжатых поездов, сформированных из вагонов с подвижными хребтовыми балками. – Тр. ДИИТа. 1968. вып.76, с.17-25
60. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Манашкин Л.А., Рыжов А.В., Юспина Е.В., Моделирование соударений сцепов из вагонов с подвижными хребтовыми балками. – Там же, с.26-32.
61. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Стамблер Е.Л.. Движение легковесных вагонов в составах тяжеловесных поездов. – Там же, с.34-47.
62. Лазарян В.А., Барбас И.Г., Блохин Е.П., Белик Л.В., Манашкин Л.А., О распространении возмущений в одномерных системах с нелинейными упругими характеристиками и вязким сопротивлением связей. – В кн.: 3-й Всесоюзный съезд по теоретической и прикладной механике: Аннотация докладов, М.: Наука, 1968, с.32.
63. Лазарян В.А., Манашкин Л.А., Рыжов А.В., Пуск в ход одномерных механических систем, имеющих предварительную затяжку амортизаторов. – Там же, с.54.
64. Лазарян В.А., Манашкин Л.А., Рыжов А.В., Пуск в ход одномерных механических систем, имеющих предварительную затяжку амортизаторов. – Прикладная механика, 1969, 5, №7. с.64-70.
65. Лазарян В.А., Белик Л.В., Манашкин Л.А., Музыкин В.А., Распространение упруго-пластических волн деформаций в одномерных системах. – В кн.: Распространение упруго-пластических волн, Ташкент, ФАН Узб.ССР, 1969
66. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Манашкин Л.А., Рыжов А.В. Юспина Е.В., Ударные явления в динамике одномерных разветвленных систем. - Теория механизмов и машин, Харьков, 1969, вып.6, Изд.ХГУ, с.41-48.
67. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Манашкин Л.А., Рыжов А.В., К вопросу об определении оптимального значения необратимого поглощения энергии упруго-фрикционными амортизаторами. – Вестник ВНИИЖТа, 1969. № 8, с.23-25.
68. Лазарян В.А., Манашкин Л.А., Рыжов А.В., Влияние вида рассеяния энергии на наибольшие усилия, возникающие при переходных режимах движения одномерных систем. – Проблемы прочности, 1970, № 9 с.100-102.
69. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Манашкин Л.А., Вплив неоднорідності одномірної системи на зусилля та прискорення при перехідному режимі. – В кн.: Питання будівельної механіки, Будівельник, Київ, 1970, с.3-8.
70. Лазарян В.А., Стамблер Е.Л., Некоторые задачи о равновесии и колебаниях железнодорожного поезда. – В кн.: Некоторые задачи механики скоростного транспорта. Кисв: Наукова думка, 1970, с.141-159.
71. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Белик Л.В., О выборе численных методов интегрирования уравнений движения существенно нелинейных одномерных механических систем. – Там же, с.125-135.
72. Манашкин Л.А., Хачапуридзе Н.М., Математическое и электронное моделирование продольных колебаний кузовов вагонов при ударе. – Там же, с. 103-114.

73. Манашкин Л.А., Хачапуридзе Н.М., Исследования продольных колебаний кузовов вагонов, оборудованных фрикционными амортизаторами, при соударениях. – Там же, с.115-124.
74. Лазарян В.А., Стамблер Е.Л., О моделях для исследования поперечных колебаний поезда. Тр. ДИИТа. 1970. вып.84, с.3-14.
75. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Стукалов А.И., О продольных усилиях, возникающих при торможениях однородного поезда весом 10000 Т. – Там же. с.62-67.
76. Лазарян В.А., Манашкин Л.А., Музыкин В.А., Продольное соударение упруго-пластических одномерных систем через противоударный амортизатор. – В кн.: Волны в неупругих средах, Кишинёв, 1970, с.129-136.
77. Лазарян В.А., Манашкин Л.А., Собственные продольные колебания стержней с сосредоточенными массами, - Прикладная механика, 1970, 6, вып. 8, с.42-48.
78. Лазарян В.А., Манашкин Л.А., Влияние упруго-фрикционных амортизаторов на высокочастотные вибрации при ударах. - Тр. ДИИТа. 1971. вып.103, с.43-52.
79. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Манашкин Л.А., Бадикова Л.С., Интегральная оценка связей в поезде и определение их параметров по результатам натуральных испытаний. – Там же, с.3-17.
80. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Манашкин Л.А., Белик Л.В. К вопросу о математическом описании процессов происходящих при переходных режимах движения поездов с зазорами в упряжи. – Там же, с.18-28.
81. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Вашурин Л.А., О продольных усилиях и ускорениях вагонов с подвижной хребтовой балкой при троганиях неоднородных поездов. Там же, с.41-45.
82. Лазарян В.А., Манашкин Л.А., Рыжов А.В., Исследование переходных режимов движения одномерных систем при действии на них распространяющегося возмущения. - Тр. ДИИТа, 1971. вып.114, с.24-35.
83. Лазарян В.А., Стамблер Е.Л., О собственных поперечных колебаниях и устойчивости форм равновесия поезда. – Там же, с.40-59.
84. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Белик Л.В., Применение ЭЦВМ к исследованию переходных режимов движения поезда. – Там же, с.3-23.
85. Блохин Е.П., К вопросу об усилиях в неоднородном поезде. – Там же, вып.133, с.51-58.
86. Лазарян В.А., Конашенко С.И., О применении обобщённых функций при исследовании колебаний стержней с кусочно-постоянными параметрами. – Прикладная механика, 1971, 7, № 9, 70-76.
87. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Манашкин Л.А., Рыжов А.В., Применение электронных моделей к исследованию переходных режимов движения одномерных систем. - Аналоговая и аналого-цифровая вычислительная техника, 1971, вып.4, с.158-162.
88. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Белик Л.В., Влияние неоднородности состава на продольные усилия в поезде. - Тр. ДИИТа, 1972. вып.120, с.21-27
89. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Захаров В.Н., Игин М.Е., Автоматическое управление вспомогательными локомотивами объединённого поезда. – Там же, вып.128, с.3-11.
90. Блохин Е.П., О пуске в ход объединённых поездов. – Там же, с.12-31.
91. Лазарян В.А., Конашенко С.И., О продольных колебаниях одномерной системы упругих стержней, соединённых упругими связями. – Там же. с.125-136.
92. Лазарян В.А., Конашенко С.И., Обобщённые функции в задачах статики стержней с кусочно-постоянной жёсткостью. – Там же, 116-125.
93. Манашкин Л.А., Бондарев А.М., Хачапуридзе Н.М., Аналитические исследования продольных сил, возникающих в сечениях вагонов при соударениях. – Там же, с.
94. Лазарян В.А., Конашенко С.И., Преобразование аргумента в задачах о поперечных колебаниях стержней. – Прикладная механика, 1972, 8, № 7, с.66-73.
95. Лазарян В.А., Манашкин Л.А., Мильничук Н.А., Применение электронного моделирования в статистических исследованиях продольных сил, действующих на вагоны при пуске поезда в ход. – Вестник ВНИИЖТа, 1972, № 5, с.21-23.
96. Манашкин Л.А., Определение жесткости связи при исследованиях переходных режимов движения грузовых поездов, вагоны которых оборудованы фрикционными поглощающими аппаратами автосцепки., - Известия ВУЗов, серия Машиностроение, 1972, № 1, с.105-108.
97. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Белик Л.В., Влияние неоднородности состава на продольные усилия при экстренном торможении. - Тр. ДИИТа, 1973. вып.143, с.3-8.
98. Блохин Е.П., Стамблер Е.Л., К вопросу об устойчивости от схода с рельсов легковесных вагонов, движущихся в составах тяжеловесных поездов. – Там же, с.13-16.
99. Манашкин Л.А., Юрченко А.В., Скалозуб В.В., Моделирование продольно-изгибных колебаний кузовов вагонов при продольных ударах. - Там же. с.
100. Лазарян В.А., О переходных режимах движения поезда, Там же, вып.152, с.3-43.
101. Лазарян В.А., Рыжов А.В., Богомаз Г.И., Исследование с помощью ЭВМ пуска в ход наливных поездов.. – Там же, с.44-53.

102. Манашкин Л.А., Юрченко А.В., Исследования продольных колебаний амортизированных грузов при транспортировке. – Там же, с.
103. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Белик Л.В., Продольные колебания нелинейных одномерных систем при возмущениях, распространяющихся вдоль их длины. – Прикладная механика, 1973, 9, № 6, с.89-94.
104. Лазарян В.А., Манашкин Л.А., Рыжов А.В., Продольные колебания упругих стержней при распространяющихся возмущениях. – Там же, 1974, 10, № 5, с. 132-137.
105. Лазарян В.А., Манашкин Л.А., Юрченко А.В., Дифференциальные уравнения механических систем с переменными параметрами. – Там же, № 6, с.125-129.
106. Лазарян В.А., Конашенко С.И., Обобщенные функции в задачах механики. – Киев.: Наукова думка, 1974, - 190с.
107. Лазарян В.А., Белик Л.В., Маслеева Л.Г., Стамблер Е.Л., Исследования переходных режимов движения поезда. – Тр. БИТМ, 1974, вып.26, с.183-189.
108. Лазарян В.А., Рыжов А.В., Богомаз Г.И., Хачапуридзе Н.М., Юрченко А.В., Моделирование переходных режимов движения поездов с жидкими и твердыми грузами. – Там же, с.189-193.
109. Лазарян В.А., Манашкин Л.А., Юрченко А.В., Ратнер Б.С., Ханин М.С., Бондарев А.М., Применение электронного моделирования к исследованию случайных нестационарных колебаний вагонов в поезде и при продольных ударах. – Там же, с.
110. Лазарян В.А., Манашкин Л.А., Юрченко А.В., Исследование случайных продольно-изгибных колебаний одномерных конструкций при продольных ударах. – В кн.: Колебания упругих конструкций с жидкостью, Новосибирск: Сб. научных докладов 2-го симпозиума, 1974, с.129-133.
111. Лазарян В.А., Блохин Е.П., О математическом моделировании движения поезда по переломам продольного профиля пути. – Тр.МИИТа, 1974, вып.444, с.83-123.
112. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Каракашьян З.О., Критиков И.А., Першин В.Я., Исследование работы гидрогазовых поглощающих аппаратов типа ГА-100м при ударах. – Тр.ДИИТа, 1975, вып. 158, с.34-44.
113. Лазарян В.А., Применение обобщенных координат к исследованию вынужденных колебаний стержней. – Там же, с.3-15.
114. Блохин Е.П., Итин М.Е., Манашкин Л.А., Кедря М.М., Применение электронного моделирования к исследованию динамических процессов в объединенных поездах с автоматически управляемыми вспомогательными локомотивами. – Там же, вып.162/6, с.
115. Лазарян В.А., Стамблер Е.Л., О собственных вертикальных колебаниях поезда с одношарнирными междувагонными соединениями. – Там же, вып. 169/21, с.138-142.
116. Манашкин Л.А. Исследование с помощью ЭВМ продольных и вертикальных колебаний рефрижераторных вагонов при продольных ударах. – Там же, с
117. Манашкин Л.А., Бондарев А.М., О статистических исследованиях переходных режимов движения при торможениях сжатых поездов. – Там же, с.
118. Лазарян В.А., Манашкин Л.А., Математическая модель колебаний сложных одномерных многомассовых систем. – В кн.: 4-й Всесоюзный съезд по теоретической и прикладной механике. Киев: Наукова думка, 1976, с.28.
119. Лазарян В.А., Манашкин Л.А., Рыжов А.В., Богомаз Г.И., Продольные колебания одномерных систем с полостями, содержащими жидкость. – В кн. Колебания упругих конструкций с жидкостью: Сб. Научных докладов 3-го симпозиума, М.:Волна, 1976, с. 47-50.
120. Манашкин Л.А., Юрченко А.В., Исследование с помощью АВМ случайных продольно-изгибных колебаний вагонов при продольных ударах, - В кн.: Динамика и прочность высокоскоростного наземного транспорта, Киев, Наукова думка, 1976., с.31-36.
121. Манашкин Л.А., Исследование продольных колебаний одномерных систем с подвижными грузами при переходных режимах движения. – Там же, с 37-45.
122. Богомаз Г.И., Рыжов А.В., Пуск в ход предварительно растянутых наливных поездов. – Там же, с.46-53.
123. Блохин Е.П., Гребенюк П.Т., Каракашьян З.О., Стамблер Е.Л., Першин В.Я., О переходных режимах движения поездов, оборудованных гидрогазовыми поглощающими аппаратами. – Там же, с.54-63.
124. Манашкин Л.А., Бондарев А.М., Электронное моделирование тормозных сил при статистических исследованиях переходных режимов движения поездов. – Тр.ДИИТа, 1976, вып. 182/22, с.68-76.
125. Лазарян В.А., Блохин Е.П., К вопросу о проектировании продольного профиля железных дорог. – Тр.ДИИТа, 1977, вып.190/23, с.71-73.
126. Манашкин Л.А., Бондарев А.М., Кедря М.М., Исследование с помощью АВМ сил, действующих на вагоны неоднородного поезда при пуске в ход и экстренном торможении. – Там же, с.
127. Блохин Е.П., Манашкин Л.А., Маслеева Л.Г., К вопросу о понижении порядка системы дифференциальных уравнений движения поезда при оценке статистических характеристик сил, действующих на вагоны в случаях движения через переломы продольного профиля пути. – Там же, вып.195/24, с.48-56.

102. Манашкин Л.А., Юрченко А.В., Исследования продольных колебаний амортизированных грузов при транспортировке. – Там же, с.
103. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Белик Л.В., Продольные колебания нелинейных одномерных систем при возмущениях, распространяющихся вдоль их длины. – Прикладная механика, 1973, 9, № 6, с.89-94.
104. Лазарян В.А., Манашкин Л.А., Рыжов А.В., Продольные колебаний упругих стержней при распространяющихся возмущениях. – Там же, 1974, 10, № 5, с. 132-137.
105. Лазарян В.А., Манашкин Л.А., Юрченко А.В., Дифференциальные уравнения механических систем с переменными параметрами. – Там же, № 6, с.125-129.
106. Лазарян В.А., Конашенко С.И., Обобщенные функции в задачах механики. – Киев.: Наукова думка, 1974, - 190с.
107. Лазарян В.А., Белик Л.В., Маслеева Л.Г., Стамблер Е.Л., Исследования переходных режимов движения поезда. – Тр. БИТМ, 1974, вып.26, с.183-189.
108. Лазарян В.А., Рыжов А.В., Богомаз Г.И., Хачапуридзе Н.М., Юрченко А.В., Моделирование переходных режимов движения поездов с жидкими и твердыми грузами. – Там же, с.189-193.
109. Лазарян В.А., Манашкин Л.А., Юрченко А.В., Ратнер Б.С., Ханин М.С., Бондарев А.М., Применение электронного моделирования к исследованию случайных нестационарных колебаний вагонов в поезде и при продольных ударах. – Там же, с.
110. Лазарян В.А., Манашкин Л.А., Юрченко А.В., Исследование случайных продольно-изгибных колебаний одномерных конструкций при продольных ударах. – В кн.: Колебания упругих конструкций с жидкостью, Новосибирск: Сб. научных докладов 2-го симпозиума, 1974, с.129-133.
111. Лазарян В.А., Блохин Е.П., О математическом моделировании движения поезда по переломам продольного профиля пути. – Тр.МИИТа, 1974, вып.444, с.83-123.
112. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Каракашьян З.О., Критиков И.А., Першин В.Я., Исследование работы гидрогазовых поглощающих аппаратов типа ГА-100м при ударах. – Тр.ДИИТа, 1975, вып. 158, с.34-44.
113. Лазарян В.А., Применение обобщенных координат к исследованию вынужденных колебаний стержней. – Там же, с.3-15.
114. Блохин Е.П., Итин М.Е., Манашкин Л.А., Кедря М.М., Применение электронного моделирования к исследованию динамических процессов в объединенных поездах с автоматически управляемыми вспомогательными локомотивами. – Там же, вып.162/6, с.
115. Лазарян В.А., Стамблер Е.Л., О собственных вертикальных колебаниях поезда с одношарнирными междувагонными соединениями. – Там же, вып. 169/21, с.138-142.
116. Манашкин Л.А. Исследование с помощью ЭВМ продольных и вертикальных колебаний рефрижераторных вагонов при продольных ударах. – Там же, с
117. Манашкин Л.А. Бондарев А.М., О статистических исследованиях переходных режимов движения при торможениях сжатых поездов. – Там же, с.
118. Лазарян В.А., Манашкин Л.А., Математическая модель колебаний сложных одномерных многомассовых систем. – В кн.: 4-й Всесоюзный съезд по теоретической и прикладной механике. Киев: Наукова думка, 1976, с.28.
119. Лазарян В.А., Манашкин Л.А., Рыжов А.В., Богомаз Г.И., Продольные колебания одномерных систем с полостями, содержащими жидкость. – В кн. Колебания упругих конструкций с жидкостью: Сб. Научных докладов 3-го симпозиума, М.:Волна, 1976, с. 47-50.
120. Манашкин Л.А., Юрченко А.В., Исследование с помощью АВМ случайных продольно-изгибных колебаний вагонов при продольных ударах, - В кн.: Динамика и прочность высокоскоростного наземного транспорта, Киев, Наукова думка, 1976., с.31-36.
121. Манашкин Л.А., Исследование продольных колебаний одномерных систем с подвижными грузами при переходных режимах движения. – Там же, с 37-45.
122. Богомаз Г.И., Рыжов А.В., Пуск в ход предварительно растянутых наливных поездов. – Там же, с.46-53.
123. Блохин Е.П., Гребенюк П.Т., Каракашьян З.О., Стамблер Е.Л., Першин В.Я., О переходных режимах движения поездов, оборудованных гидрогазовыми поглощающими аппаратами. – Там же, с.54-63.
124. Манашкин Л.А., Бондарев А.М., Электронное моделирование тормозных сил при статистических исследованиях переходных режимов движения поездов. – Тр.ДИИТа, 1976, вып. 182/22, с.68-76.
125. Лазарян В.А., Блохин Е.П., К вопросу о проектировании продольного профиля железных дорог. – Тр.ДИИТа, 1977, вып.190/23, с.71-73.
126. Манашкин Л.А., Бондарев А.М., Кедря М.М., Исследование с помощью АВМ сил, действующих на вагоны неоднородного поезда при пуске в ход и экстренном торможении. – Там же, с.
127. Блохин Е.П., Манашкин Л.А., Маслеева Л.Г., К вопросу о понижении порядка системы дифференциальных уравнений движения поезда при оценке статистических характеристик сил, действующих на вагоны в случаях движения через переломы продольного профиля пути. – Там же, вып.195/24. с.48-56.

128. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Итин М.Е., Юспина Е.В., Некоторые результаты опытных поездок с объединёнными поездами в эксплуатационных условиях. – В кн. Механика наземного транспорта., 1977, с.24-46.
129. Манашкин Л.А., Определение оптимальной формы силовой характеристики возвращающих устройств гидравлических амортизаторов удара при соударениях вагонов, – Там же, с.16-20.
130. Лазарян В.А., Филиппюк С.И., Пуск в ход тяжеловесного поезда, остановленного на подъёме. – В кн.: Нагруженность, колебания и прочность сложных механических систем, Киев: Наукова думка, 1977, с.88-94.
131. Манашкин Л.А., Бондарев А.М., Влияние подвижности грузов на статистические характеристики сил, действующих на вагоны сжатого поезда при экстренном торможении. – Там же, с..
132. Лазарян В.А., Науменко Н.Е., Хачапуридзе Н.М., Математическое моделирование движения конвейерного поезда. – Там же, 1979, с.85-92.
133. Манашкин Л.А., Юрченко, А.В., Исследование гидропневматических амортизаторов удара с помощью электронного моделирования. - Вестник машиностроения, 1977, № 6, с.7-11
134. Манашкин Л.А. Исследование особенностей колебаний вагонов, оборудованных гидравлическими поглощающими аппаратами. – В кн.: Вопросы исследования надежности и динамики элементов транспортных машин и подвижного состава железных дорог, Тула, ТПИ,1977, с.50-57.
135. Блохин Е.П., Маслеева Л.Г., О возможности понижения порядка системы дифференциальных уравнений движения поезда при возмущении, распространяющимся вдоль его длины. – Тр.ДИИТа. 1978, вып.199/25, с.47-54.
136. Манашкин Л.А., Колебания линейных одномерных систем с подвижными грузами при продольных ударах. - Прикладная математика и механика, 1978, т.42, вып. 6, с.1141-1145.
137. Манашкин Л.А., Определение оптимального коэффициента сил неупругого сопротивления сжатию. – Известия ВУЗов: Машиностроение, 1979, № 6, с.94-98.
138. Манашкин Л.А., Кнышенко В.С., Влияние рассеяния энергии в нелинейных соединениях с жесткими характеристиками на продольные колебания одномерных многомассовых систем при пуске их в ход. Тр.ДИИТа, 1980, вып.210/27, с.35-42.
139. Лазарян В.А., Манашкин Л.А., О понижении порядка системы дифференциальных уравнений движения многомассовой цепочки твердых тел. - Прикладная механика, 1981, 17, № 3, с.122-128.
140. Манашкин Л.А., Кнышенко В.С., Образование волн ударов в нелинейных одномерных системах при распространяющихся возмущениях. – В кн.: Нагруженность и динамические качества механических систем, Киев: Наукова думка, 1981, с.62-67.
141. Блохин Е.П., Манашкин Л.А., Выбор времени нарастания силы, развиваемой локомотивом. – Вестник ВНИИЖТа, 1982, № 2, с.26-27.
142. Блохин Е.П., Манашкин Л.А., Динамика поезда, - М.:Транспорт, 1982, 222с.
143. Манашкин Л.А., О влиянии сопротивления движению на силы в автосцепках при трогании с места однородных растянутых поездов. – Известия ВУЗов: Машиностроение, 1982, № 4, с.90-94.
144. Манашкин Л.А., Грановская Н.И. – Математическая модель поезда для нахождения нагруженности вагона. - В кн.: Проблемы динамики и прочности подвижного состава., ДИИТ,1984, с.24-28
145. Манашкин Л.А., Грановская Н.И., Маслеева Л.Г., О вычислении внешней силы при интегрировании сокращённой системы дифференциальных уравнений движения поезда. – В кн.: Проблемы динамики, прочности и устойчивости движения железнодорожного подвижного состава., ДИИТ, 1981, с27-35.
146. Блохин Е.П., Манашкин Л.А., Стамблер Е.Л., Маслеева Л.Г., Михайленко В.М., Грановская Н.И., Расчёты и испытания тяжеловесных поездов. – М.:Транспорт, 1986, 261с.
147. Манашкин Л.А., Грановская Н.И., Жаковский А.Д, Калиниченко Е.А., Математическая модель для исследования нагруженности пятникового узла грузового вагона при колебаниях в вертикальной продольной плоскости. – В кн.: Динамическая нагруженность железнодорожного подвижного состава. – ДИИТ, 1988, с.59-69.
148. Блохин Е.П., Манашкин Л.А., О предельных значениях ускорений для пассажирских поездов. – Вестник ВНИИЖТа, 1989, № 1, с.45-48.
149. Манашкин Л.А., Грановская Н.И., Урсуляк Л.В., О понижении порядка уравнений движения поезда при определении продольных ускорений в динносоставных поездах. – В кн.: Колебания и динамические качества железнодорожного подвижного состава, ДИИТ, 1989, с.25-31.
150. Манашкин Л.А., Грановская Н.И., Дифференциальные уравнения пространственных колебаний поезда. - В кн.: Механика транспорта: вес поезда, скорость, безопасность движения, ДИИТ, 1994, с.15-25
151. Манашкин Л.А., Грановская Н.И., Колбун В.В., Продольные и вертикальные силы в поездах из порожных полувагонов при переходных режимах движения. – Там же., с.25-33
152. Пшинько А.Н., О математической модели движения поезда при решении задачи износа колёс и рельсов. – В кр.: Нагруженность и прочность подвижного состава, ДИИТ, 1998, с.29-46.
153. Блохин Е.П., Манашкин Л.А., Грановская Н.И., Математическое моделирование обезгруживания вагонных тележек. – Вестник ВНИИЖТа, 1989, № 5, с.26-28.

154. Конащенко С.И., Василичева Т.В., Козлова Л.А., Конечно-элементный подход к исследованию переходного режима в поезде при торможениях и движении по переломам продольного профиля пути. – Тр. ДИИТа, 1991, вып. 281/32, с. 10-14.
155. Блохин Е.П., Исследование с помощью ЭЦВМ пуска в ход предварительно сжатого поезда, у которого локомотивы распределены по длине. Сб. «Некоторые задачи механики скоростного транспорта», «Наукова думка», Киев, 1970. – с.135-141.
156. Блохин Е.П., К вопросу торможения объединённых поездов, Тр.ДИИТа, вып.137, Днепропетровск, 1971. – с.11-19.
157. Блохин Е.П., Об усилиях при трогании объединённого строенного поезда, Тр.ДИИТа, вып.137, Днепропетровск, 1971. – с.3-10.
158. Блохин Е.П., Продольные усилия, возникающие в объединённом сдвоенном поезде при регулировочных торможениях, Тр.ДИИТа, вып.133, Днепропетровск, 1971. – с.59-67.
159. Лазарян В.А., Блохин Е.П., Захаров В.Н., Итин М.Е., Автоматическое управление вспомогательными локомотивами объединённого поезда, Тр.ДИИТа, вып.128, Днепропетровск, 1971.
160. Блохин Е.П., Что показал опыт вождения объединённых поездов. – Ж/д транспорт – 1972, №3. – с.54-56.
161. Блохин Е.П., Иноземцев Е.Я., Стамблер Е.Л., Урсуляк Л.В., Об одном возможном способе безопасного вождения тяжеловесных грузовых поездов. Вестник ВНИИЖТ, №3. – М.: Транспорт, 1987. с.12-14.
162. Блохин Е.П., Гребенюк П.Т., Динамика поезда/Железнодорожный транспорт: Энциклопедия. М: Большая Российская энциклопедия, 1994. с.113-116.
163. Блохин Е.П., Продольные нагрузки при переходных режимах движения поезда. Залізничний транспорт України. 2000. - №3. – с.8-11.
164. Блохин Е.П., Влияние неодновременного включения локомотивов на усилия в сдвоенном поезде. Железнодорожный транспорт. – 1970, №12. – с.24-26.
165. Блохин Е.П., Вычисление с помощью ЭЦВМ усилий, возникающих при пуске в ход неоднородных поездов весом 10-20 тысяч тонн. Тр.ДИИТа, вып.128, Днепропетровск, 1971. – с.31-36.
166. Блохин Е.П., Белик Л.В., Стамблер Е.Л., Маслеса Л.Г., Гребенюк П.Т., К задаче о регулировочном торможении поезда, движущегося по пути ломаного профиля. Сб. науч. трудов ДИИТ, вып.152, Днепропетровск, 1973. – с.79-85.
167. Блохин Е.П., Маслеса Л.Г., Об устройстве сопряжений на переломах продольного профиля пути. Транспортное строительство, №3, 1982. – с.46-47.
168. Блохин Е.П., Юрченко А.В., Янгулов Н.П., Дифференциальные уравнения пространственных колебаний одномерных механических систем с переменными параметрами. Прикладная механика. Т.ХХ, №1, 1984. – с.106-111.
169. Блохин Е.П., Кантор И.И., Стамблер Е.Л., Урсуляк Л.В., Сопряжение элементов продольного профиля скоростных железных дорог. Транспортное строительство. №10, 1987. – с.8-11.
170. Блохин Е.П., Кантор И.И., Урсуляк Л.В., К обоснованию норм сопряжения элементов продольного профиля пути высокоскоростной специализированной магистрали. Транспортное строительство. №7. – М.:Транспорт, 1991. – с.12-15.
171. Блохин Е.П., Железнов К.И., Урсуляк Л.В., Моделирование эксплуатационных режимов торможения. Межвузовский сб. научн. тр., - Днепропетровск, 1994. – с.90-95.
172. Блохин Е.П., Кантор И.И., Стамблер Е.Л., Урсуляк Л.В., О корректировке некоторых участков продольного профиля высокоскоростной пассажирской магистрали. Межвузовский сб. научн. тр., - Днепропетровск, 1995. – с.4-11.
173. Блохин Е.П., Урсуляк Л.В., Луханин М.И., О торможении длинносоставных поездов. «Залізничний транспорт України». №5, 2008. с.19-21.
174. Железнов К.И., Урсуляк Л.В., Новый подход к решению задачи о моделировании продольной динамики и поступательного движения поезда. Вісник ДІТу, вип.8, Дніпропетровськ, 2005, с.107-112.
175. Железнов К.И., Урсуляк Л.В., Алгоритм оптимізації режиму руху поїзда. Збірник наукових праць «Транспорт», вип.10, Дніпропетровськ, 2002, с.81-86.
176. Моделирование динамики рельсовых экипажей [текст]/ С.В.Мямлин. – Д. – Новая идеология, 2002. – 240 с.
177. Блохин Е.П., Пшинько А.Н., Мямлин С.В., Урсуляк Л.В., Грановская Н.И., Моделирование движения поезда в аварийных ситуациях. Журнал «Залізничний транспорт» № 2, 2005, с. 16-18.
178. Блохин Е.П., Пшинько А.Н., Мямлин С.В. и др., Моделирование движения поезда в аварийных ситуациях / Залізничний транспорт України. – 2005. - №2 – с.16-18.
179. Железнов К.И., Урсуляк Л.В., Глухов В.В., Бабакова О.В., Тренажерный комплекс – современный способ обучения и повышения квалификации машинистов локомотивов. Журнал «Локомотив-инфо» № 3, 2005.

180. Железнов К.И., Урсуляк Л.В., Моделирование тормозных систем поезда для программно-аппаратного комплекса «Тренажер машиниста». Межвузовский сборник научных трудов, «Нагруженность и прочность подвижного состава», Днепропетровск, ДИИТ, 1998г.

181. Блохин Е.П., Урсуляк Л.В., Железнов К.И., Когда вагон теряет устойчивость. Вагоны и вагонное хозяйство, № 2, 2008, М., с.36-39.

182. Железнов К.И., Урсуляк Л.В., Моделирование работы локомотивов GT26CW и тормозной системы Кнорр в тренажере машиниста. Збірник наукових праць “Транспорт”, Вип. 6, Дніпропетровськ, 2000.

Е. П. Блохин – д.т.н., профессор, ДНУЖТ  
Л. А. Манашкин – д.т.н., профессор (США)

## О РАБОТАХ В. А. ЛАЗАРЯНА В ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ РЕЛЬСОВЫХ ЭКИПАЖЕЙ И ИХ РАЗВИТИИ

В научном наследии крупного ученого-механика академика АН УССР В. А. Лазаряна значительное место занимают работы, связанные с исследованием устойчивости невозмущенного движения подвижного состава железных дорог. В его работах [1-8] заложены основы применения теории устойчивости движения, разработанной А. М. Ляпуновым, к исследованию устойчивости движения рельсовых экипажей. В. А. Лазарян строго обосновал вопросы корректного выбора расчётных схем экипажей, составления уравнений возмущённого движения, применения теорем А. М. Ляпунова о первом приближении. Работы В. А. Лазаряна по исследованию устойчивости движения рельсовых экипажей явились основополагающими для ряда последующих исследований.

Не ставя перед собой задачу: сделать обзор работ школы В. А. Лазаряна в области устойчивости движения рельсовых экипажей, остановимся на некоторых положениях его работ в этом направлении, наиболее близких авторам статьи.

Следует отметить, что В. А. Лазарян очень внимательно следил за прикладной направленностью работ, выполняемых в коллективе, которым он руководил. Практически решение задач, связанных с исследованием устойчивости движения локомотивов, началось в 1957 году, когда В. А. Лазарян с группой сотрудников ДИИТа, в которую входили И. Г. Барбас, Е. П. Блохин, Э. З. Воскобойник, М. Л. Коротенко, А. И. Стукалов, выехали на Новочеркасский электровозостроительный завод для определения направления исследований [9]. Кроме этого на завод была направлена группа студентов-дипломников факультета электрификации и вагон-лаборатория, на базе которого был проведен ряд опытов по определению параметров колебаний вновь построенных электровозов.

При постановке задач исследования устойчивости движения рельсовых экипажей В. А. Лазарян большое внимание уделял корректной постановке задачи, в частности, выбору расчётной схемы. Он исходил из того, что расчётную схему надо выбирать так, чтобы она по возможности наиболее полно отражала исследуемые свойства реальной системы [10]. При этом приходится рассматривать рельсовые экипажи как нелинейные механические системы с большим числом степеней свободы. Учёт конечной жёсткости пути, когда приходится рассматривать систему «экипаж-путь», ещё больше усложняет рассматриваемую систему. Конечно, это создавало большие трудности при решении указанных задач, так как в то время основным средством вычислительной техники был арифмометр типа Феликс.

### Использование вычислительной техники

В. А. Лазарян всегда уделял большое внимание развитию вычислительной техники и подготовке специалистов ею владеющих. По его инициативе был создан факультет вычислительной техники, приобретались электронные модели непрерывного действия (МПТ-9, ЭМУ-8 и др.) и цифровые вычислительные машины, а при лаборатории динамики и прочности подвижного состава ДИИТа был организован вычислительный центр.

При использовании математических машин непрерывного действия для исследования устойчивости движения оказалось, что для неустойчивых систем переменные быстро возрастают, и выходят за пределы шкалы машины и решение становится невозможным. Поэтому В. А. Лазарян предложил использовать приём сдвига корней [3], при котором выполняется замена переменных  $x = x^* e^{\alpha t}$ , где  $x$  и  $x^*$  — векторы физических координат, а  $\alpha$  — вещественное число. При этом матрица  $A$  исходной системы уравнений  $\dot{x} = Ax$  примет вид  $A^* = A - \alpha E$ , где  $E$  — единичная матрица, а собственные числа матрицы  $A^*$  будут равны  $\lambda_i^* = \lambda_i - \alpha$ . Если принять  $\alpha > h_{\max}$ , где  $h_{\max}$  — наибольшая вещественная часть собствен-

ных чисел  $\lambda$ , то система дифференциальных уравнений станет асимптотически устойчивой и её можно решить на аналоговой вычислительной машине. С другой стороны, если от нормальной формы Коши перейти к уравнениям второго порядка, то вместо исходной неустойчивой системы  $M\ddot{\mathbf{q}} + B\dot{\mathbf{q}} + C\mathbf{q} = \mathbf{0}$  получим систему

$$M\dot{\mathbf{q}} + (B + 2\alpha M)\mathbf{q} + (C + \alpha B + \alpha^2 M)\mathbf{q} = \mathbf{0},$$

где  $M, B, C$  – матрицы инерционных, диссипативных и упругих коэффициентов исходной системы.

Анализ добавок, которые вводятся в систему, позволяет судить о том, как изменить структуру и параметры исходной системы, чтобы её движение стало асимптотически устойчивым. При помощи приёма сдвига корней был получен ряд результатов, в частности определены структура и параметры расчётной схемы четырёхосного полувагона, при которых его движение становится асимптотически устойчивым в широком диапазоне скоростей [9].

Появление цифровых вычислительных машин открыло новые горизонты. Но оказалось, что для нахождения собственных чисел и векторов матриц сравнительно высокого порядка не подходят методы, разработанные для ручного счёта. Была проделана большая работа [11] по проверке и выбору численных алгоритмов, пригодных для решения задач, связанных с исследованием устойчивости движения рельсовых экипажей. Следует заметить, что кроме сравнительно высокого порядка соответствующие матрицы коэффициентов являются несимметричными в связи с наличием в исследуемой системе неконсервативных позиционных сил и характерны наличием близких и кратных собственных чисел, что создаёт проблемы при расчётах. Именно эти особенности исследуемых систем повлияли на выбор методов их анализа и синтеза, привели к необходимости разработки новых теоретических подходов и вычислительных методов.

### Численные методы оптимизации

Для стабилизации движения механических систем большие перспективы открывает применение достаточно хорошо разработанных в настоящее время методов оптимизации. Проще всего эта задача решается для систем, движение которых описывается линейными или линеаризованными уравнениями первого приближения по А. М. Ляпунову. В этом случае показателем качества системы с точки зрения устойчивости движения является  $h_{\max}$  — максимальная величина вещественных частей собственных чисел матрицы коэффициентов уравнений возмущённого движения системы, причём для устойчивой системы, когда  $h_{\max} < 0$ , можно считать, что величина  $\eta = |h_{\max}|$  характеризует запас устойчивости движения системы. Так как собственные числа в связи с высоким порядком матриц не могут быть получены в общем виде, для их определения и для организации процесса оптимизации необходимо применение численных методов. Поскольку в число параметров, от которых зависит устойчивость движения, входят не только величины, соответствующие конструкционным особенностям рассматриваемого экипажа, но и скорость его движения  $v$ , возможны две постановки задачи оптимизации:

1. Определение параметров экипажа, при которых запас устойчивости максимален при заданной скорости движения
2. Определение параметров экипажа, при которых критическая с точки зрения устойчивости движения скорость максимальна при заданной величине запаса устойчивости.

Решением задачи оптимизации параметров рельсовых экипажей в указанной постановке занимались В. А. Лазарян, М. Л. Коротенко, Ю. В. Дёмин, Л. А. Длугач, О. М. Маркова, И. А. Серебряный, Ю. Н. Базилевич [11—17].

В первом варианте в качестве функции цели можно рассматривать

$$Q(\mathbf{a}) = \max_i Re(\lambda_i) \quad i = 1, \dots, n,$$

где  $\alpha$  — вектор варьируемых параметров;  $\lambda_i$  — собственные числа матрицы  $A$  линеаризованной системы  $\dot{x} = Ax$  уравнений возмущённого движения, и решается задача поиска  $Q^* = \min Q(\alpha)$ .

Во втором варианте целевая функция

$$Q(\alpha) = v_{кр}(\alpha)$$

и решается задача поиска  $Q^* = \max Q(\alpha)$ .

При помощи этого подхода были определены рациональные параметры ряда локомотивов и вагонов. В качестве методов оптимизации использовались как регулярные, так и случайные методы поиска экстремума.

Так как эффективность поиска существенно зависит от особенностей целевой функции, детально рассмотрен её характер. Так в работах М. Л. Коротенко, Ю. Н. Базилевича, В. А. Татариновой [18, 19] учитывается овражность, связанная с тем, что значение  $\min_{\alpha} \max_i Re(\lambda_i)$  может достигаться для различных собственных значений  $\lambda_1(\alpha)$  и  $\lambda_2(\alpha)$ , имеющих различные градиенты (считаем, что собственные числа занумерованы в порядке убывания их вещественных частей). При этом для оптимизации используется градиентный метод, а составляющие градиента вычисляются с помощью формулы, определяющей чувствительность собственных чисел матрицы к изменению её параметров [5, 20]. Для реализации этого способа необходимо после того, как окажется, что  $Re\lambda_1 - Re\lambda_2 < \varepsilon$  ( $\varepsilon$  — малое положительное число), выбирать длину очередного шага такой, чтобы после него с некоторой точностью выполнялось равенство  $Re\lambda_2 = Re\lambda_1$ , а затем находить направление следующего шага с учетом этого равенства. Проведенные вычисления показали, что применение овражных методов в рассмотренных задачах ускоряет процесс оптимизации и позволяет найти место «оврага», в котором находятся оптимальные значения целевой функции.

### Корректное упрощение дифференциальных уравнений возмущённого движения

Исследование устойчивости движения рельсовых экипажей приводит к необходимости анализа систем дифференциальных уравнений и определения собственных чисел матриц коэффициентов линейных или линеаризованных дифференциальных уравнений возмущённого движения высокого порядка. Наличие в числе сил, действующих в системе, неконсервативных позиционных сил приводит к невозможности приведения системы к главным координатам и существенно усложняет решение поставленной задачи.

Для упрощения решения задачи использовались методы корректного понижения порядка рассматриваемых систем уравнений. При этом использовались два подхода.

В первом подходе для понижения порядка исходных линейных систем использовались методы точной декомпозиции, в числе которых — как методы использующие аппарат теории групп, так и теоремы о строении конечномерных алгебр.

При использовании методов декомпозиции, учитывающих симметрию с помощью теории групп, разработаны новые подходы для учёта влияния неконсервативных позиционных сил и эффективного выполнения соответствующих расчётов [21-23]. Например, получено, что система уравнений возмущённого движения восьмьюосного вагона с одинарным рессорным подвешиванием, имеющая 32-й порядок, разбивается на шесть подсистем с порядками соответственно 2, 4, 6, 6, 6, 8, причем две подсистемы 6-ого порядка идентичны. При анализе расчётной схемы экипажа высокоскоростного наземного транспорта на электромагнитном подвешивании получено, что система уравнений 78-ого порядка распадается на четыре подсистемы, имеющие порядки 12, 12, 28 и 26.

Для дальнейшего понижения порядка Ю. Н. Базилевичем были разработаны [21, 24, 25] методы приведения нескольких матриц к наилучшему блочно-диагональному и наилуч-

шему блочно-треугольному виду с помощью замены переменных. Следует заметить, что готовое решение таких задач есть только для случая одной матрицы. Одну матрицу можно привести к её жордановой форме. Создание канонической формы для пары матриц – знаменитая нерешенная задача. Эту задачу и эквивалентные ей задачи называют дикими задачами [26].

Второй подход связан с упрощением нелинейных дифференциальных уравнений.

В работе [27] для корректного понижения порядка нелинейных дифференциальных уравнений возмущённого движения автономных систем предложен метод, основанный на исключении быстро затухающих решений. При этом сначала производится линеаризация исходной системы методами чебышевских приближений [28] и последующее приведение линеаризованной системы к главным фазовым координатам при помощи матрицы преобразования, столбцами которой являются собственные векторы матрицы линеаризованной системы. Затем в нелинейной системе переменные, соответствующие быстро затухающим главным координатам линеаризованной системы, полагаются равными нулю.

Также было рассмотрено понижение порядка неавтономных нелинейных систем [7].

Дальнейшее развитие эти способы получили в работе [29], в которой рекомендуется вместо лагранжевой применять гамильтонову форму уравнений и использовать преобразование Уорда [30], чтобы избежать потери точности при обращении плохо обусловленной матрицы.

К указанным работам близка и работа [31], в которой при преобразовании линеаризованной по Чебышеву системы не требуется решения полной проблемы собственных значений матрицы.

### Проблема малости начальных возмущений

Как известно, теоремы Ляпунова об устойчивости и неустойчивости по первому приближению применимы только при достаточно малых начальных и текущих возмущениях [5]. Поэтому необходима оценка результатов, полученных по первому приближению.

В этом направлении важна работа Ю. Н. Базилевича [32], в которой получена оценка области притяжения решения системы дифференциальных уравнений, т. е. такой области, внутри которой начальные возмущения гарантированно будут достаточно малыми для применения теории А. М. Ляпунова.

Так для системы уравнений

$$\dot{\mathbf{x}} = A\mathbf{x} + \mathbf{F}(\mathbf{x}),$$

где  $\mathbf{x}$  –  $n$ -мерный вещественный вектор;  $A$  – постоянная вещественная матрица простой структуры;  $\mathbf{F}(\mathbf{x})$  – вектор-функция, для которой выполняется неравенство

$$\|\mathbf{F}(\mathbf{x})\| \leq M \cdot \|\mathbf{x}\|^{1+\alpha}$$

где  $M$  и  $\alpha$  – положительные числа;  $\|\cdot\|$  – евклидова норма:  $\|\mathbf{x}\|^2 = \sum_k |x_k|^2$ , достаточно малыми будут начальные возмущения, удовлетворяющими неравенству

$$\mathbf{x}_0^* (P^{-1})^* P^{-1} \mathbf{x}_0 < \left( \frac{-\max \operatorname{Re} \lambda_k}{n \cdot \|P^{-1}\| \cdot M \cdot \|P\|^{1+\alpha}} \right)^{2/\alpha}$$

(здесь  $\lambda_i$  – собственные числа матрицы  $A$ ;  $P$  – матрица, столбцами которой являются собственные векторы матрицы  $A$ ).

Соответствующие расчеты можно выполнить даже для системы уравнений высокого порядка. Действительно, все вычисления здесь сводятся к определению собственных чи-

сел и канонических базисов матриц. Это можно осуществить с помощью хорошо зарекомендовавших себя алгоритмов (например,  $QR$ -алгоритма и метода обратных итераций).

Достоинствами предложенной оценки являются её сравнительная простота и применимость к системе достаточно высокого порядка, а также непосредственное присутствие в формуле величины  $h = \max_i \operatorname{Re}(\lambda_i)$ , используемой в качестве запаса устойчивости в задачах больших размерностей.

К этому направлению примыкает работа [28], в которой предлагается заменить правые части уравнений возмущённого движения их лучшим линейным приближением по Чебышеву в заданной окрестности  $D$  начала координат. В этом случае расширяется область применения первого приближения и появляется возможность привести критические случаи к некритическим [28, 33-35].

## Заключение

Обширные теоретические результаты и богатый экспериментальный материал по исследованию динамики локомотивов и вагонов позволили В. А. Лазаряну сформулировать требования, обеспечивающие хорошие динамические качества рельсовых экипажей [36]. Требования эти содержат два условия. Первое заключается в том, что асимптотическая устойчивость в заданном диапазоне скоростей должна быть обеспечена. Условие это является необходимым, но не достаточным, так как необходимо еще, чтобы перемещения, ускорения и усилия, возникающие вследствие колебаний при движении экипажей по рельсовому пути не превышали заданных значений. То есть параметры системы должны выбираться из области асимптотической устойчивости при условии, что реакция системы на возмущения при вынужденных колебаниях будет ограничена. Этот результат является важным для проектирования и оценки конструкций рельсовых экипажей.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лазарян, В. А. Собственные колебания тележечных грузовых вагонов [Текст] / В. А. Лазарян // Вестник ВНИИЖТ – 1958. – № 2. – С. 7-12.
2. Лазарян, А. В. Власні коливання локомотивів. [Текст] / В. А. Лазарян // Прикл. механіка. — 1960, 6. – № 1. – С. 312—39.
3. Лазарян В. А. Применение математических машин непрерывного действия к решению задач динамики подвижного состава железных дорог. [Текст] / В. А. Лазарян. – М.: Трансжелдориздат, 1962 – 218 с.
4. Лазарян, В. А. Динамика вагонов [Текст] / В. А. Лазарян. – М.: Транспорт, 1964. – 256 с.
5. Лазарян, В. А., Длугач Л. А., Коротенко М. Л. Устойчивость движения рельсовых экипажей [Текст] / В. А. Лазарян, Л. А. Длугач, М. Л. Коротенко. – Киев: Наук. думка, 1972. – 199 с.
6. Лазарян, В. А. Исследования устойчивости движения рельсовых экипажей [Текст] / В. А. Лазарян // Прикл. механіка. – 1977. – № 10. – С. 80-86.
7. Лазарян, В. А. Применение принципа сведения к исследованию колебаний неавтономных нелинейных систем [Текст] / В. А. Лазарян, Л. А. Длугач, М. Л. Коротенко // Нагруженность, колебания и прочность сложных механических систем Сб. ст. / АН УССР, Днепропетр. отд-ние ин-та механики. – К. Наукова думка, 1977. – С. 3-7.
8. Лазарян, В. А. Колебания железнодорожного состава [Текст] / В. А. Лазарян // Вибрации в технике. – М., 1980. – Т. 3: Машиностроение. – С. 398-433.
9. Лазарян, В. А. Определение параметров четырехосного полувагона, при которых его движение устойчиво [Текст] / В. А. Лазарян, М. Л. Коротенко, А. А. Львов // Вопросы динамики и прочности подвижного состава: Труды ДИИТа. – М., 1966. – Вып. 62. – С. 3-25.
10. Лазарян, В. А. Влияние упрощений расчетной схемы на результаты исследования устойчивости движения четырехосного полувагона [Текст] / В. А. Лазарян, М. Л. Коротенко, В. Д. Данович // Вопросы динамики подвижного состава: Труды ДИИТа. – М., 1967. – Вып. 68. – С. 42-47
11. Определение собственных значений матриц высоких порядков при помощи  $QR$ -алгоритма [Текст] / В. А. Лазарян, Л. А. Длугач, И. А. Зильберман, М. Л. Коротенко // Некоторые задачи механики скоростного рельсового транспорта: Материалы науч.-техн. совещ. (Днепропетровск, 1972 г.). – К., 1973. – С. 43-55.

12. Лазарян, В. А. Применение численных методов оптимизации к исследованию устойчивости невозмущенного движения [Текст] / В. А. Лазарян, М. Л. Коротенко // *Переходные режимы движения и колебания подвижного состава: Труды ДИИТа*. – Днепропетровск, 1970. – Вып. 114. – С. 69-73.
13. Лазарян, В. А. Применение численных методов оптимизации к определению рациональных параметров рельсовых экипажей [Текст] / В. А. Лазарян, М. Л. Коротенко, О. М. Ратникова // *Вычислительная математика в современном научно-техническом прогрессе: Тр. науч. конф.* – Канев, 1974. – С. 3-6.
14. Лазарян, В. А. Применение метода случайного поиска к определению рациональных значений параметров рессорного подвешивания [Текст] / В. А. Лазарян, М. Л. Коротенко, О. М. Ратникова // *Динамика и прочность высокоскоростного наземного транспорта / АН УССР*. – К. 1976. – С. 97-103.
15. Зильберман, И. А. Об одном алгоритме оптимизации параметров динамических систем [Текст] / И. А. Зильберман, М. Л. Коротенко // *Динамика и прочность высокоскоростного наземного транспорта / АН УССР*. – К., 1976. – С. 106-110.
16. Коротенко, М. Л. Оптимизация параметров рельсовых экипажей по величине критической скорости [Текст] / М. Л. Коротенко, О. М. Ратникова // *Исследования в области динамики рельсовых экипажей: Труды ДИИТа*. – Днепропетровск, 1976. – Вып. 182/22. – С. 18-21.
17. Коротенко, М. Л. К использованию одного из методов глобального поиска при определении рациональных параметров рельсовых экипажей [Текст] / М. Л. Коротенко, О. М. Ратникова // *Динамика и прочность высокоскоростного наземного транспорта / АН УССР*. – К., 1976. – С. 103-106.
18. Базилевич, Ю. Н. О применении методов теории чувствительности для стабилизации сложных динамических систем. [Текст] / Ю. Н. Базилевич, М. Л. Коротенко, В. А. Татарина // *Теория инвариантности и её применение. Ч. 2.* – Киев: Наук. Думка, 1979. – С. 16-21.
19. Коротенко, М. Л. Оптимизация параметров механических систем при овражном характере целевой функции [Текст] / М. Л. Коротенко, Ю. Н. Базилевич, В. А. Татарина // *Динамика и прочность сложных механических систем*. – К., 1977. – С. 31-33.
20. Като, Т. Теория возмущений линейных операторов [Текст] / Т. Като. – М.: Мир, 1972. – 740 с.
21. Базилевич, Ю. Н. Расщепление уравнений неконсервативной колебательной системы, обладающей симметрией, с помощью теории групп [Текст] / Ю. Н. Базилевич // *Некоторые задачи механики скоростного наземного транспорта*. – Киев: Наук. думка, 1974. – С. 53-56.
22. Базилевич, Ю. Н. Численные методы декомпозиции в линейных задачах механики [Текст] / Ю. Н. Базилевич – Киев: Наук. думка, 1987. – 156 с.
23. Базилевич, Ю. Н. Вибір узагальнених координат локомотива з трьома візками з урахуванням симетрії його розрахункової схеми [Текст] / Ю. М. Базилевич, М. Л. Коротенко // *Вісник Запорізького державного університету. Фізико-математичні науки, Біологічні науки. № 1, 2000.* – С. 13-16.
24. Базилевич, Ю. Н. Приведение системы линейных дифференциальных уравнений к максимально возможному количеству независимых подсистем [Текст] / Ю. Н. Базилевич // *Дифференц. уравнения*. – 1980. – 16, № 2. – С. 360-361.
25. Базилевич, Ю. Н. Точная декомпозиция линейных систем [Электрон. ресурс] / Ю. Н. Базилевич // *Электронный журнал «Исследовано в России»*, 018, стр. 182-190, 2006 г. <http://zhurnal.apc.relarn.ru/articles/2006/018.pdf>
26. Дрозд, Ю. А. О ручных и диких матричных задачах [Текст] / Ю. А. Дрозд // *Матричные задачи*. — Киев: Институт математики АН УССР, 1977. – С. 104-114.
27. Лазарян, В. А. Понижение порядка систем нелинейных дифференциальных уравнений движения путем исключения быстро затухающих решений [Текст] / В. А. Лазарян, Л. А. Длугач, И. А. Зильберман, М. Л. Коротенко // *Прикл. механика*. – 1975. – Вып.8. – С. 81-88.
28. Длугач, Л. А. О применении методов чебышевской аппроксимации к исследованию устойчивости движения в критических случаях [Текст] / Л. А. Длугач // *Прикл. механика*. – 1965. – Вып. 8. – С. 139-140.
29. Длугач, Л. А. Понижение порядка гамильтоновых систем [Текст] / Л. А. Длугач, В. А. Татарина // *Нагруженность и динамические качества механических систем*. – Киев: Наукова думка, 1981. – С. 19-24.
30. Парс, Л. Аналитическая динамика [Текст] / Л. Парс – М.: Мир, 1970. – 636 с.
31. Зильберман, И. А. О понижении порядка системы дифференциальных уравнений [Текст] / И. А. Зильберман // *Нагруженность и динамические качества механических систем*. – Киев: Наукова думка, 1981. – С. 24-28.
32. Базилевич, Ю. Н. Оценка области притяжения решения уравнений движения с помощью собственных чисел [Текст] / Ю. Н. Базилевич // *Колебания и динамические качества механических систем*. – Киев: Наук. думка, 1983. – С. 14-17.
33. Длугач, Л. А. Применение методов чебышевского приближения к вопросам устойчивости нелинейных колебаний [Текст] / Л. А. Длугач // *Совещание по проблеме нелинейных колебаний механических систем: Тез. докл.* – Рига, 1964. – С. 33-34.
34. Длугач, Л. А. О применении Чебышевских приближений к вопросам нелинейных колебаний [Текст] / Л. А. Длугач // *Вопросы динамики подвижного состава и применения математических машин: Труды ДИИТа*. – Днепропетровск, 1964. – Вып. 50. – С. 47-51.

35. Длугач, Л. А. Использование чебышевской аппроксимации для исследования устойчивости движения железнодорожных экипажей [Текст] / Л. А. Длугач, Е. Н. Добровольская // Решение инженерных задач для железнодорожного транспорта: Труды ДИИТа. – Днепропетровск, 1973. – Вып. 3. – С. 61-65.

36. Лазарян, В. А. Современные проблемы транспортных средств [Текст] / В. А. Лазарян // Нагруженность, прочность, устойчивость движения механических систем. – К.: Наукова думка, 1980. – С. 3-43.

М. Л. Коротенко – д.т.н., профессор,  
ДНУЖТ

Ю. Н. Базилевич – к. физ.-мат. н., ПГАСА

## ТРУДЫ В. А. ЛАЗАРЯНА КАК ГЕНЕРАТОРЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПУТИ И ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Решение задач динамики поезда вызывало необходимость поиска новых методов и средств. И поэтому В.А. Лазарян всегда был в поиске и являлся лидером по использованию новых в свое время методов и технических средств решения сложнейших задач механики. Благодаря его инициативе в ДИИТе появились и стали широко использоваться в научно-исследовательской работе цифровые и аналоговые электронные вычислительные машины и создан вычислительный центр.

Всеволод Арутюнович был инициатором широкого использования вычислительной техники в учебном процессе. Он лично поставил и читал новые лекционные курсы по конструкции ЭВМ, математическим методам, необходимые для эффективного использования вычислительной техники в инженерном деле и в научных исследованиях.

Учитывая одинаковые закономерности работы различных элементов электрических цепей и элементов механических систем, для исследования и анализа работы сложнейших железнодорожных механических систем с нелинейными связями В.А. Лазарян предложил использовать электрические аналоговые модели. Такие модели позволили решать новые, более объемные по количеству элементов, и более сложные по характеристикам связей, задачи механики подвижного состава.

Многочисленные примеры таких задач приведены в настоящем сборнике, а обобщение методов и результатов таких исследований сделано в монографиях [1, 2].

Перед научными сотрудниками кафедры «Путь и путевое хозяйство» и Путеепытательной лаборатории ДИИТа, при решении проблем установления уровня динамического воздействия подвижного состава на элементы железнодорожного пути, а также при установлении условий обращения подвижного состава по критерию воздействия на путь, ставились задачи взаимодействия пути и подвижного состава. Решались эти задачи традиционно совместно специалистами в области железнодорожного пути и в области динамики подвижного состава.

Тесное сотрудничество всегда давало хороший научный результат. И с появлением в научном коллективе, возглавляемом В.А. Лазаряном, разработок с использованием электроаналоговых моделей, ученые-путейцы взяли на вооружение эти методы для решения задач взаимодействия пути и подвижного состава.

Впервые метод электрического моделирования для решения задачи взаимодействия пути и подвижного состава использовали профессор Фришман М.А., доцент Липовский Р.С., инженер Воробейчик Л.Я. и кандидат технических наук Орловский А.Н. [3]. Ими была спроектирована и создана электроаналоговая модель, с помощью которой исследован процесс движения колеса подвижного состава по неровности пути. Следует отметить, что Р.С. Липовский в то время работал на кафедре строительной механики, возглавляемой В.А.Лазаряном.

Модель моделировала движение одного колеса по неровности пути, форма которой задавалась фотоэлектронномеханическим генератором функций. Привод генератора осуществлялся от коллекторного двигателя с числом оборотов до 15000 в минуту. Скорость двигателя регулировалась автоматически и контролировалась стробоскопом. На валу двигателя был насажен цилиндр из оргстекла. Задаваемая функция наносилась на образующую цилиндра при помощи непрозрачной бумаги. Лампа осветителя, расположенного в центре цилиндра, через цилиндр с неровностью передает сигнал на фотозадающий элемент, с которого и снимается сигнал неровности пути.

Трехмассовая механическая система с упругими и диссипативными связями была заменена электрической схемой с набором индуктивностей, емкостей и сопротивлений, в

которой изменение напряжений в элементах контуров соответствует изменению сил в механической системе. В результате измерения величины напряжений в элементах контура получалось решения системы дифференциальных уравнений, описывающих работу принятой механической системы.

Такой метод решения позволял существенно сократить время расчетов, при достаточной точности, а также усложнять поставленные задачи механики. Метод электроаналогового моделирования по сути позволил сделать качественный скачок в исследованиях взаимодействия пути и подвижного состава. С его появлением стали развиваться и усложняться модели, появилось множество новых задач, которые ранее сложно было решить, появились новые интересные и полезные для практического внедрения результаты.

А.Н. Орловский применил метод электроаналогового моделирования для исследования сил взаимодействия колеса и тупой крестовины, что позволило эффективно усовершенствовать конструкцию тупой крестовины. Впоследствии, совместно с М.А. Фришманом и А.М. Микитенко, эта модель была усовершенствована и позволяла исследовать силы взаимодействия в зоне крестовины обыкновенного стрелочного перевода [13]. В дальнейшем, в работах В.П. Гнатенко В.В. Рыбкина и других совершенствовалась модель движения экипажа по стрелочному переводу и глухим пересечениям, вбирая в себя все новые особенности конструкций и взаимодействия их [42-44].

С появлением новых возможностей совершенствование модели взаимодействия пути и подвижного состава велось в самых разных направлениях: как в сторону усложнения моделей, так в сторону уточнения их характеристик. Практически одновременно с моделью движения колеса по рельсу Л.Я. Воробейчиком и В.И. Климовым создана электромеханическая аналоговая модель движения двухосной тележки по двум рельсовым нитям [5]. Моделирование рычага, обладающего массой и моментом инерции с упругим опиранием в центре тяжести, позволили решать задачи воздействия на пути многоосных экипажей [9].

А.Н. Орловским и В.Н. Клименко обосновано использование модели с тремя степенями свободы для решения задач взаимодействия пути и подвижного состава в зоне неровностей [7].

Интересную задачу движения колеса по балке на сплошном упругом основании поставил и подготовил к решению ее на электроаналоговой модели Л.Я. Воробейчик [8]. В такой постановке рельс рассматривался не как приведенная сосредоточенная масса, а как балка бесконечной длины, что существенно уточняет результаты расчетов.

С помощью метода электроаналогового моделирования И.С. Леванков решил задачу расчета неравностатического пути при различной жесткости подрельсового основания на шпале и в междушпальном пролете. Результаты расчетов подтвердили необходимость учитывать в исследованиях указанную неравностатическую [10-11].

М.А. Фришман и Ю.Д. Волошко в рамках исследования работы пути с блочным железобетонным основанием провели теоретические исследования сил взаимодействия и частот колебаний элементов пути с железобетонными подрельсовыми основаниями с помощью электрического моделирования и получили практические предложения по рекомендуемой массе и размерам плит [19].

Расширение сфер применения электроаналоговых моделей и усложнение их привело к необходимости обоснования параметров моделей. В первую очередь следует отметить совместную работу В.А. Лазаряна и М.А. Фришмана с коллегами, в которой фундаментально рассматриваются экспериментальные методы определения сил трения в железнодорожном пути, исследования ускорений элементов подвижного состава [20-24]. Натурные измерения проводились различными апробированными способами, в том числе и с помощью уникального нагрузочного устройства, созданного в Путьиспытательной лаборатории ДИИТа. Это устройство и в настоящее время не имеет аналогов в исследовательских центрах стран СНГ. На основе этого прибора были разработаны методики измерения, об-

работки и получены численные значения модуля упругости пути, приведенной массы пути и сил трения в пути.

В ходе специального натурального эксперимента и целенаправленной обработки его результатов коллективом авторов под руководством профессора Фришмана М.А. [14] предложены численные значения приведенных масс и жесткостей электроаналоговой модели взаимодействия тупой крестовины и колеса.

Инженерами Л.Я. Воробейчиком и В.И. Климовым было исследование влияние сухого трения на характеристики взаимодействия и рекомендованы способ учета существенно нелинейных сил сопротивления в связях электроаналоговой модели [15]

Многовариантные расчеты, сопоставление с результатами натуральных экспериментов позволили совершенствовать характеристики расчетной модели. Так А.Н. Орловский пришел к выводу о необходимости учета времени прохождения колесом короткой неровности [6].

И.С. Леванковым на основе анализа колебаний системы «колесо-рельс» сделан вывод о том, что силы неупругого сопротивления, связанные с наличием сил трения в пути, проявляются в разных физических процессах взаимодействия и являются самостоятельными характеристиками пути. На основе этого предложен способ определения динамического модуля упругости подрельсового основания [41].

В ряде исследований в качестве возмущающего фактора принимались не только геометрические неровности пути и колес подвижного состава, а и силовые неровности, обусловленные неравножесткостью основания железнодорожного пути [45-46]. Такой подход позволяет получить достоверные решения, особенно при скоростном и высокоскоростном движении.

Качественный скачок в разработке и использовании электроаналогового моделирования для решения задач взаимодействия пути и подвижного состава произошел с появлением аналоговых электронных вычислительных машин. Практически отпали ограничения по количеству решаемых дифференциальных уравнений. И первую модель движения четырехосного грузового вагона по инерционному пути разработал коллектив авторов во главе с В.А. Лазаряном [31-37] и при непосредственном участии В.Д. Дановича, который впоследствии защитил докторскую диссертацию и возглавлял кафедру «Путь и путевое хозяйство» ДИИТа. Это еще раз подтверждает неразрывную научную связь специалистов по динамике подвижного состава и по железнодорожному пути. Цикл расчетов [34] выполнен для скоростей движения свыше 200 км/час, на основе чего дано обоснование возможности организации высокоскоростного движения поездов. После многократных усовершенствований данная модель четырехосного грузового вагона доведена до механической системы с 86 связями и 28 степенями свободы [37], что позволило наиболее полно описать вагон.

В конце 60-х начале 70-х годов Путьиспытательная лаборатория ДИИТа приобрела аналоговые вычислительные машины МН-7 и аналоговый вычислительный комплекс АВК-2, которые значительно расширили возможности моделирования. Появилась возможность не генерировать любые функции электронным генератором с большей точностью, увеличилось количество блоков с множеством разнообразных электронных элементов, что позволило решать более сложные и трудоемкие задачи.

А.Ф. Логвин используя три аналоговые моделирующие установки МН-7, решил задачу движения тележки вагона по горизонтальной неровности пути, решая при этом систему дифференциальных уравнений 18 порядка [16-17]. При этом В.И.Климовым, на принципиально новой основе с использованием высокочувствительных фоторезисторов была решена задача моделирования неровностей [18].

Ю.Д. Волошко проведя исследования на АВМ МН-7 реакций элементов пути на вертикальное и горизонтальное поперечное воздействие подвижного состава, установил рациональную вертикальную и горизонтальную жесткость рельсовых нитей, обеспечивающий

минимальный с точки зрения местных и контактных деформаций эффект [25-29]. В работе [29] Ю.Д. Волошко предложил ввести в качестве возмущающих факторов геометрическую и силовую неровности пути, а также нелинейность вертикальной жесткости подрельсового основания при подъеме рельса, что позволило приблизить модель к исследуемой механической системе.

Появление в пути сложных инженерных конструкций, например тупых крестовин с подвижными острьями, не вызвало трудностей при исследовании сил взаимодействия их с подвижным составом. Такие расчеты и использованием АВМ МН-7 провел В.Н. Клименко и получил необходимые динамические характеристики [30].

Сложным неустановившимся движением является движение экипажей по переходным кривым. Поэтому динамическое воздействие экипажа на путь в этих условиях представляет особый интерес. Под руководством Ю.Д. Волошко поставлена задача исследования динамики взаимодействия в зоне переходной кривой и получены решения, позволивший установить технические требования к содержанию переходных кривых [47].

Особо следует выделить работы по оценке воздействия на путь нового подвижного состава, или подвижного состава в предельно изношенном состоянии. Одна из таких работ выполнялась при активном участии Главного инженера Приднепровской железной дороги Н.А. Пономаренко [38-39]. В этой работе исследовалось горизонтальное и вертикальное воздействие на путь тепловоза ТЭ-3 с изношенной экипажной частью. Результаты работы позволили определить условия обращения на сети железных дорог тепловоза ТЭ-3 с изношенной экипажной частью.

Широкое внедрение железобетонных шпал требовало оценки силового воздействия на путь при увеличении жесткости последнего. С этой целью И.С. Леванков и А.Ф. Логвин выполнили специальное исследование, которое дало возможность влияния стыковой неровности на уровень взаимодействия пути и подвижного состава [40].

По заданию Министерства тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения и Министерства путей сообщения в 1970-1973 годах с участием ряда научных коллективов страны были проведены уникальные испытания скоростного вагона лаборатории со скоростью 250 км/час. Теоретические исследования воздействия на путь этого вагона со скоростью до 250 км/час были выполнены Путиспытательной лабораторией ДИИТа под руководством профессора Фришмана М.А. [45]. В этих исследованиях приведенная масса пути была введена в расчет как переменная величина, зависящая от скорости движения. Такой подход позволил получить результаты, согласованные с натурным экспериментом.

Решение каждой из перечисленных выше задач требовало разработки уникальной математической модели, предназначенной для поиска ответов на поставленные вопросы, решения всех этих моделей производились с использованием электроаналоговых или цифровых методов. И вместе с тем, необходимо особо подчеркнуть практическую направленность всех полученных в перечисленных теоретических исследованиях результатов.

Следует отметить широкое применение электроаналогового и цифрового моделирования для решения задач взаимодействия пути и подвижного состава не только в ДИИТе, но и в других научных центрах Советского Союза. Например, в Ленинградском институте инженеров путей сообщения сформировалась научная школа исследователей под руководством профессоров С.В. Амелина и В.Ф. Яковлева, в которой было и поставлено и решено множество задач по взаимодействию пути и подвижного состава [48-50].

Широко использовались электроаналоговые модели для исследования процессов взаимодействия пути и подвижного состава во Всесоюзном научно-исследовательском институте железнодорожного транспорта, выполненные под руководством профессоров М.Ф. Вериги, В.Н. Данилова, О.П. Ершкова, Ю.С.Ромена [51-53].

Известны и практически ценны работы ученых кафедры «Путь и путевое хозяйство» МИИТа, возглавляемой профессором Г.М. Шахуняцем [54-55].

Широкое распространение и использование в настоящее время в научных исследованиях цифровой вычислительной техники только расширило возможности моделирования задач динамики взаимодействия пути и подвижного состава и пути. И сегодня ни одна и задач, поставленная перед исследователями не решается без моделирования, основы которого заложены Всеволодом Арутюновичем Лазаряном.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лазарян В.А. Применение математических машин непрерывного действия к решению задач динамики подвижного состава железных дорог / В. А. Лазарян. – М.: Трансжелдориздат, 1962. – 218 с.
2. Лазарян В.А. Динамика вагонов / В.А. Лазарян. – М.: Транспорт, 1964. – 256 с.
3. Фришман М.А., Липовский Р.С., Воробейчик Л.Я., Орловский А.Н. Применение метода электрического моделирования к исследованию задач по взаимодействию пути и подвижного состава // Бюллетень технико-экономической информации, МПС, № 3, 1962.
4. Орловский А.Н. Применение метода электрического моделирования к исследованию сил взаимодействия колеса и тупой крестовины // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТа, вып. 42, 1962.
5. Воробейчик Л.Я., Климов В.И. Электроаналоговая модель для исследования процесса движения тележек по неровности // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТа, вып. 51, 1964, с. 93-97.
6. Орловский А.Н. Об одной характеристике расчетной схемы при исследовании динамической силы на неровности // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТа, вып. 57, 1965, с. 38-41.
7. Орловский А.Н., Клименко В.Н. Обоснование выбора расчетной схемы для исследования взаимодействия колеса в зоне неровностей // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТа, вып. 57, 1965, с. 42-49.
8. Воробейчик Л.Я. К постановке задачи о моделировании балки на сплошном упругом основании // В кн. Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТа, вып. 57, 1965, с. 49-58.
9. Климов В.И. О моделировании весомого рычага // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТа, вып. 57, 1965, с. 57-62.
10. Леванков И.С. Влияние неравножесткости пути на шпалах и в междушпальных пролетах на силы взаимодействия пути и подвижного состава // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТа, вып. 57, 1965, с. 63-79.
11. Леванков И.С. Исследование влияния изменения жесткости вдоль звена пути на характер и силы взаимодействия сго с подвижным составом // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТа, вып. 99, 1969, с. 76-93.
12. Леванков И.С. Качественный анализ свободных колебаний системы «неподрессоренная масса-путь» при периодическом изменении жесткости пути по его длине // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТа, вып. 138, 1972, с. 57-72.
13. Фришман М.А., Орловский А.Н. Микитенко А.М. Исследование сил взаимодействия пути и подвижного состава в зоне крестовин стрелочного перевода на железобетонном основании // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТа, вып. 69, 1967, с. 4-10.
14. Фришман М.А., Воробейчик Л.Я., Клименко В.Н., Климов В.И. Об одном опыте измерения ускорений элементов пути // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТа, вып. 69, 1967, с. 11-16.
15. Воробейчик Л.Я., Климов В.И. Моделирование неупругих сопротивлений на электроаналоговых моделях // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТа, вып. 69, 1967, с. 17-26.
16. Логвин А.Ф. Решение задач о влиянии горизонтальных неровностей на силы взаимодействия пути и подвижного состава // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТа, вып. 69, 1967, с. 27-35.
17. Логвин А.Ф. Горизонтальные поперечные силы взаимодействия вагона и пути с учетом сил сухого трения // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТа, вып. 138, 1972, с. 107-116.
18. Климов В.И. Моделирование возмущений при решении задач на машинах непрерывного действия // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТа, вып. 69, 1967, с. 36-38.
19. Фришман М.А., Волошко Ю.Д. Исследование сил взаимодействия и частот колебаний элементов пути с железобетонными подрельсовыми основаниями с помощью электрического моделирования // Исследование работы пути с блочным подрельсовым основанием. Труды МИИТ и ДИИТ, вып. 249, 1967, с. 84-93.

20. Лазарян В.А., Фришман М.А., Воробейчик Л.Я., Климов В.И., Липовский Р.С. Об экспериментальном определении сил трения в пути // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 78, 1967, с. 4-14.
21. Лазарян В.А., Фришман М.А., Воробейчик Л.Я., Липовский Р.С. Экспериментальное определение характеристик неупругого сопротивления железнодорожного пути // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 88, 1968, с. 3-12.
22. Лазарян В.А., Фришман М.А., Воробейчик Л.Я. Спектральный анализ ускорений элементов пути и неподдрессоренных масс четырехосного вагона // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 88, 1968, с. 20-25.
23. Лазарян В.А., Липовский Р.С., Манашкин Л.А., Данович В.Д., Грановский Р.Б. Влияние параметров пути и тележки на силы взаимодействия // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 88, 1968, с. 26-30.
24. Фришман М.А., Воробейчик Л.Я., Климов В.И. Исследование пространственных характеристик пути на блочных основаниях // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 117, 1970, с. 17-24.
25. Волошко Ю.Д. Исследование на АВМ МН-7 реакций элементов пути на горизонтальное поперечное воздействие подвижного состава // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 78, 1967, с. 33-45.
26. Волошко Ю.Д. Метод исследования вертикальной динамики пути с железобетонным подрельсовым основанием // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 99, 1969, с. 39-48.
27. Волошко Ю.Д. Особенности горизонтального поперечного воздействия вагона на путь с железобетонным основанием // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 99, 1969, с. 49-56.
28. Волошко Ю.Д., Суриков Е.Г. Исследования на АВМ некоторых особенностей вертикального взаимодействия вагона и пути с блочным подрельсовым основанием // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 142, 1973, с. 10-20.
29. Волошко Ю.Д. Нелинейная схема вертикального взаимодействия экипажа и пути с блочным основанием // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 151, 1974, с. 53-61.
30. Клименко В.Н. Характеристика динамики взаимодействия колес и тупых крестовин с подвижными острьями // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 78, 1967, с. 101-110.
31. Лазарян В.А., Фришман М.А., Липовский Р.С., Леванков И.С., Берман З.Г. Силы взаимодействия колес и рельсов, вызванные короткими неровностями // Вестник ВНИИЖТа № 6, 1960.
32. Лазарян В.А., Липовский Р.С., Манашкин Л.А., Данович В.Д. Вынужденные колебания четырехосного грузового вагона при движении по инерционному пути // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 88, 1968, с. 13-19.
33. Лазарян В.А., Данович В.Д., Манашкин Л.А. Вынужденные колебания вагонов при движении по периодическим неровностям пути // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 99, 1969, с. 26-31.
34. Лазарян В.А., Грановский Р.Б., Данович В.Д., Липовский Р.С. Вынужденные колебания четырехосного вагона, движущегося по инерционному пути // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 117, 1970, с. 3-16.
35. Фришман М.А., Воробейчик Л.Я., Грановский Р.Б., Данович В.Д., Липовский Р.С. Влияние сил трения в пути на силы взаимодействия между колесом и рельсом при движении четырехосных вагонов по неровностям пути // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 99, 1969, с. 20-31.
36. Данович В.Д., Липовский Р.С. Аналитическое определение сил при движении четырехосного вагона по инерционному пути с детерминированными неровностями // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 117, 1970, с. 153-158.
37. Лазарян В.А., Коротенко М.Л., Липовский Р.С., Данович В.Д. Дифференциальные уравнения пространственных колебаний четырехосного грузового вагона при движении по инерционному пути, рассматриваемому как дискретная система // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 138, 1972, с. 3-15.
38. Фришман М.А., Татуревич А.П., Клименко В.Н., Пономаренко Н.А. К вопросу исследования вертикального воздействия на путь тепловоза ТЭ-3 // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 117, 1970, с. 53-64.
39. Логвин А.Ф., Пономаренко Н.А. Горизонтальные силы взаимодействия пути и тепловоза ТЭ-3 в зависимости от величины зазора колес // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 117, 1970, с. 73-80.

40. Леванков И.С., Логвин А.Ф. Исследования на АВМ сил взаимодействия пути с железобетонными шпалами в зоне рельсового стыка // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 117, 1970, с. 81-88.
41. Леванков И.С. О двух видах неупругого сопротивления, связанного с работой сил трения в пути // В кн. Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 142, 1973, с. 103-110.
42. Фришман М.А., Липовский Р.С., Гнатенко В.П., Кущенко Н.П. Выбор расчетной схемы для определения вертикальных сил при движении экипажа по стрелочному переводу // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 167/16, 1975, с. 25-30.
43. Рыбкин В.В., Трякин А.П., Маковский В.А. Рабинович А.Б. Уравнения пространственных колебаний при движении экипажа по пути с детерминированными неровностями // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 198/20, 1978, с. 97-110.
44. Фришман М.А., Трякин А.П., Рыбкин В.В., Липовский Р.С. Исследование сил взаимодействия четырехосного полувагона и элементов глухих пересечений // В кн. Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 198/20, 1978, с. 110-117.
45. Иволга Н.В. Теоретическое исследование воздействия на путь скоростного вагона-лаборатории с реактивной тягой // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 167/16, 1975, с. 37-46.
46. Настечик Н.П. Исследование силового взаимодействия четырехосного вагона и пути в зоне силовой неровности // В кн. Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 209/22, 1980, с. 49-54.
47. Волошко Ю.Д., Юнкевич В.Г. Оптимизация динамических эффектов в пределах переходных кривых // В кн. Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 209/22, 1980, с. 101-116.
48. Амелин С.В., Яковлев В.Ф., Семенов И.И. О применении ЭВМ при исследованиях пути и подвижного состава и рельса // Труды ЛИИЖТа, вып. 233, Л., 1964.
49. Яковлев В.Ф. О параметрах расчетной схемы сил взаимодействия в контакте колеса и рельса // Труды ЛИИЖТа, вып. 222, Л., 1964.
50. Даниленко Э.И., Гниломедов В.В., Абросимов В.И. Силовое взаимодействие подвижного состава и крестовин с непрерывной поверхностью катания // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 228/25, 1983, с. 98-107.
51. Вериго М.Ф., Ершков О.П., Ромен Ю.С. и др. Применение аналоговых вычислительных машин для исследования динамики взаимодействия пути и подвижного состава // Труды ЦНИИ МПС, вып. 347, М., «Транспорт», 1967.
52. Данилов В.Н. Железнодорожный пути и его взаимодействие с подвижным составом // М., Транспорт, 1961.
53. Кудрявцев Н.Н. Применение аналоговых вычислительных машин для исследования взаимодействия колеса и рельса // Вестник ВНИИЖТа, № 7, 1964.
54. Гасанов А.И. О приведенной массе пути // Вестник ВНИИЖТа, № 6, 1968.
55. Вольнов М.В. Исследование точности определения инерционных, диссипативных и упругих характеристик пути для континуальной и дискретной его моделей // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ, вып. 198/20, 1978, с. 40-44.

В. В. РЫБКИН – д.т.н., профессор, ДНУЖТ  
(Украина)

## ФОТОГАЛЕРЕЯ



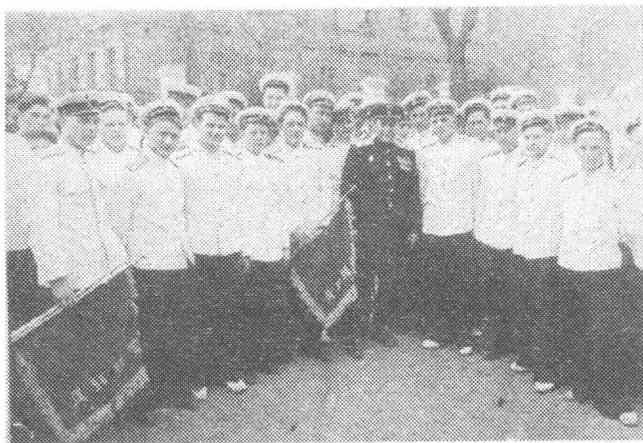
Заведующий кафедрой строительной механики ДИИТа В.А.Лазарян



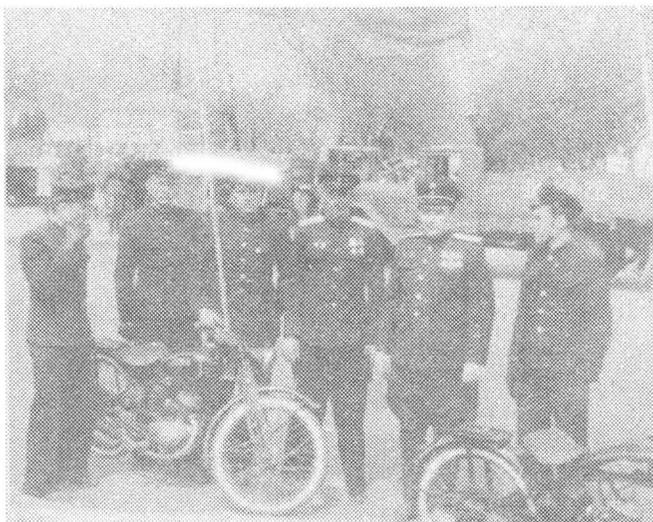
Начальник ДИИТа В.А.Лазарян (справа) и начальник военной кафедры полковник А.М.Бибеев приветствуют студентов



Генерал директор пути и строительства III ранга В.А.Лазарян в служебном кабинете



Начальник ДИИТа В.А.Лазарян и студенческий оркестр



Подготовка к параду. Второй справа – В.А.Лазарян



В.А.Лазарян (3-й справа в нижнем ряду) с преподавателями института



Заведующие кафедрами В.М.Мещеряков, В.А.Лазарян, Ф.В.Флоринский



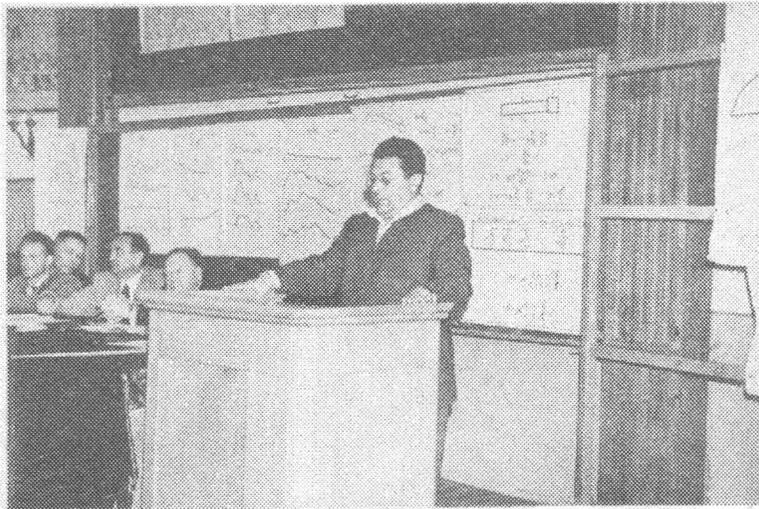
В народном комиссариате СССР. 4-й справа в первом ряду – генерал Лазарян



Профессора А.Е.Белан, С.В.Амелин, В.А.Лазарян (в первом ряду) с сотрудниками и студентами



Профессора В.Н.Тверитин и В.А.Лазарян



Доклад В.А.Лазаряна на научной конференции



Выступление В.А.Лазаряна на защите диссертации своего ученика



Встреча в г. София с выпускниками ДИИТа. В.А.Лазарян – в центре



Первый начальник ДИИТа Н.М.Федиченко и В.А.Лазарян



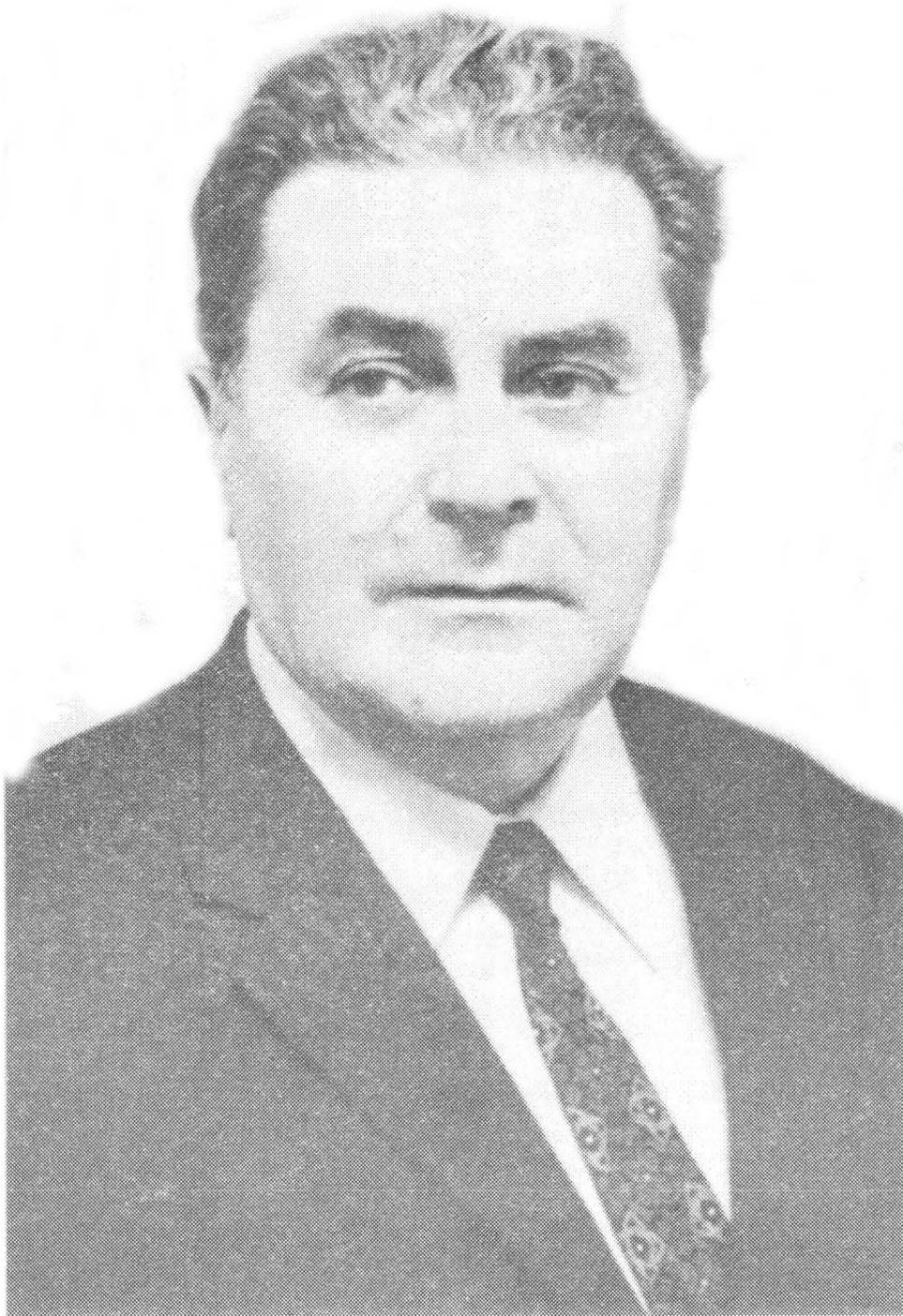
В.А.Лазарян с коллегами-ракетостроителями



Открытие памятной доски на новом корпусе ДИИТа



Зозложение цветов Анной Григорьевной Лазарян и проректором Е.П.Блохиным



Акадсмик В.А.Лазарян (1909-1978 г.г.)

