

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 656.027:624.07

В. В. КУЛЯБКО\*

\* Кафедра металлических, деревянных и пластмассовых конструкций, Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Чернышевского, 24а. г. Днепр, Украина, 49600, тел. +38 (056) 745 23 72

### О МОДЕЛЯХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С НЕСУЩИМИ КОНСТРУКЦИЯМИ И ОКРУЖАЮЩИМИ СРЕДАМИ (ОБЗОР)

**Цель.** В работе рассматриваются история и проблемы развития статико-динамического взаимодействия транспортных средств, сооружений и объектов инфраструктуры. Во введении описаны некоторые публикации по бурно развивающейся теме, а целью статьи поставлена задача об уточнении расчетных схем и моделей. **Методика.** В методике исследований даются новые элементы динамических нагрузок внешних и возникающих от взаимодействия конструкций с экипажами. **Результаты.** Продемонстрированы примеры взаимодействия транспортных и несущих строительных объектов, а также даются рекомендуемые составы основных подсистем задач. **Научная новизна** состоит в совместном рассмотрении статики и динамики нелинейных систем, для которых неприменим принцип суперпозиции, широко используемый в методе конечных элементов (МКЭ) для независимых отдельных расчетов на статику и динамику. Удобный и привычный для инженеров опыт работы с компьютерным моделированием на базе линейной динамики в МКЭ, т.е. сервис линейных расчетов статики, может условно применяться только для первоначальной отладки линейной части нелинейных программ. Именно последнее обстоятельство и расширяет границы и значимость более обоснованных практических расчетов. **Практическая значимость.** Предложены пути развития теоретических и экспериментальных способов расчета, конструирования, испытаний и диагностики технического состояния различных объектов строительства, транспорта и машиностроения. Важнейшим практическим решением является создание школ-инкубаторов для подготовки специалистов и открытие инженерных курсов по вопросам динамики конструкций, направленных на обновление знаний и лицензирование кадров.

**Ключевые слова:** динамика конструкций и сред; статико-динамическое взаимодействие; высокоскоростное движение; подвижная нагрузка; сооружение; нелинейные системы

#### Введение

Две предыдущие конференции, организованные ДИИТом по мостам и тоннелям в 2012 (5-я) и 2018 году (6-я), публиковались в сборниках соответственно 3 и 13. Автор на первой из этих конференций обратил особое внимание на необходимость фундаментального развития научно-лабораторной базы и на расширение тематики спецкурсов по динамике конструкций и сооружений (Кулябко, 2012). На последней конференции, в 2018 году, на ее пленарном заседании автор уже выступил с докладом «Возрождение выдающихся школ динамики Днепра – как залог развития инженерного потенциала», а в статье (Кулябко, 2018а) конкретно, перечислив эти школы, предложил «ввести в резонанс» эти школы, или что от них осталось.

Причем, здесь термин «резонанс» подразумевался в двух трактовках: известного из физи-

ки и теории колебаний эффекта и активно существующего в Днепре уже более 40 лет межвузовского молодежно-студенческого кружка. В конце же той статьи читатель приглашался (соответствующими ссылками) и на просмотр восьми лекций-бесед автора по динамике в YouTube, и по другой ссылке – вступить в общедоступную группу «Динамика сооружений и кружок Резонанс» на FaceBook. Пользуясь случаем, в данной статье 2020 года опять приглашаются ВСЕ желающие в оба указанные ресурса по прежним (действующим!) ссылкам. На момент начала конференции в группе за 2,5 года состоит уже более 130 человек, в т.ч. треть – связанных с ДИИТом; «пропуск» в группу идет по рекомендациям «динамиков», по научным и педагогическим вопросам обучения динамике и т.п.

Заметим, что в работе (Кулябко, 2018а) упоминались (как бы специально для

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

НуретЛоор Илона Маска) некоторые приоритетные для Днепра объекты и направления, начатые еще в 60-х годах прошлого столетия в школе динамики великого Всеволода Арутюновича Лазаряна. Сегодня, благодаря внимательному Оргкомитету «конференции с посвящением» (VII-а Міжнародна науково-практична конференція «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика», що присвячена 100-річчю з дня народження академіка М. Г. Бондаря та 110-річчю з дня народження професора М. Н. Гольдштейна), выделим особо из того обширного перечня «динамических» школ Днепра двух наших действительно известных и великих профессоров ДИИТа.

Первый (по алфавиту) – «мостовик» Николай Герасимович Бондарь: 100 лет со дня рождения! А книги Николай Герасимович так и называл: «Динамика мостов» и т.п.). Я лично знаком и с его хорошими учениками: от аспирантов (Бездетко П., Попович Н., Серебрянский В.) и до продолжателей на посту заведующих его мостовой кафедры: Загора А. Л., Распопов А. С., Марочка В. В., Тюткин А. Л., Казакевич М. И. (Михаил Исаакович – не только мой давний хороший друг в жизни и сложных научных работах, но ему же я обязан консультациями и «выталкиванием из меня» моей докторской!).

Второй великий – «грунтовик» Михаил Наумович Гольдштейн! Тут – 110 лет со дня рождения, масса книг по основаниям и грунтоведению, нормативы. Огромная практика и научный артистизм на защитах и предзащитах диссертаций! Примерно в 1967 г. я, 28-летний руководитель группы «Ипромашпрома» (ныне ГДПИ в Днепре), получив в ужасе задание «поставить в пустующий 5 лет котлован глубиной 5 м» высокий 9-тиэтажный лабораторный корпус на центральной площади у обкома партии в Запорожье, обратился к нему за помощью... «Приходите завтра на заседание кафедры!», сказал профессор. После моего краткого изложения «ужаса», Михаил Наумович потребовал мнение и совет от каждого преподавателя! Они дрожали и заикались, а он в итоге сказал «Пишите: уплотнить грунт котлована до  $1,6 \text{ т/м}^3$  с проверкой в лаборатории, я подпишу заключение. А вы, кстати, запроектируйте хорошие фундаменты и подвал». И я выдал (от ужаса ведь!) целый подвал-корабль с железобетонными неразрезными стенами-балками, нижней и

верхней их арматурой... Спасибо всем этим культурным и знающим людям, отличным учителям и ученым!

**Цель**

В своих рекламно-информационных выступлениях в текущем году великий инноватор Илон Маск настойчиво приглашает ученых – механиков-динамиков и, конечно, айтишников и электронщиков присылать в его фирмы свои резюме. Можно, конечно, позавидовать возможностям его фирм, но ведь завидовать – не хорошо, а лучше подумать и чем-то помочь прогрессу?! Например, – в постановках задачи о статико-динамическом взаимодействии движущегося высокоскоростного транспортного средства и окружающих его сред, инфраструктуры, несущих конструкций (в том числе тоннелей или труб, мостов, оснований и т.п.).

В связи с этим приносим свои извинения за то, что в приведенном списке литературы по теме основное внимание уделялось ознакомлению читателей и коллег с некоторыми менее знакомыми мостовикам и тоннельщикам работами коллектива «Резонанс» за последнее десятилетие (Kulyabko, Raspopov, & Artomov, 2011; Kulyabko, & Yaroshenko, 2013; Kulyabko, Masarow, Nechitailo, & Yaroshenko, 2015; Eremin, Raizer, Telichenko, Kulyabko, & other, 2016; Kulyabko, & Babenko, 2018; Кулябко, 2011a; Кулябко, 2011b; Кулябко, 2011c; Кулябко, 2012; Кулябко, & Банах, 2012; Кулябко, & Ярошенко, 2012a; Кулябко, & Ярошенко, 2012b; Кулябко, & Ярошенко, 2012c; Кулябко, Банах, & Ярошенко, 2013; Кулябко, & Ярошенко, 2013; Кулябко, 2014; Кулябко, 2017; Кулябко, & Наумов, 2017; Кулябко, 2018a; Кулябко, 2018b; Кулябко, 2020).

Еще более обширную библиографию обзорного характера и методические примеры можно найти в защищенных «резонансниками» диссертациях (три докторские: Кулябко В. В., Редченко В. П., Банах В. А. и пять кандидатских: Давыдов И. И., Чабан В. П., Банах А. В., Ярошенко Д. С., Макаров А. В.).

**Методика**

Важнейшим элементом при научных исследованиях транспортных сооружений и связан-

ных с ними объектов является принципиальная расчетная схема и динамические модели конкретной задачи. По ним составляются модели отдельных линейных или нелинейных, плоских или пространственных подсистем и связей между ними.

Прежде всего, кроме стандартного набора постоянных и временных нагрузок, особо тщательно для транспортных сооружений выявляются наиболее характерные для местности и объекта виды и величины детерминированных и случайных внешних возмущающих воздействий типа сейсмических, температурных, ветровых и т.п. нагрузок и воздействий. Включая землетрясения и цунами, а также не только тайфуны, штормы и одиночные порывы воздушного потока, но и все возможные аэродинамические эффекты от взаимодействия этих потоков с формой и параметрами конкретного объекта (ветровой резонанс, галопирование, бафтинг и др.).

Затем после проведения специальных натуральных экспериментов по определению упруго-диссипативных нелинейных свойств конструкций составляются дифференциальные уравнения (статико-динамического медленного или медленно-ползучего или быстро-мгновенного) движения всех подсистем и от внешних воздействий, и от процесса взаимодействия сооружения с экипажем (т. наз. подвижной инерционной нагрузкой). Которые впоследствии объединяются в общую математическую модель задачи. Ее с осторожностью можно назвать «компьютерной моделью», которая уже может быть ориентирована на один из подходящих видов программного обеспечения с удобным сервисом решения систем нелинейных дифуравнений (например, при помощи пакета MathCAD).

### Результаты

В докладе в качестве результатов исследования обозначенного сложного вопроса механики (который не разрешился до сих пор полностью и корректно, хотя бы приближенно «по инженерному», еще с момента крушения поезда на мосту Англии в 1948 г.) будут показаны примеры динамических взаимодействий разных экипажей и машин с некоторыми мостами и

промышленными эстакадами. Например, виброграммы развития динамических напряжений при проходе колонны груженых по 30 т «Татр» по левобережной части Кайдакского моста в Днестре.

Добавим еще некоторые рекомендации, касающиеся подробностей содержания и (получаемых из опытов) свойств отдельных подсистем и элементов моделей, в частности:

– корпус экипажа, локомотива, вагона. Здесь важны не только диссипативные и жесткостные характеристики всех элементов, но и фактическое расположение масс конструкции, грузов, оборудования; способы и точки опирания, например, перевозимых длинномеров; возможности разрыва односторонних (нелинейных) связей и т.п.;

– подвешивание корпуса (контактное механическое – одно- или многоярусное; на тележках с нелинейно-упругими и нелинейно-диссипативными (например, фрикционными) элементами; бесконтактное магнитное, электродинамическое, вакуумное и др.;

– путь и направляющие (рельсы, труба с повышенным давлением, вакуумом и т.п.). При создании новых мало изученных типов транспортных средств и направляющих пути желательно на опытном участке (или кольце) проверить взаимодействие экипажа и пути с созданием всевозможных включений, стыков и «дефектов износа и ремонтов». Эти проблемы ярко иллюстрирует и канатная подвесная дорога на гибких нитях с ее сложной нелинейной механикой;

– основание. Основанием для пути и направляющих могут быть не только рельсошпальная решетка на нелинейных грунтовых основаниях с часто меняющимися «погодными» свойствами, но и загадочные большепролетные струны типа «skyway», мосты, эстакады с особыми высокими несущими опорами и др.

Все новые виды сооружений должны тщательно «обкатываться» до совпадения расчетов и тензометрии всех элементов пути и экипажей. Так делали кафедры академиков Лазаряна В. А., Бондаря Н. Г., Фишмана М. И. и Гольдштейна М. Н. в 1972-73 годах при ходовых испытаниях скоростного вагона-лаборатории (СВЛ) с реактивной тягой!

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Искусственные сооружения на пути следования, включая их особые начальные и конечные участки. Для новых высокоскоростных трасс должны быть разработаны новые нормативные материалы – после тщательных нелинейных динамических расчетов применительно к каждому виду искусственного сооружения. Причем, выводы разных организаций по экспериментам и расчетам должны обсуждаться «третьими организациями» (а мы с М. И. Казакевичем однажды на испытаниях и расчетах мостов Прибалтики были представителями «третьей страны»).

Особенности видов окружающих сред и разнообразных видов сопротивлений движению. Здесь, очевидно, могут быть использованы и требования к аэродинамике в авиации и аэропортах, а также развит большой научный и учебный опыт по изучению сил сопротивления движению существующих экипажей по различным путям (помню, этот вопрос попался мне на экзамене кандминимума по подвижному составу примерно в 1975 г.!).

#### Научная новизна и практическая значимость

Научная новизна разработанных новых теоретических и экспериментальных методик позволит создавать более достоверные статико-динамические модели и исследовать НДС, прежде всего, для реальных нелинейных систем, подсистем и связей между ними. Удобный и привычный (для инженеров за полувековой опыт работы с ПК на базе линейной динамики в МКЭ) сервис линейных расчетов статки может условно применяться только для первоначальной отладки линейной части нелинейных программ.

Развитие и внедрение для анализа и расчетов всех видов нелинейных систем предлагаемых альтернативных методик одновременного моделирования статки совместно с динамикой (одномоментно во времени, без ошибочного применения к таким системам принципа суперпозиции), позволит улучшить расчетные модели и сделать более надежными методики создания новой техники при решении задач динамики конструкций и сооружений.

В реальных системах конструкций и задач взаимодействия транспортного средства и пути линейных систем просто нет! И чем выше скорости движения, тем существеннее проявляются нелинейные эффекты. Поэтому применительно к теории и практике высокоскоростного транспорта XXI века учет всех основных нелинейностей моделей экипажа и пути просто необходим.

#### Выводы

Для развития теоретических и экспериментальных способов расчета, конструирования, испытаний и диагностики технического состояния различных объектов строительства, транспорта и машиностроения целесообразно быстро и качественно глубоко развивать новации, оборудование и соответствующие ветви научного и практического образования.

Для этого в такой специфической отрасли знаний, как динамика сложных объектов, рекомендуется создание:

- лицензированных лабораторий динамики конструкций;
- школ-инкубаторов для подготовки соответствующих специалистов этих лабораторий, учебных подразделений, проектных и научных организаций;
- инженерных курсов по обновлению знаний (и лицензированию кадров) по сложным вопросам динамики конструкций;
- обновление нормативной и приборной базы соответствующих задач.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Eremin, K., Raizer, V., Telichenko, V., Kulyabko, V. V., & other (2016). *Safety assessment of existing buildings and structures*. Stockholm, Sweden: FSV Construction.
- Kulyabko, V., & Babenko, M. (2018). Synergy of vibroecologists, programmers, inventors and testers of buildings and structures under the evaluation of the impact of the dynamics of structures. *Sustainable housing and human settlement* (p. 108-115). Dnipro – Bratislava: SHEE “PSACEA” – Slovak University of Technology in Bratislava.
- Kulyabko, V., Macarow, A., Nechitailo, O., & Yaroshenko, D. (2015). *Structure dynamics: calculations, designing, diagnostic tests and nonlinear*

- damping. *Harvard Journal of Fundamental and Applied Studies*, 1(7), 520-530.
- Kulyabko, V., Raspopov, O., & Artomov, V. (2011). *Actual problems of interaction of objects of the infrastructure and rolling stock*. XV International Conference "Computer Systems Aided Science, Industry and Transport", 2034-2041.
- Kulyabko, V. V., & Yaroshenko, D. S. (2013). *Interaction of frame type constructions with Tuned Mass Dampers and the damping devices having nonlinear elastic and dissipative characteristics*. Proceedings of the 4th International Conference "Nonlinear Dynamics – 2013", 99-104.
- Кулябко, В. В. (2011а). Виды динамических нагрузок и причин, вызывающих аварии зданий и сооружений. *Безопасность эксплуатируемых зданий и сооружений* (с. 52-58). Москва: РААСН, МГСУ.
- Кулябко, В. В. (2011б). Расчетно-конструкторские методы повышения безопасности и снижения амплитуд нелинейных колебаний сооружений с демпфирующими устройствами. *Безопасность эксплуатируемых зданий и сооружений* (с. 111-115). Москва: РААСН, МГСУ.
- Кулябко, В. В. (2011с). Уточнение статико-динамических моделей сооружений с учетом четырех групп нелинейностей при описании упругих и диссипативных свойств. *Безопасность эксплуатируемых зданий и сооружений* (с. 173-180). Москва: РААСН, МГСУ.
- Кулябко, В. В. (2012). Трактат о развитии научно-лабораторной базы и разработке спецкурсов по динамике конструкций и сооружений. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 3, 80-88.
- Кулябко, В. В. (2014). *Динамика сооружений – прошлое, настоящее и будущее (часть 1)*. LAP: LAMBERT Academic Publishing.
- Кулябко, В. В. (2017). Новые способы решения сложных задач динамики сооружений созданы, но кто возьмётся за их внедрение и менеджмент? *Строительство, материаловедение, машиностроение (Серия «Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения»)*, 100, 97-102.
- Кулябко, В. В. (2018а). Как «звести в резонанс» всемирно известные научные школы Днепра для подъёма инженерного престижа города. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 13, 46-53.
- Кулябко, В. В. (2018б). *О политехнических задачах учебных подразделений, исследующих динамику конструкций, машин, сооружений и движение грунтовых массивов*. Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта-2018, 382-390.
- Кулябко, В. В. (2020). *Использование динамических характеристик при формообразовании, конструировании и диагностике сложных сооружений, массивов и сред*. Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта-2020, 236-245.
- Кулябко, В. В., & Банах, В. А. (2012). Виброэкологические аспекты моделирования взаимодействия зданий и сооружений с основаниями при динамических воздействиях. *Theoretical Foundations of Civil Engineering*, 20, 209-216.
- Кулябко, В. В., Банах, В. А., & Ярошенко, Д. С. (2013). *О проблемах анализа динамики основных и вспомогательных подсистем сооружений*. Тезисы докладов научной сессии «Прошлое и современное состояние исследований, проектирования и строительства тонкостенных пространственных конструкций (к 85-летию НИИЖБ им. А. А. Гвоздева)» Москва: НИЦ «Строительство», МОО ПК, РААСН, НИИЖБ, ЦНИИСК, ООО «Техсофт», 13-14.
- Кулябко, В., & Наумов, В. (2017). Особенности нелинейной динамики сооружений и тенденции ее развития в XXI веке. *Theoretical Foundations in Civil Engineering*, 24, 27-34.
- Кулябко, В. В., & Ярошенко, Д. С. (2012а). Особенности собственных колебаний регулярных рамных строительных конструкций на примере одноэтажных многопролетных рам. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 2, 22-30.
- Кулябко, В. В., & Ярошенко, Д. С. (2012б). Нелинейные колебания во временной области модели взаимодействия сооружения с демпфирующими устройствами. *Будівельні конструкції*, 76, 294-299.
- Кулябко, В. В., & Ярошенко, Д. С. (2012с). Нелинейное динамическое взаимодействие демпфирующих устройств с конструкциями вагонов, пути, зданий и сооружений. *Вибрація машин: измерение, снижение, защита*, 3(30), 24-30.
- Кулябко, В. В., & Ярошенко, Д. С. (2013). Колебания плоской одноэтажной многопролетной рамы с неразрезным ригелем и динамическими гасителями колебаний. *Theoretical Foundations in Civil Engineering*, 21, 251-258.

В. В. КУЛЯБКО\*

\* Кафедра металевих, дерев'яних і пластмасових конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва і архітектури, вул. Чернишевського, 24а. м. Дніпро, Україна, 49600, тел. +38 (056) 745-23-72

## ПРО МОДЕЛІ ВЗАЄМОДІЇ ВИСОКОШВИДКІСНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ З НЕСУЧИМИ КОНСТРУКЦІЯМИ І НАВКОЛИШНІМИ СЕРЕДОВИЩАМИ (ОГЛЯД)

**Мета.** В роботі розглядаються історія і проблеми розвитку статико-динамічної взаємодії транспортних засобів, споруд і об'єктів інфраструктури. У вступі описані деякі публікації з теми, що бурхливо розвивається, а метою статті поставлена задача про уточнення розрахункових схем і моделей. **Методика.** В методиці досліджень даються нові елементи динамічних навантажень – зовнішніх і тих, що виникають від взаємодії конструкцій з екіпажами. **Результати.** Продемонстровані приклади взаємодії транспортних і несучих будівельних об'єктів, а також даються рекомендовані склади основних підсистем задач. **Наукова новизна** полягає в спільному розгляді статички і динаміки нелінійних систем, для яких неможливо застосувати принцип суперпозиції, який широко використовується в методі скінчених елементів (МСЕ) для незалежних окремих розрахунків на статику і динаміку. Зручний і звичний для інженерів досвід роботи з комп'ютерним моделюванням на базі лінійної динаміки в МСЕ, тобто сервіс лінійних розрахунків статички, може умовно застосовуватися тільки для початкового налагодження лінійної частини нелінійних програм. Саме остання обставина і розширює межі і значимість більш обґрунтованих практичних розрахунків. **Практична значимість.** Запропоновано шляхи розвитку теоретичних і експериментальних методів розрахунку, конструювання, випробувань і діагностики технічного стану різних об'єктів будівництва, транспорту і машинобудування. Найважливішим практичним вирішенням цієї проблеми є створення шкіл-інкубаторів для підготовки фахівців і відкриття інженерних курсів з питань динаміки конструкцій, спрямованих на оновлення знань і ліцензування кадрів.

*Ключові слова:* динаміка конструкцій і середовищ; статико-динамічна взаємодія; високошвидкісний рух; рухома навантаження; спорудження; нелінійні системи

V. V. KULJABKO\*

\* Department «Metal, wooden and plastic structures» of Pridneprovsk state academy of civil engineering and architecture, Chernyshevsky st., 24a, Dnepr, Ukraine, 49600, tel. +38 (056) 745-23-72

## ABOUT MODELS OF INTERACTION OF HIGH-SPEED VEHICLE WITH BEARING STRUCTURES AND ENVIRONMENTS (REVIEW)

**Purpose.** The paper deals with the history and problems of the development of static-dynamic interaction of vehicles, structures and infrastructure facilities. The introduction describes some publications on a rapidly developing topic, and the goal of the article is to clarify the design schemes and models. **Methodology.** In the research methodology, new elements of the dynamic loads external and arising from the interaction of structures with the crews are given. **Results.** Examples of interaction between transport and load-bearing construction objects are demonstrated, and recommended compositions of the main subsystems of tasks are given. The **originality** consists in the joint consideration of the statics and dynamics of nonlinear systems, for which the superposition principle, widely used in the finite element method (FEM) for independent separate calculations for statics and dynamics, is inapplicable. Convenient and familiar experience for engineers with computer simulation based on linear dynamics in FEM, i.e. service of linear calculations of statics, can be conventionally used only for initial debugging of the linear part of nonlinear programs. It is the latter circumstance that expands the boundaries and significance of more substantiated practical calculations. **Practical value.** The ways of development of theoretical and experimental methods of calculation, design, testing and diagnostics of the technical condition of various objects of construction, transport and mechanical engineering are proposed. The most important practical solution is the creation of incubator schools for training specialists and the opening of engineering courses on structural dynamics aimed at updating knowledge and licensing personnel.

*Keywords:* dynamics of structures and environments; static-dynamic interaction; high speed movement; moving load; construction; nonlinear systems

## REFERENCES

- Eremin, K., Raizer, V., Telichenko, V., Kulyabko, V. V., & other (2016). *Safety assessment of existing buildings and structures*. Stockholm, Sweden: FSV Construction. (in English)
- Kulyabko, V., & Babenko, M. (2018). Synergy of vibroecologists, programmers, inventors and testers of buildings and structures under the evaluation of the impact of the dynamics of structures. *Sustainable housing and human settlement* (p. 108-115). Dnipro – Bratislava: SHEE “PSACEA” – Slovak University of Technology in Bratislava. (in English)
- Kulyabko, V., Macarow, A., Nechitailo, O., & Yaroshenko, D. (2015). Structure dynamics: calculations, designing, diagnostic tests and nonlinear damping. *Harvard Journal of Fundamental and Applied Studies*, 1(7), 520-530. (in English)
- Kulyabko, V., Raspopov, O., & Artomov, V. (2011). *Actual problems of interaction of objects of the infrastructure and rolling stock*. XV International Conference “Computer Systems Aided Science, Industry and Transport”, 2034-2041. (in English)
- Kulyabko, V. V., & Yaroshenko, D. S. (2013). *Interaction of frame type constructions with Tuned Mass Dampers and the damping devices having nonlinear elastic and dissipative characteristics*. Proceedings of the 4th International Conference “Nonlinear Dynamics – 2013”, 99-104. (in English)
- Kulyabko, V. V. (2011a). Vidy dinamicheskikh nagruzok i prichin, vyzyvayushchikh avarii zdaniy i sooruzheniy. *Bezopasnost ekspluatiruemykh zdaniy i sooruzheniy* (s. 52-58). Moskva: RAASN, MGSU. (in Russian)
- Kulyabko, V. V. (2011b). Raschetno-konstruktorskie metody povysheniya bezopasnosti i snizheniya amplitud nelineynykh kolebaniy sooruzheniy s dempfiruyushchimi ustroystvami. *Bezopasnost ekspluatiruemykh zdaniy i sooruzheniy* (s. 111-115). Moskva: RAASN, MGSU. (in Russian)
- Kulyabko, V. V. (2011c). Utochnenie statiko-dinamicheskikh modeley sooruzheniy s uchetoм chetyrekh grupp nelineynostey pri opisaniі uprugikh i dissipativnykh svoystv. *Bezopasnost ekspluatiruemykh zdaniy i sooruzheniy* (s. 173-180). Moskva: RAASN, MGSU. (in Russian)
- Kulyabko, V. V. (2012). Traktat o razvitii nauchno-laboratornoy bazy i razrabotke spetskursov po dinamike konstruksiy i sooruzheniy. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 3, 80-88. (in Russian)
- Kulyabko, V. V. (2014). *Dinamika sooruzheniy – proshloe, nastoyashchee i budushchee (chast 1)*. LAP: LAMBERT Academic Publishing. (in Russian)
- Kulyabko, V. V. (2017). Novye sposoby resheniya slozhnykh zadach dinamiki sooruzheniy sozdany, no kto vozmet'sya za ikh vnedrenie i menedzhment? *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie (Seriya «Innovatsionnye tekhnologii zhiznennogo tsikla obektov zhilishchno-grazhdanskogo, promyshlennogo i transportnogo naznacheniya»)*, 100, 97-102. (in Russian)
- Kulyabko, V. V. (2018a). Kak «vvesti v rezonans» vseмирno izvestnye nauchnye shkoly Dnepra dlya podema inzhenernogo prestizha goroda. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 13, 46-53. (in Russian)
- Kulyabko, V. V. (2018b). *O politekhnicheskikh zadachakh uchebnykh podrazdeleniy, issleduyushchikh dinamiku konstruksiy, mashin, sooruzheniy i dvizhenie gruntovykh massivov*. Sovremennye innovatsionnye tekhnologii podgotovki inzhenernykh kadrov dlya gornoy promyshlennosti i transporta-2018, 382-390. (in Russian)
- Kulyabko, V. V. (2020). *Ispolzovanie dinamicheskikh kharakteristik pri formoobrazovanii, konstruirovaniі i diagnostike slozhnykh sooruzheniy, massivov i sred*. Sovremennye innovatsionnye tekhnologii podgotovki inzhenernykh kadrov dlya gornoy promyshlennosti i transporta-2020, 236-245. (in Russian)
- Kulyabko, V. V., & Banakh, V. A. (2012). Vibroekologicheskie aspekty modelirovaniya vzaimodeystviya zdaniy i sooruzheniy s osnovaniyami pri dinamicheskikh vozdeystviyakh. *Theoretical Foundations of Civil Engineering*, 20, 209-216. (in Russian)
- Kulyabko, V. V., Banakh, V. A., & Yaroshenko, D. S. (2013). *O problemakh analiza dinamiki osnovnykh i vspomogatelnykh podsystem sooruzheniy*. Tezisy dokladov nauchnoy sessii «Proshloe i sovremennoe sostoyanie issledovaniy, proektirovaniya i stroitelstva tonkostennykh prostranstvennykh konstruksiy (k 85-letiyu NIIZhB im. A. A. Gvozdeva)» Moskva: NITs «Stroitelstvo», MOO PK, RAASN, NIIZhB, TsNIISK, OOO «Tekhsoft», 13-14. (in Russian)
- Kulyabko, V., & Naumov, V. (2017). Osobennosti nelineynoy dinamiki sooruzheniy i tendentsii ee razvitiya v XXI veke. *Theoretical Foundations in Civil Engineering*, 24, 27-34. (in Russian)

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Kulyabko, V. V., & Yaroshenko, D. S. (2012a). Osobennosti sobstvennykh kolebaniy regulyarnykh ramnykh stroitelnykh konstruksiy na primere odnoetazhnykh mnogoproletnykh ram. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 2, 22-30. (in Russian)

Kulyabko, V. V., & Yaroshenko, D. S. (2012b). Nelineynye kolebaniya vo vremennoy oblasti modeli vzaimodeystviya sooruzheniya s dempfiroyushchimi ustroystvami. *Budivelni konstruksii*, 76, 294-299. (in Russian)

Kulyabko, V. V., & Yaroshenko, D. S. (2012c). Nelineynoe dinamicheskoe vzaimodeystvie dempfiroyushchikh ustroystv s konstruksiyami vagonov, puti, zdaniy i sooruzheniy. *Vibratsiya mashin: izmerenie, snizhenie, zashchita*, 3(30), 24-30. (in Russian)

Kulyabko, V. V., & Yaroshenko, D. S. (2013). Kolebaniya ploskoy odnoetazhnoy mnogoproletnoy ramy s nerazreznym rigelem i dinamicheskimi gasitelyami kolebaniy. *Theoretical Foundations in Civil Engineering*, 21, 251-258. (in Russian)

Надійшла до редколегії 18.09.2020.

Прийнята до друку 22.10.2020.