

УДК 624.042

НОВЫЕ СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ СЛОЖНЫХ ЗАДАЧ ДИНАМИКИ СООРУЖЕНИЙ СОЗДАНЫ, НО КТО ВОЗЬМЁТСЯ ЗА ИХ ВНЕДРЕНИЕ И МЕНЕДЖМЕНТ?

КУЛЯБКО В.В.¹ *д.т.н., проф.*,

¹ кафедра металлических, деревянных и пластмассовых конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. 47-16-56, e-mail: vvkulyabko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0044-4704

Аннотация. *Цель.* Представление взаимосвязей новых разработанных know-how технологий развития сложных задач нелинейной динамики сооружений для инженерно-строительного использования. *Методика.* В качестве методик решения расчётных задач нелинейной динамики конструкций применялись новые структурные элементы (по типу известного метода прямых), которые вместе с методикой составления обыкновенных дифференциальных уравнений движения с дополнительными алгебраическими уравнениями были доработаны до особой методики строительно-нелинейного назначения, названной методикой элементов, подсистем и комплектов свойств, МЭПИКС. Эти методики вместе с целенаправленными испытаниями объединены в единый диагностический комплекс. *Результаты.* Приведен перечень современных динамических нагрузок на сооружения, созданы направления совершенствования всего комплекса исследований: нелинейные расчёты во временной области, динамические испытания, уточнение переменных параметров объекта и создание упрощённых инженерных моделей. *Научная новизна.* Указан путь перехода от ошибочного применения линейных схем и методов к корректным способам учёта в задачах динамики всех четырёх групп нелинейностей. Показана связь диагностических испытаний с паспортизацией, мониторингом и оперативным поиском повреждений. *Практическая значимость.* Результаты исследований сгруппированы по трём направлениям – для проектировщиков, испытателей и эксплуатационников комфортных и безаварийных объектов. Особо предлагается обратить внимание инвесторов и их менеджеров на описанные инновационные направления работ в строительной отрасли.

Ключевые слова: сооружения; динамические нагрузки, расчёты и испытания; диагностика; паспортизация; мониторинг; поиск повреждений

НОВІ СПОСОБИ ВИРІШЕННЯ СКЛАДНИХ ЗАДАЧ ДИНАМІКИ СПОРУД СТВОРЕНІ, АЛЕ ХТО ВІЗМЕТЬСЯ ЗА ЇХ ВПРОВАДЖЕННЯ І МЕНЕДЖМЕНТ?

КУЛЯБКО В.В.¹ *д.т.н., проф.*,

¹ кафедра металевих, дерев'яних та пластмасових конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-16-56, e-mail: vvkulyabko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0044-4704

Анотація. *Мета.* Наведення взаємозв'язків нових розроблених know-how технологій розвитку складних задач нелінійної динаміки споруд для інженерно-будівельного використання. *Методика.* В якості методик вирішення розрахункових задач нелінійної динаміки конструкцій застосовувались нові структурні елементи (по типу відомого метода прямих), що разом з методикою складання звичайних диференціальних рівнянь руху з додатковими алгебраїчними рівняннями були доопрацьовані до особливої методики будівельно-нелінійного призначення, названої методикою елементів, підсистем і комплексів властивостей, МЭПІКВ. Ці методики разом із цілеспрямованими випробуваннями об'єднані в єдиний діагностичний комплекс. *Результати.* Наведено перелік сучасних динамічних навантажень на споруди, створені напрямки покращення усього комплексу досліджень: нелінійні розрахунки в часовій області, динамічні випробування, уточнення змінних параметрів об'єкта і створення спрощених інженерних моделей. *Наукова новизна.* Вказано шлях переходу від помилкового застосування лінійних схем і методів до коректних способів врахування в задачах динаміки усіх чотирьох груп нелінійностей. Показано зв'язок діагностичних випробувань з паспортизацією, моніторингом і оперативним пошуком пошкоджень. *Практична значимість.* Результати досліджень згруповані за трьома напрямками – для проектувальників, випробувачів і експлуатационників комфортних і безаварійних об'єктів. Особливо пропонується звернути увагу інвесторів і їх менеджерів на описані інноваційні напрямки робіт в будівельній галузі.

Ключові слова: споруди; динамічні навантаження, розрахунки і випробування; діагностика; паспортизація; моніторинг; пошук пошкоджень

NEW METHODS FOR SOLVING TROUBLE TASKS DYNAMICS OF STRUCTURES ARE CREATED, BUT WHO WILL BE RECEIVED FOR THEIR IMPLEMENTATION AND MANAGEMENT?

KULYABKO V. V.¹ *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,

^{1*} Department of Metallic, Wooden and Plastic Structures, State Higher Education Establishment "Prydneprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-16-56, e-mail: vvkulyabko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0044-4704

Annotation. Purpose. Representation of the interconnections of new developed know-how development technologies for solving complex problems of nonlinear dynamics of structures for engineering and construction. **Methodology.** As methods of solving design problems of nonlinear dynamics of structures, new structural elements (like the known method of lines) were used which, together with the method of compiling ordinary differential equation system of motion with additional algebraic equations, were modified to a special technique of construction-nonlinear designation, called the technique of elements, subsystems and sets of properties, TESASP. These methods together with purposeful tests are combined into a single diagnostic complex. **Findings.** The list of modern dynamic loads on structures is given, directions of perfection of all complex of researches are created: nonlinear calculations in time domain, dynamic tests, specification of variable parameters of object and creation of simplified engineering models. **Originality.** The path of the transition from the erroneous application of linear schemes and methods to the correct methods of accounting for the dynamics of all four groups of nonlinearities is indicated. The connection of diagnostic tests with conditioning, monitoring and operative trouble-hunting is shown. **Practical value.** The results of the research are grouped in three directions - for designers, testers and operators of comfortable and accident-free structures. It is suggested that investors and their managers should pay special attention to the described innovative directions of work in the building industry.

Keywords: structure; dynamic loads, calculations and tests; diagnostics; conditioning; monitoring; trouble-hunting

Введение

Известно множество сложных задач, возникающих перед проектировщиками (расчетчиком, конструктором), испытателями и эксплуатационниками строительных конструкций, которые воспринимают статические и существенные динамические нагрузки и воздействия [1-9].

На конструкции зданий и сооружений новых больших высот и пролётов действуют **силовые** и **кинематические** нагрузки, намного большие, чем на объекты традиционных размеров. К силовым отнесём, например, ветровые воздействия: пульсация и одиночные порывы ветра, шторм, ураган, торнадо. Амплитуды аэроупругих автоколебаний конструкции в ветровом потоке (ветровой резонанс, галомирование, бафтинг) могут существенно превысить допустимый уровень и эксплуатация сооружения станет невозможной [1]. Такое явление случилось в 1940 году с висячим мостом (Такомская авария, США), в 2010 - с балочным Волгоградским автодорожным мостом в РФ, который СМИ назвали «танцующим», его проблема «висела» 1,5 года.

Силовой характер возмущений передаётся на сооружение при работе на его конструкциях мощного оборудования с динамическими нагрузками: компрессоры, центрифуги, электромоторы, и др.

Кинематические воздействия возникают при землетрясениях (кстати, их последствия, цунами, дают уже силовую динамическую нагрузку на прибрежные объекты), при работе машин и

транспорта вне сооружения, при подвижках земной коры в сложных инженерно-геологических условиях.

Наконец, совершенно особым явлением, а не «нагрузкой», следует считать многочисленные процессы **взаимодействия** сооружений с движущимися по ним *подвижными* нагрузками (транспортные средства, пешеходы, толпа танцующих или болельщиков, капсулы и поезда в вакууме - по изобретениям Илона Маска). Следует говорить и о взаимодействии конструкций с *основаниями*, с различными потоками, средами, условиями и прочим. Сегодня ученые ищут даже астрофизические и космические причины провалов и внезапных грунтовых дыр, хотя начинать надо, очевидно, с контроля качества ... образования, строительства, диагностики сооружений и оснований. И, конечно, - с корректных статико-динамических моделей взаимодействия сооружения с основанием, потоками (ветра, воды, пешеходов, транспорта). Но при учёте сейсмике: природной и антропогенной (промышленной, транспортной; в докладе даются примеры из опыта работ автора).

Имеет ли Украина перспективы строительства сооружений, подобных показанному на рис. 1?

СМИ пишут, что катастрофическое положение с украинской наукой отражается в рейтинге инновационных показателей, согласно которым в 2016 году страна находилась на **52** месте в **мире** из 56. В рейтинге инновационных показателей стран Центральной и Восточной **Европы** у Украины - **последнее** место.



Рис. 1. Строительство первого в мире вращающегося небоскрёба в Дубае (Фото: Youtube) / Construction of the world's first rotating skyscraper in Dubai

Цель

Целью данной статьи является представление взаимосвязей новых разработанных коллективом «Резонанс» know-how технологий развития сложных задач динамики сооружений в популярно-инженерном виде. Такое представление поможет, во-первых, специалистам проектно-теоретического плана более корректно решать и исследовать сложные процессы этой специфической области знаний. Во-вторых, - даст специалистам-практикам узкопрофессиональной области строительной направленности учесть, доработать и применить новые возможности предлагаемых методик для обследования, испытаний и диагностики объектов, в том числе, - в рамках BIM-технологий. И, в-третьих, авторы данных разработок надеются заинтересовать своими достижениями (при содействии продвинутых менеджеров и маркетологов международных рынков) опытных профессиональных разработчиков программного обеспечения и строительных технологий. Заметим, что предполагаемые технологические прорывы дадут новые рабочие места работникам высокой квалификации (в том числе IT-специалистам со строительным уклоном).

Методики исследований

Применение линейных моделей зданий и сооружений «со скрипом» допустимо только к некоторым задачам статики. В задачах динамики надо иметь массу данных о переменных во времени, по длине и материалам, по условиям эксплуатации (например, погрузка или выгрузка сыпучего, движение с разрывами связей и новыми узлами их восстановления и т.п.) диссипативных, инерционных и упругих свойствах каждой взаимодействующей подсистемы. Причём, например, для упруго-нелинейных систем нельзя применять принцип суперпозиции, что означает, что нельзя отдельно найти НДС в статике, потом – в динамике и результаты сложить. Они должны быть в работе одновременно, как и в жизни объектов.

Поэтому в качестве методик решения, например, **расчётных** задач нелинейной динамики конструкций нами применялись обычные методы составления нелинейных дифференциальных уравнений движения для плоских и пространственных стержневых и иных систем. Широкие возможности известного в математике и механике метода прямых мы постепенно, начиная с 70-х годов прошлого века, доработали до особой методики строительно-нелинейного назначения, названную нами **МЭПИКС** – Метод Элементов, Подсистем И Комплектов Свойств. Техника исполнения метода и варианты индивидуального применения к некоторым нелинейным задачам динамики зданий, сооружений (эстакад, мостов, кранов, опор и линий электропередачи) с численной реализацией решений при помощи общинженерных сред типа MathCAD, MathLab, Maple подробно описаны в работах [3, 5-8]. Заметим, что тестовая проверка, например, методом конечных элементов (МКЭ) на отечественных строительных программных комплексах (ПК) ЛИРА, SCAD всех современных версий, может быть проведена только для линейной части рассматриваемых групп нелинейных задач динамики.

Методики проведения **экспериментальных** исследований и целенаправленных натуральных динамических испытаний проводились, как правило, в комплексе. Вначале проводился компьютерный расчет с выбором схем установки датчиков и рабочего диапазона аппаратуры по частотам и амплитудам колебаний. Затем, если была возможность, создавался для лабораторных исследований макет объекта (так шли работы по созданию монументального «Памятного Знака Космонавтике» в г. Днепр). Либо исследовалась масштабная модель сооружения и проводились лабораторные испытания на силовые или кинематические (на сейсмоплатформе) возмущения при помощи электро-динамических вибростендов.

Справедливости ради следует напомнить, что глубокие комплексные научные подходы были присущи днепропетровской школе механиков академика Лазаряна В. А. Идеи Всеволода Арутюновича были пущены его школой в разработку на полвека раньше работ И. Маска: вакуумные поезда, линейный электродвигатель, низкие температуры, магнитная и электро-динамическая подвески, сложные расчеты динамики поезда и пути. Автору посчастливилось принять конкретное участие в теоретически обоснованных уникально смелых экспериментах со спецвагоном-лабораторией СВЛ на реактивной тяге (250 км/ч на Приднепровской ж.д. в 1972-73 годах!), в расчетах, создании и испытаниях серий новых длиннобазных вагонов, в моделировании летательных аппаратов в цехах КБЮ.

Результаты

Что же разработано из новых способов решения огромного объёма сложных задач динамики (прежде всего – сооружений) и что конкретно можно

использовать менеджерам для развития возможностей современных специалистов:

- инженера-проектировщика,
- инженера-испытателя,
- инженера-эксплуатационника комфортного и безаварийного здания и сооружения?

Попытаемся сгруппировать инновационные достижения разработанных *методов динамического: формообразования (МДФ), конструирования (МДК) и диагностики (МДД)* с проблемами необходимых возможных доработок, практической шлифовки. Как бы ответим на вопрос, что нужно, чтобы корректно проектировать объекты XXI века?

(№ 1). Необходимо научиться (и научить!) профессионально измерять и исследовать описанные выше динамические нагрузки с учётом специфики страны и устойчивости развития общества (имеется в виду растущий вандализм и теракты). Для этого нужно **развивать лабораторную базу**, вернуться к курсам по **обследованию и испытаниям** сооружений. Весьма актуально и создание Лаборатории Динамики Конструкций, возможно, - на уровне технопарков регионов. Иными словами, из-за постоянных изменений климата, природы и неуёмного желания людей строить «выше, дальше, легче и дешевле» следует также постоянно изучать (и измерять, нормировать) всевозможные новые динамические нагрузки и воздействия, характеристики и свойства объектов.

(№ 2). Следует непрерывно (чтобы не отстать от темпов стройтехнологий) уточнять расчеты, предлагать и проверять новые методы. Создавать новые версии методов типа МЭПИКС, обобщать их развитие и программирование от индивидуальных задач к универсальным, с автоматизацией выбора модели, составления дифференциальных уравнений.

Только эти две группы работ № 1 и 2 позволят, в свою очередь, конструктору-строителю создавать (наконец-то!) такие конструкции и сопряжения, о которых он мечтал: полужесткие узлы, демпферы и каркасы с нелинейными микро-подвижками.

(№ 3). При наличии результатов работ 1 и 2 можно создавать эффективные новые конструкции сооружений, узлы, принципы демпфирования безопасных и комфортных зданий. Если при взаимодействии сооружения с потоками и другими динамическими нагрузками не обеспечена, например, демпфирующими устройствами, стабилизация конструкций, то «будущего у строительного объекта нет!» И тут особо нужны расширенные возможности ПК, которые не замыкались бы в тупиковом для динамики расчетном методе конечных элементов (МКЭ). А позволяли ли бы (вместо построения полей перемещения каждого кирпичика стены в ошибочно линейной постановке) составить пусть упрощённую по пространству, но намного более корректную по свойствам **нелинейную** модель всего или фрагмента объекта. **Нелинейности** в динамике строительного объекта (этот кошмар разработчиков и не только

отечественных ПК) сегодня группируются в таких четырёх группах: геометрические, физические, конструкционные, генетические.

Например, приведенные в работах [10, 11] конструкции сопряжения перекрытия с колонной относительно легко может быть доработана до semi-rigid узла с контрольной подвижностью элементов сухого трения.

Рассмотренные методы даже архитектору и архитектору-конструктору позволят простым путём оценить свои замыслы, например, по параметрам предполагаемого здания и сравнить свой замысел по динамическим характеристикам (частотам и формам собственных колебаний) - с лучшими зданиями мира по международным стандартам ISO!

Наконец, уточнение свойств компьютерной модели и объекта в натурных условиях эксплуатации даёт возможность перейти к идентификации параметров, к уточнению модели и нелинейных свойств.

(№ 4). Натурные и лабораторные динамические испытания необходимы для развития отрасли. Они должны быть хорошо теоретически подготовлены и проведены оперативно на уровне неразрушающих методов контроля. По их результатам организуются начала **диагностики**: периодическая **паспортизация** и **мониторинг** технического состояния конструкций ответственного сооружения.

(№ 5). Наиболее эффективны и ответственны целенаправленные динамические испытания с предаварийным выявлением наиболее важных поврежденных основных несущих элементов. А комплексное развитие всех указанных выше инноваций на сегодня завершается ускоренным проведением текущих динамических испытаний и контрольными перерасчётами по упрощённым моделям с уточненными в опытах параметрами.

Итак, в чем же должна быть специфика **научного менеджмента**, который мы ожидаем с большой надеждой!? Не ясно, кто этим занимается в вузах? Зачем тогда подобные специализации, если студенты не осваивают специальные знания профильные для данного вуза. Или им не дают эти знания? Или они не хотят, или не могут усвоить? *Два примера: плохой* – группы компьютерных наук, экономисты и т.п. «нестроители» - в ПГАСА; *хороший* – айтишники ДИИТа со времён установок бывшего его ректора, академика В. А. Лазаряна, основателя факультета вычислительной техники, становились (и считались всегда на производстве!) отличными специалистами, учёными, инженерами-практиками.

Была сделана попытка подключить студентов-менеджеров ПГАСА к поиску заказчиков-инвесторов, способов внедрения результатов научных исследований учёных молодёжно-студенческого коллектива «Резонанс». Не получилось контакта, слишком разными были ключевые слова сторон и, как обычно, туманной была мотивация. А, казалось бы, студенты одного вуза, хоть и разных специализаций (например,

айтишники, менеджеры, строители) должны легко составлять совместные бизнес-планы, программные продукты и работать по договорам и серьёзным программам. Если они понимают суть фундаментальных курсов своих направлений, то участие в общих занятиях и мозговых штурмах по выработке идей, натуральных и лабораторных экспериментах (см. выше пять разделов описанных перспективных работ) должно их обогащать и быстро приводить к синергетическим эффектам, совершенствованию решений и внедрению интересных современных строительных задач. Наконец, это приводит и к карьерному росту, к рабочим местам для молодёжи.

Научная новизна и практическая значимость

Какие же новые направления и новые идеи для решения сложных задач динамики конструкций сегодня разрабатываются в «Резонансе»? В этом году исполняется 40 лет с момента создания этого кружка, перспективнейшей формы «обучения через общение» любознательных: и студентов, и преподавателей, и учёных. Выпущены сотни статей и десятки книг (в Германии, Швеции, США, Польше, Италии, РФ и др.). Затронуты и частично реализованы весьма важные и актуальные комплексные вопросы современного проектирования, испытаний, реконструкции и эксплуатации разнообразных инженерных конструкций и объектов строительного и машиностроительного профиля.

Возможности разработанных способов решения некоторых нелинейных задач динамики конструкций не имеют мировых аналогов и практически важны, что было подтверждено на совместном (Резонанса и фирмы Маурер) украинско-немецком Семинаре по динамике сооружений в Днепре 15 мая 2015 г.

Выводы и возможности научных продолжений

1. В работе предложены пути уточнения методик расчетов конструкций на динамические нагрузки. Рассматриваются варианты учёта четырёх групп существенных нелинейных свойств при расчетах на собственные и произвольные вынужденные колебания, при учёте взаимодействия различных подсистем сооружений, оснований, инфраструктуры, потоков, сред и иных носителей подвижных нагрузок. Не исключается и совместное применение МКЭ и МЭПКС в отдельных взаимно дополняющих модулях объединённых ПК.

2. Даны предложения по развитию лабораторных и натуральных динамических испытаний с использованием результатов для построения уточнённых моделей (с графиками натуральных зависимостей переменных параметров систем от уровня деформаций, амплитуды и частоты во времени «медленном и быстром»), от разнообразных условий эксплуатации всех жизненных циклов: температур, переделов, нагрузок). Это позволит проводить ускоренную диагностику с прогнозом аварийности, сроков службы сооружений, машин, всего транспортно-строительного комплекса.

3. Развитие динамической диагностики (паспортизация и мониторинг) позволит в рамках BIM-технологий повысить безопасность, экономичность и безаварийность эксплуатации всех конструкторских объектов.

4. Авторы методик надеются на доброжелательное взаимовыгодное сотрудничество со специалистами международных рынков строительных инноваций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Казакевич М. И. Ветровая безопасность конструкций. Теория и практика: Моногр. – М.: типография «Август Борг», 2016. – 288 с.
2. Казакевич М. И., Кулябко В. В. Введение в виброэкологию зданий и сооружений. – ПГАСА, Днепропетровск. – 1996. – 200 с.
3. Кулябко В. В. Динамика конструкций, зданий и сооружений. Часть 1. Статико-динамические модели для анализа свободных колебаний и взаимодействия сооружений с основаниями и подвижными нагрузками. – Запорожье, ЗГИА, 2005. – 232 с.
4. Редченко В. П. Динамічні випробування мостів, ч.1: загальні положення, спектральний аналіз, динамічні характеристики, 2016. – 216 с.; ч.2: вільні коливання, модальний контроль, 2017. – 216 с.: моногр. – Дніпро, «Пороги».
5. Банах В. А. Статико-динамические расчётные модели зданий и сооружений в сложных инженерно-геологических условиях: моногр. – Запорожье, ЗГИА. – 2012. – 322 с.
6. Давыдов И. И. Моделирование нелинейных колебаний составных сооружений каркасного типа: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» – Днепропетровск, 2000. – 21 с.
7. Чабан В. П. Нелинейные колебания и стабилизация сооружений с металлическими гибкими нитями: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» – Днепропетровск, 2004. – 21 с.
8. Ярошенко Д.С. Розробка схем та способів розрахунку нелінійної динамічної взаємодії споруд рамного типу з демпфіруючими

- пристроями: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» – Дніпропетровськ, 2014. – 22 с.
9. Макаров А.В. Динамічні розрахунки, випробування та діагностика сталевих конструкцій великопрогонових мостових перевантажувачів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» – Дніпропетровськ, 2015. – 23 с.
 10. Кущенко В.М., Галушчак Ю.Г. Аналіз сучасного досвіду проектування будівель з застосуванням трубобетонних елементів // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” – 2016. – № 844: Теорія і практика будівництва. – С. 120–126.
 11. Кущенко В.М., Галушчак Ю.Г. Патент UA № 111545, E04B 5/43, 1/04 “Вузол з’єднання трубобетонної колони з молонітним залізобетонним перекриттям”. прийн. 27/05/2016; публ. 10.11.2016, Бюл. № 21.

REFERENCES

1. Kazakevich M.I. *Vetrovaya bezopasnost konstrukcij. Teoriya i praktika* [Wind safety of the structures. Theory and practice]. Moscow, 2015, 288 p.
2. Kazakevich M.I., Kulyabko V.V. *Vvedeniye v vibroekologiyu zdaniy i sooryzheniy* [Introduction to vibroecology of buildings and erections], PSACEA, Dnepropetrovsk, 1996, 200 p.
3. Kulyabko V.V. *Dinamika konstrukcij, zdaniy i sooruzheniy. Chast 1. Statiko-dinamicheskiye modeli dlya analiza svobodnyh kolebaniy i vzaimodeystviya sooruzheniy s osnovaniyami i podvizhnymi nagruzkami* [Dynamics of structures, buildings and erections. Part 1. Static-dynamical models for analysis of free vibrations and interaction between erections and foundations and travelling loads], Zaporozhye, ZSEA Publ., 2005, 232 p.
4. Redchenko V.P. *Dinamichni vyprovuvannya mostiv. Chastyna 1: Zagalni polozhennya, spectralnyy analiz, dinamichni harakterystyky* [Dynamical tests of bridges. Part 1: Basis, spectral analysis, dynamical characteristics], 2016, 216 p., *Chastyna 2: Vilni kolyvannya, modalnyy control* [Part 2: Free vibrations, modal testing], 2017, 216 p., Dnipro, Porogy.
5. Banakh V.A. *Statiko-dinamicheskie raschetnye modeli zdaniy i sooruzheniy v slozhnykh inzhenerogeologicheskikh usloviyakh* [Static-dynamic research models of buildings and structures in difficult engineering-geological conditions]. Zaporozhye, ZSEA Publ., 2012. 322 p.
6. Davidov I.I. *Modelirovanie nelineynykh kolebaniy sostavnykh sooruzheniy karkasnogo tipa* [Simulation of non-linear oscillations of framed compound structures] Thesis for the Candidate's Degree Competition, Speciality 05.23.01 - constructions, buildings and structures. – Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture. Dnepropetrovsk, 2000. - 21 p.
7. Chaban V.P. *Nelineynie kolebaniya i stabilizatsiya sooruzheniy s metallicheskimy hibkimi nityami* [Non-linear oscillations and stabilization of structures with metallical nonrod threads] Thesis for the Candidate's Degree Competition, Speciality 05.23.01 - constructions, buildings and structures. –Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture. Dnepropetrovsk, 2004. - 22 p.
8. Yaroshenko D.S. *Rozrobka shem ta sposobiv rozrahunku nelinejnoi dinamichnoi vzaemodii sporud ramnogo tipu z dempfrujuchimi prisroyami* [Development of schemes and methods of calculating the nonlinear dynamic-interaction of a frame-type structures with damping devices]: State Higher Educational Institution "Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture " Ministry of Education and Science of Ukraine. Dnepropetrovsk, 2014. - 22 p.
9. Makarov A. V. *Dinamichni rozrahunki, viprovuvannya ta diagnostika stalevih konstrukcij velikoprogonovih mostovih perevantaguvachiv* [Dynamic analysis, testing and diagnostics of steel structures of large-span bridge loading cranes]: State Higher Educational Institution "Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture " Ministry of Education and Science of Ukraine. Dnepropetrovsk, 2015. - 23 p.
10. Kushchenko V., Halushchak Y. *Analiz suchasnoho dosvidu proektuvannya budivel z zastosuванням trubobetonnykh elementiv* [The analysis of modern experience in building designing with concrete filled tube elements application] // National university “Lviv polytechnic” Visnyk – 2016. – № 844: Theory and practice of building. – pp. 120–126.
11. Kushchenko V., Halushchak Y. Pat. 111545. UKRAINE, E04B 5/43, 1/04 *Vuzol z'yednannya trubobetonnoi kolony z monolitnym zalizobetonnym perekryttyam* [The connection of concrete filled tube with sitecast reinforced concrete ceiling] appl. 27/05/2016; publ. 10.11.2016, Bull. № 21.

Стаття поступила до редколегії 23.08.2017