

ТРОЩЕНКО

Валерій Трохимович – академік НАН України, почесний директор Інституту проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України

МАТВЄЄВ

Валентин Володимирович – академік НАН України, головний науковий співробітник Інституту проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України

САВЧЕНКО

Кирило Валентинович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України



Анатолій Павлович Зінковський
(10.08.1949–01.08.2022)

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛИВАНЬ РЕГУЛЯРНИХ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ З ПОРУШЕНОЮ ЦИКЛІЧНОЮ СИМЕТРІЄЮ ЯК ОДНА З ВІЗИТІВОК ІНСТИТУТУ ПРОБЛЕМ МІЦНОСТІ ІМ. Г.С. ПИСАРЕНКА НАН УКРАЇНИ

Пам'яті члена-кореспондента НАН України
А.П. Зінковського

Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України відомий у світі як один з провідних наукових центрів з вивчення широкого спектру сучасних проблем експериментальної механіки деформівного твердого тіла, міцності матеріалів та елементів конструкцій. Статтю присвячено пам'яті директора Інституту, одного з найвідоміших представників на пряму з дослідження коливань регулярних механічних систем з порушеною циклічною симетрією доктора технічних наук, професора, члена-кореспондента НАН України Анатолія Павловича Зінковського.

Вже понад пів століття Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України залишається єдиною спеціалізованою науковою установою в галузі експериментальної механіки деформівного твердого тіла і міцності матеріалів та елементів конструкцій і продовжує втілювати в життя традиції, закладені його засновником академіком Г.С. Писаренком. Сьогодні загальна концепція діяльності установи полягає в розвитку фундаментальних і прикладних досліджень за такими науковими напрямками, як граничний стан і критерії міцності матеріалів та конструкцій; розрахункові та експериментальні методи дослідження напружено-деформованого стану; механіка руйнування і живучість конструкцій; коливання неконсервативних механічних систем. Розвиток цих наукових напрямів зумовлений необхідністю вирішення актуальних науково-технічних проблем, пов'язаних з удосконаленням методів досліджень механічної поведінки конструкційних матеріалів, процесів їх пошкодження та руйнування, а також завдань, спрямованих на зміцнення обороноздатності і безпеки держави.

У межах наукових напрямів, закладених Г.С. Писаренком та його учнями, було отримано принципово нові важливі результати з розвитку теорії коливань з урахуванням гістерезису, з вивчення демпфувальних властивостей механічних систем і методів підвищення вібраційної надійності високонапружених елементів конструкцій в умовах інтенсивного резонансного збудження коливань, з різних аспектів міцності за високих і низьких температур, у тому числі при складному напруженому стані, в умовах опромінення, з конструкційної міцності роторів у полі відцентрових сил, механіки руйнування, міцності при імпульсних навантаженнях, впливу захисних покриттів на міцність і несучу здатність елементів конструкцій під дією на них високих температур і агресивних середовищ. Серед усього цього різноманіття наукових результатів варто відзначити дослідження коливань регулярних механічних систем з порушеною циклічною симетрією, які протягом тривалого часу є візитівкою Інституту проблем міцності. Одним з найвідоміших представників цього напрямку в Україні був директор Інституту член-кореспондент НАН України Анатолій Павлович Зіньковський, який, на жаль, пішов з життя 1 серпня 2022 р.

* * *

Анатолій Павлович Зіньковський народився 10 серпня 1949 р. в м. Дергачі Харківської обл. Його батько, Павло Іванович, був відомим у місті столяром і все життя працював на Дергачіському механічному заводі, а мати, Ольга Василівна, присвятила себе вихованню чотирьох синів. Саме настанова Ольги Василівни — «роби людям добро, не чекаючи подяки» — стане для Анатолія Павловича орієнтиром у житті.

Вже у шкільні роки в Анатолія Павловича проявилось тяжіння до точних наук, тому в 1966 р. після закінчення зі срібною медаллю Дергачівської середньої школи № 1 він вирішив подати документи для вступу на інженерно-фізичний факультет Харківського політехнічного інституту, де якраз відкрилася нова спеціальність «інженерна електрофізи-



А.П. Зіньковський зі своїм вчителем академіком НАН України В.В. Матвєєвим. 2001 р.

ка». Проте після співбесіди з одним із членів приймальної комісії, майбутнім академіком А.М. Підгорним, який тоді був заступником декана факультету, він переписав заяву на вступ на спеціальність «динаміка та міцність машин».

У 1972 р. після закінчення з відзнакою інституту А.П. Зіньковський залишився працювати на кафедрі, але наступного року у зв'язку з переїздом до Києва перейшов у відділ міцності матеріалів та елементів конструкцій при імпульсних та вібраційних навантаженнях Інституту проблем міцності АН УРСР на посаду старшого інженера. Відтоді вся подальша трудова та наукова діяльність Анатолія Павловича була нерозривно пов'язана з нашою установою.

У ті часи активно розвивалася наукова школа з дослідження коливань дисипативних систем, створена тодішнім директором Інституту академіком Г.С. Писаренком. За його рекомендацією молодий дослідник А.П. Зіньковський під керівництвом В.В. Матвєєва починає дослідження з вивчення коливань регулярних пружних систем за наявності частотної і дисипативної неоднорідності їх однотипних елементів, у тому числі й систем з конструктивною циклічною або поворотною симетрією, типовим прикладом яких є лопаткові вінці турбомашин. Слід зазначити, що тоді вже існували відомі наукові школи з дослідження коливань лінійно-пружних систем з поворотною симе-



І.Г. Токар, А.В. Побережніков і А.П. Зінковський у лабораторії дослідження демпфівальної здатності та вібронпруженості машин в умовах дії відцентрових сил та температури. 2001 р.

трією професорів Б.Ф. Шора, В.П. Іванова, С.І. Богомолова, Ю.С. Воробйова, D.J. Ewins, D.S. Whitehead та ін., однак основну увагу в них приділяли впливу частотної неоднорідності таких систем.

У 1974 р. Анатолій Павлович вступає в аспірантуру і в 1981 р. захищає кандидатську дисертацію на тему «Вплив демпфірування на резонансні коливання зв'язаної системи з порушеною регулярністю однотипних підсистем».

З 1975 по 2000 р. він працює у новоствореному відділі вібраційної надійності, спочатку старшим інженером, з 1981 р. — молодшим науковим співробітником, а з 1983 р. — старшим науковим співробітником. Разом з колегами по відділу І.Г. Токарем і О.Я. Адаменком, а також молодими спеціалістами — випускниками кафедри динаміки та міцності машин і опору матеріалів Київського політехнічного інституту М.В. Смертюком та І.М. Бусленком продовжує дослідження резонансних коливань зв'язаних систем нелінійно-гістерезисного типу з урахуванням порушення їх регулярності. У 1980 р. опубліковано його роботу, в якій уперше показано можливість виникнення розкиду резонансних амплітуд коливань системи з порушеною поворотною симетрією внаслідок тільки її дисипативної неоднорідності. В подальшому було розроблено теоретичні основи коливань таких систем за наявності

частотно-дисипативної неоднорідності та обґрунтовано можливість використання математичної моделі парних форм для визначення закономірностей формування резонансних коливань цих систем з урахуванням розладу частот та характеристик демпфірування їх однотипних елементів. Крім того, за результатами комплексних аналітичних і чисельних досліджень, проведених разом з М.В. Смертюком і І.М. Бусленком, було встановлено закономірності впливу явища модальної локалізації на формування резонансних коливань розладжених поворотно-симетричних систем з пружно-дисипативною зв'язаністю підсистем.

Для підтвердження практичної значущості отриманих оригінальних розрахункових результатів творчий колектив під керівництвом А.П. Зінковського виконав комплекс експериментально-розрахункових досліджень з вивчення закономірностей коливань та демпфівальної здатності моделей попарно бандажованих лопаток зі складеним хвостовиком як типового прикладу реальної регулярної системи з пружно-дисипативним зв'язком однотипних елементів. Було встановлено, що, незалежно від умов їх спряження по бандажних полицях, унаслідок розладу частот лопаток і через особливості дисипативного зв'язку можливе виникнення небезпечних антифазних коливань, які характеризуються значним зростанням вібронпруженості лопаток порівняно з їх синфазними коливаннями.

У 1996 р. за результатами проведених досліджень А.П. Зінковський захистив докторську дисертацію «Зв'язані коливання регулярних механічних систем з порушеною симетрією».

Надалі у структурі Інституту відбулися зміни, і Анатолія Павловича було призначено керівником лабораторії аеропружності турбомашин, а в 2000 р. — створеного на її базі відділу коливань у роторних системах. У цей період він разом з В.А. Цимбалюком і своїм першим аспірантом А.В. Побережніковим розвинув теорію коливань систем з порушеною поворотною симетрією з урахуванням аеродинамічного зв'язку підсистем, що особливо характерно для лопаткових вінців турбомашин.

Одночасно продовжувалися науково-дослідні роботи з вивчення динамічної стійкості до дозвукового флатеру лопаткових вінців компресорів як систем з конструктивною поворотною симетрією, актуальність яких була зумовлена необхідністю визначення критичних умов виникнення цього явища при розробленні конкурентоспроможних газотурбінних двигунів та освоєнні їх серійного виробництва.

У співпраці з В.А. Цимбалюком було розроблено експериментально-розрахунковий комплекс, який дозволяє визначити аеродинамічні навантаження на робочі лопатки та спрогнозувати стійкість до флатеру вінців у широкому діапазоні зміни їх механічних характеристик та параметрів газового потоку. Ще на етапі проектування газотурбінних двигунів необхідно знати критичні умови виникнення дозвукового флатеру лопаткових вінців компресорів. Тому на основі накопиченої в Інституті бази результатів досліджень аеродемпфірування коливань лопаток А.П. Зіньковський разом з А.Л. Стельмахом розробили експрес-метод прогнозування їх динамічної стійкості. Створення такого методологічного забезпечення дало змогу провести широкий спектр досліджень з аналізу динамічної стійкості до дозвукового флатеру лопаткових вінців різних ступенів компресорів різних класів авіаційних газотурбінних двигунів. У подальшому Анатолію Павловичу разом зі своїм учнем С.М. Кабанником вдалося розвинути дослідження в цьому напрямі завдяки модернізації експериментального стенду та розробленню відповідного програмного забезпечення.

У 2006 р. відбулося об'єднання наукових відділів вібраційної надійності та коливань і коливань у роторних системах. Анатолій Павлович очолив новий відділ, який здобув назву відділ коливань та вібраційної надійності. У ньому, поряд з подальшим розвитком теорії коливань неконсервативних механічних систем, особлива увага приділялася розв'язанню актуальних завдань підвищення вібраційної надійності об'єктів сучасного машинобудування, насамперед робочих коліс турбін та компресорів як одних з найбільш навантажених вузлів



З академіком НАН України В.Т. Троценком у складі організаційного комітету Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми динаміки та міцності в турбомашинобудуванні». Київ, 2007 р.

авіаційних газотурбінних двигунів. Використовуючи досвід, накопичений під час вивчення коливань попарно бандажованих лопаток та систем з порушеною поворотною симетрією, Анатолій Павлович разом з І.Г. Токарем та своїми учнями Я.Д. Круглій і К.В. Савченком, а також зі співробітниками ДП «Івченко-Прогрес» В.М. Меркуловим, Р.П. Придорожним та ін. продовжили дослідження закономірностей впливу параметрів бандажного зв'язку лопаток на формування коливань їх вінців.

Крім того, з огляду на широке використання монокристалічних робочих лопаток турбін, у співпраці з фахівцями ДП «Івченко-Прогрес» С.В. Шереметьєвим і Р.П. Придорожним було проведено дослідження статичного і динамічного станів турбінних лопаток та їхніх вінців з урахуванням анізотропії механічних властивостей матеріалу і впливу реальних експлуатаційних режимів навантаження. Отримані результати Анатолій Павлович представив на засіданні Президії НАН України у доповіді «Актуальні проблеми динаміки та міцності в сучасному авіаційному двигунобудуванні».

З початку 2000-х років у відділі розпочалися інтенсивні дослідження з вивчення коливань конструктивних елементів з пошкодженнями та встановлення вібродіагностичних показників їх наявності. Було проведено комплексні



Робоча зустріч на підприємстві «АвтоКрАЗ». м. Кременчук, 2015 р.

розрахункові дослідження з визначення впливу параметрів відкритої тріщини на спектр власних частот коливань стрижневих елементів, а результати досліджень їх коливань як в ізольованому вигляді, так і у складі регулярної системи за наявності дихаючої тріщини узагальнено у низці статей А.П. Зіньковського у співавторстві з В.О. Круцом, Є.О. Онищенко та І.Г. Токарем.

У своїй науковій діяльності Анатолій Павлович приділяв велику увагу подальшому розвитку започаткованих Г.С. Писаренком досліджень з вивчення коливань механічних систем з урахуванням різних джерел розсіювання енергії. Серед них слід відзначити проведений разом з В.О. Круцом цикл досліджень з вивчення впливу співвідношення характеристик неоднорідності регулярних систем та розсіювання енергії на їх коливання.

Останніми роками, усвідомлюючи перспективність використання в авіаційній галузі композитних матеріалів, Анатолій Павлович разом з О.Л. Деркачем започаткував у відділі новий напрям досліджень з вивчення пасивного і активного демпфірування коливань композитних елементів конструкцій турбомашин та дослідження впливу параметрів пошкодження на їх вібраційні характеристики.

Крім того, починаючи з 2007 р. А.П. Зіньковський разом з колегами з Інституту, зокрема А.А. Котляренко, та представниками ПАТ «Мотор Січ» К.М. Подгорським та І.Л. Гліксо-

ном виконали комплекс експериментальних досліджень зі створення банку даних механічних характеристик широкого класу нових авіаційних матеріалів з урахуванням конкретних технологій їх одержання та обробки, температури та видів експлуатаційного навантаження. Разом з О.В. Гориком та генеральним директором ПрАТ «АвтоКрАЗ» Р.Є. Черняком було досліджено деформування поверхневих шарів об'єктів техніки при їх дробоструминній обробці.

Усе зазначене вище свідчить про важливе прикладне значення наукових робіт Анатолія Павловича. Зокрема, результати досліджень лопаткових вінців робочих коліс турбомашин як систем з порушеною симетрією було використано для визначення умов виникнення небезпечних динамічних станів, що дозволило дати рекомендації щодо зниження їх вібраційно-пруженості при проектуванні перспективних та доводці серійних газотурбінних двигунів на провідних підприємствах України в галузі авіаційного газотурбобудування — ДП «Івченко-Прогрес» і ПАТ «Мотор Січ».

А.П. Зіньковський неодноразово був керівником спільних наукових проєктів з Інститутом проточних машин ім. Р. Шевальського (Гданськ), Інститутом термомеханіки (Прага) з вирішення проблем коливань лопаткового апарату турбомашин. Його неодноразово запрошували в Китай для читання лекцій, зокрема до Інституту дослідження металів АН КНР.

Багатогранну наукову роботу Анатолій Павлович успішно поєднував з підготовкою інженерних і наукових кадрів. Починаючи з 2002 р. він викладав у Національному авіаційному університеті, у 2014–2016 рр. очолював державну екзаменаційну комісію зі спеціальності «динаміка та міцність машин» в НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», був головою спеціалізованої вченої ради при Інституті проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України та членом такої ради при Національному університеті «Львівська політехніка». Під його керівництвом було підготовлено 1 доктора і 13 кандидатів наук.

Неоціненною є роль А.П. Зіньковського і в координації наукових досліджень. Як член

Бюро Відділення механіки НАН України, він входив до складу Постійної комісії за науковими напрямками для здійснення оцінювання ефективності діяльності наукових установ Секції фізико-технічних і математичних наук НАН України, брав участь у роботі Міжвідомчої координаційної ради з питань експлуатації, ремонту та модернізації авіаційної техніки, був ученим секретарем Експертної ради державної науково-технічної програми «Підвищення надійності та довговічності машин і споруд», членом Національного комітету України з теоретичної та прикладної механіки та Національної ради України з машинознавства. Слід також відзначити його діяльність з організації наукових конференцій, конгресів, сесій та інших наукових заходів. Значну увагу А.П. Зінковський приділяв редакційній діяльності, був членом редколегій провідних вітчизняних науково-технічних журналів «Проблеми міцності», «Вісник Національного технічного університету ХПІ» (серія «Динаміка та міцність машин») та деяких інших.

У 2015 р. А.П. Зінковського було призначено заступником директора з наукової роботи

Інституту проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України, а наприкінці 2021 р. обрано на посаду директора Інституту. Саме в цей період в Інституті, враховуючи вимоги часу, розпочалася робота з реформування його структури та напрямів досліджень, яку, на жаль, він так і не встиг завершити.

Держава і наукова спільнота високо оцінили досягнення А.П. Зінковського. В 2021 р. його було обрано членом-кореспондентом НАН України за спеціальністю «механіка». Його удостоєно звання «Заслужений діяч науки і техніки України» (2018), нагороджено Почесною грамотою Верховної Ради України (2016), за цикл наукових праць «Міцність і надійність лопаткового апарату робочих коліс сучасних авіаційних газотурбінних двигунів та забезпечення їх ресурсу» у складі авторського колективу відзначено премією ім. С.П. Тимошенка НАН України (2015).

Анатолій Павлович був творчою особистістю, мудрою, доброзичливою людиною з великим серцем. Він назавжди залишиться в пам'яті колег, друзів та учнів як талановитий вчений і організатор науки.

Valery T. Troshchenko

G.S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Valentin V. Matveev

G.S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7473-4176>

Kyrylo V. Savchenko

G.S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9690-9758>

THE STUDY OF OSCILLATIONS OF REGULAR MECHANICAL SYSTEMS WITH BROKEN CYCLIC SYMMETRY AS ONE OF THE HALLMARKS OF THE G.S. PISARENKO INSTITUTE FOR PROBLEMS OF STRENGTH OF THE NAS OF UKRAINE

In memory of Corresponding Member of the NAS of Ukraine A.P. Zinkovsky

G.S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of the NAS of Ukraine is known in the world as one of the leading scientific centers for the study of wide range of modern problems in experimental mechanics of deformable solids, strength of materials and structural elements. The article is dedicated to the memory of the director of the Institute, one of the most famous researchers in the field of oscillations of regular mechanical systems with broken cyclic symmetry, doctor of technical sciences, professor, corresponding member of the NAS of Ukraine Anatoly P. Zinkovsky.