

MODERN DIGITAL PLATFORMS AS THE BASIS FOR INNOVATIVE DEVELOPMENT OF THE UNIVERSITY

I. N. Budilov ^a, G. K. Ageev ^b, V. R. Akbashev ^c

Ufa State Aviation Technical University (UGATU)

^a budilov.in@ugatu.su, ^b ageev.gk@ugatu.su, ^c akbashev.vr@ugatu.su

Submitted 2022, August 1

Abstract. At the heart of the DT are complex multidisciplinary mathematical models with a high level of adequacy to real materials, structures and physical and mechanical properties. The possibility of solving complex multiphysical and interdisciplinary problems of mechanics of a deformed solid is demonstrated on the basis of a digital twin (DT) of a compressor stage. The principles and operation of the technology of digital twins are described, the components of which are: the Internet of things, edge analytics and big data analysis.

Keywords: digital twin; compressor blade; compressor; titanium alloy; strength; stress-strain state, stress intensity factor; ANSYS.

СОВРЕМЕННЫЕ ЦИФРОВЫЕ ПЛАТФОРМЫ КАК ОСНОВА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ УНИВЕРСИТЕТА

И. Н. Будилов ^a, Г. К. Агеев ^b, В. Р. Акбашев ^c

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

^a budilov.in@ugatu.su, ^b ageev.gk@ugatu.su, ^c akbashev.vr@ugatu.su

Поступила в редакцию 01.08.2022

Аннотация. В основе ЦД лежат сложные мультидисциплинарные математические модели с высоким уровнем адекватности реальным материалам, конструкциям и физико-механическим свойствам. Продемонстрировано на базе цифровой копии (ЦД) ступени компрессора возможность решения сложных мультифизических и междисциплинарных задач механики деформированного твердого тела. Описаны принципы и порядок работы технологии цифровых двойников, составными частями которой являются: интернет вещей, краевая аналитика и анализ больших данных.

Ключевые слова: цифровой двойник; digitaltwin; лопатка компрессора; компрессор; титановый сплав; прочность; напряженно-деформированное состояние, коэффициент интенсивности напряжений; ANSYS.

ВВЕДЕНИЕ

Формирование глобального инновационного общества, основанного на образовании, исследованиях, является актуальной стратегической задачей стран-лидеров мирового развития, определяющих экономику знаний, формируемых инновационными университетами, основой экономического развития в 21 веке [1].

В России вопросы цифровизации и разработка цифровых двойников ведется в рамках Национальной технологической инициативы (НТИ), нацеленные на развитие и повышение конкурентоспособности отечественной высокотехнологичной промышленности за счет решения инженерно-технологических проблем – вызовов (Industrial Challenge Problems). Наиболее интенсивный рост в использовании цифровизации, и как следствие, цифровых двойников, наблюдается, в первую очередь, в ресурсоемких и высокотехнологичных отраслях.

Драйверами развития рынка цифровых услуг являются высокотехнологичные отрасли промышленности, такие как самолетостроение и двигателестроение, а также энергетическая отрасль. В стороне не должны оставаться и вузы. Примеры цифровой трансформации производственных процессов в ведущих российских компаниях на базе создания цифровых двойников представлены в работах [6–10].

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

Цифровой двойник (рис. 1) является виртуальным представлением объекта, который понимается как система данных, моделей и программных систем численного моделирования, применяемых на протяжении всего жизненного цикла изделия и позволяющих отслеживать каждый конкретный объект на любом этапе его существования. Разработка «цифровых двойников» новых и уже эксплуатируемых изделий возможна только на основе современных цифровых платформ [2], высокопроизводительных вычислений и суперкомпьютерного инжиниринга, интеграции и системного инжиниринга. Встраивание цифрового двойника в инфраструктуру промышленного интернета вещей повышает качество предсказательной диагностики и аналитики оптимальных условий эксплуатации изделий [3–7].

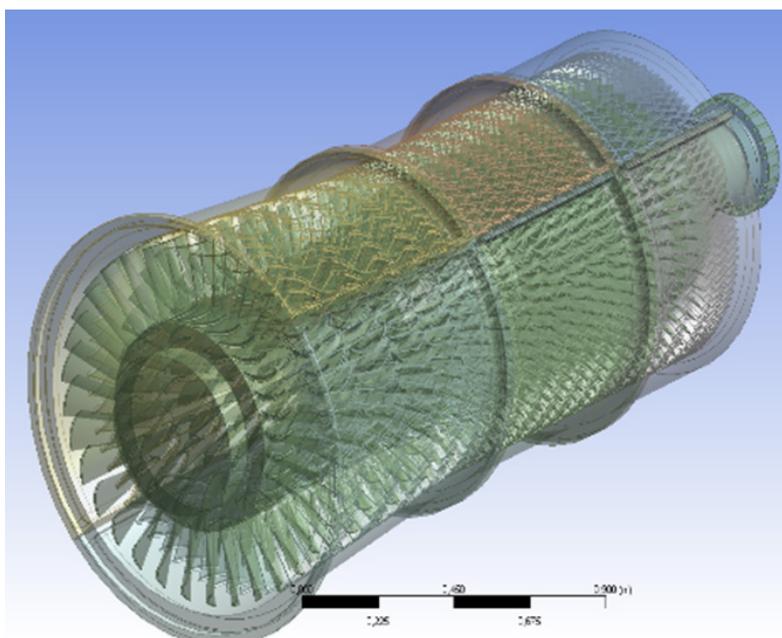


Рис. 1. Пример цифрового двойника (Digital Twin)

Цифровой двойник состоит из двух основных компонентов: это цифровая копия изделия и физический объект в условиях эксплуатации (рис. 2). Обладая численной системной моделью изделия, математической моделью, моделью интернета вещей и данными бизнес-систем, можно получить комплексное представление об изделии и взаимодействовать с ним на всем протяжении жизненного цикла. В настоящее же время за счет применения современных цифровых платформ и метода конечных элементов (Finite Element Method) FEM, компьютерных технологий (CAD-CAE-CFD-FSI-...) стало возможным радикально повысить уровень адекватности физических моделей, а за счет применения best-in-class компьютерных платформ мирового уровня и новой парадигмы цифрового проектирования и моделирования.

Современные технологии дают возможность построить цифровые двойники любых объектов и изделий. На базе цифровой копии изделия можно объединить все системы и модели, упорядочить хранение данных и упростить оперативный доступ к ним.

Несмотря на очевидные преимущества цифровизации, на сегодняшний день ее внедрение сопровождается рядом проблем и является стратегическим решением, определяющим будущее высокотехнологичных производств и в том числе высшего образования на несколько десятков лет. Основную проблему представляет большой объем работ по цифровизации всех объектов и технологических процессов существующих и создаваемых производств, недостаток высококвалифицированных специалистов данной области [3].

При создании цифрового двойника ступени компрессора авиадвигателя, должны быть учтены как конструктивные особенности, так и реальные характеристики узлов, которые отслеживаются и изменяются в процессе его эксплуатации. Немаловажной функцией цифрового двойника является наследование данных об изделии при создании его новых модификаций, максимальное использование предыдущего опыта проектирования, изготовления и испытаний при разработке новых изделий (рис. 2).



Рис. 2. Концепция цифрового двойника в структуре модельно-ориентированного системного проектирования

На рис. 3 представлены составные части цифрового двойника в структуре системного проектирования. Цифровой двойник может быть создан только тогда, когда технический объект

подготовлен к обмену данными с виртуальной моделью, – данных, которые необходимы для создания модели фактического изделия, отражающей структурные, эксплуатационные, ремонтно-технологические характеристики.



Рис. 3. Составные части цифрового двойника в структуре системного проектирования

Сущность цифрового двойника должна находиться в процессе постоянного изменения – цифровой двойник не ограничен информацией и данными, полученными в ходе его разработки – на то он и двойник, чтобы всегда отражать актуальное состояние «оригинала».

ЦД может значительно увеличить стабильность эксплуатации или функционирования реального объекта: оборудования, изделия. Цифровой двойник изделия в процессе разработки поможет определить вероятные допуски и точности характеристик объекта для повышения безотказной работы в течение всего планируемого срока использования.

МОДЕЛИРОВАНИЕ I СТУПЕНИ РАДИАЛЬНОГО КОМПРЕССОРА

На этапе эксплуатации с помощью цифрового двойника можно усовершенствовать точность прогнозирования сбоев и диагностики, выявлять актуальные требования пользователей и клиентов, повышая эффективность разработки в целом, можно предотвращать аварии и сбои на производстве, помогают проводить тестирование и снижать риски.

Используя вычислительную мощь современных графических процессоров (GPGPU) и с помощью универсальных вычислений, можно достаточно быстро производить вычисления в режиме реального времени.

Для ГТД существуют технические возможности считывания окружающей и внутренней информации посредством регистрации различных колебаний, вибрации, шума и т.п. Она позволяет, например, эмпирически выявить наличие дефекта в компрессоре двигателя за счет обнаружения изменений в продольных, вертикальных и поперечных колебаниях.

На рис. 4 представлена блок-схема мультифизического расчета I ступени компрессора. На основе высокопроизводительных параллельных вычислений можно получать графическое изображение расчетных данных, после обработки текущая информация поступает в облако, доступ к которому может быть открыт с платформы «интернета вещей».

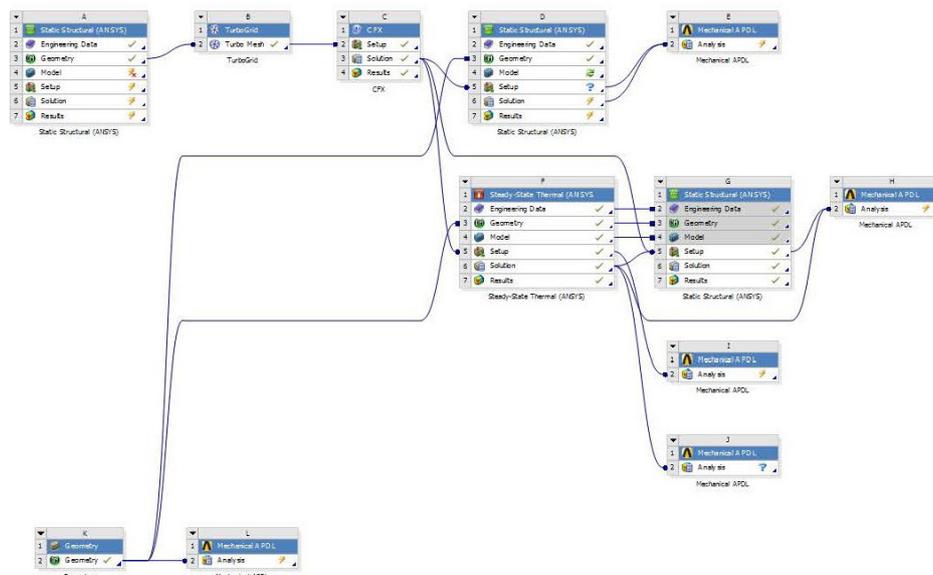


Рис. 4. Блок-схема мультифизического расчета I ступени РК

На рис. 5 представлены, полученные с помощью численного моделирования и на основе цифрового двойника КВД линии тока с учетом величины радиального зазора в компрессоре.

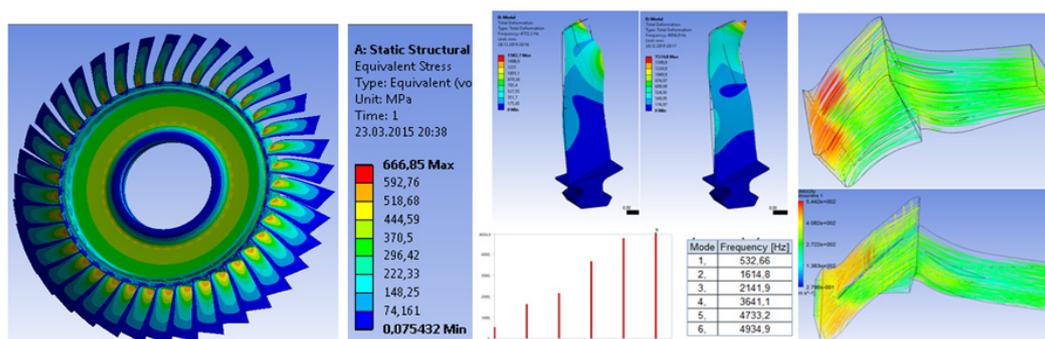
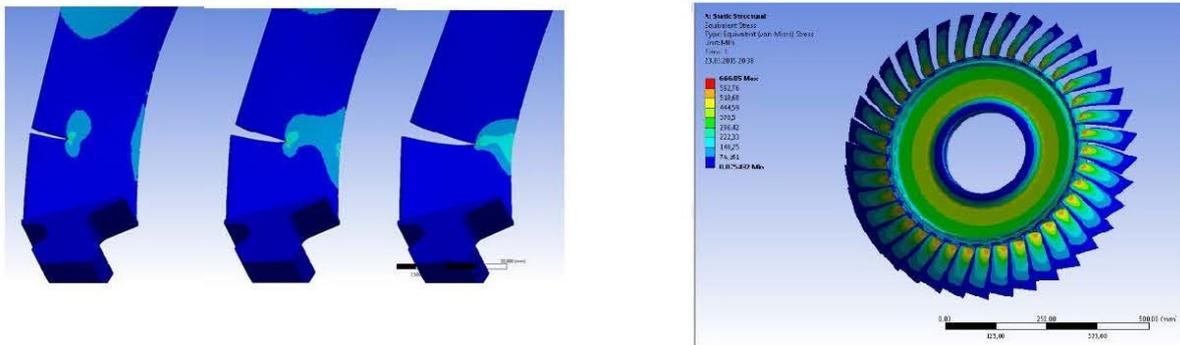


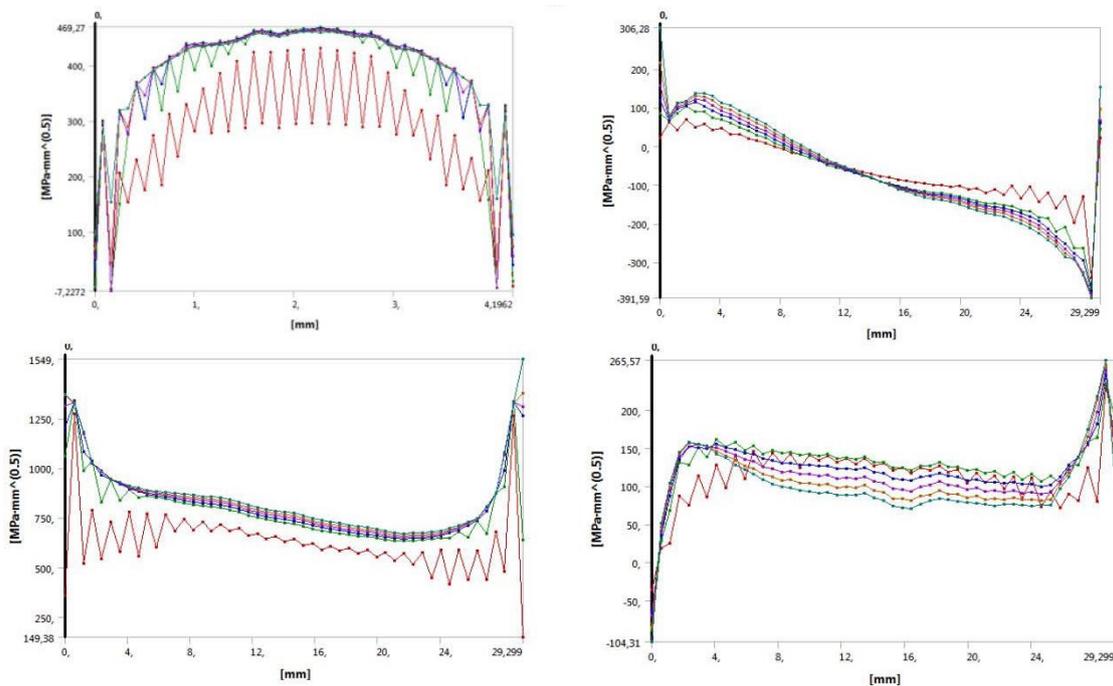
Рис. 5. Результаты расчета собственных частот колебания лопатки КВД без эрозионных повреждений и с повреждениями и линии тока

Цифровые модели могут быть разного уровня сложности: от упрощенных до полномасштабных. К примеру, формирование модели в рамках платформы для цифрового двойника компании ANSYS происходит следующим образом. Цифровой двойник применяется на всех стадиях жизненного цикла изделия, включающих в себя разработку, изготовление и эксплуатацию. Уже на этапе эскизного проектирования с использованием ANSYS Simplorer возможно создание вариаций системной модели разрабатываемого изделия для оценки и выбора из различных версий технических решений. Далее на этапе технического проектирования, полученная на предыдущем этапе модель может дорабатываться и уточняться при помощи более точных системных моделей элементов, которые в свою очередь могут быть получены посредством численного моделирования в других пакетах ANSYS, возможна интеграция встроенного ПО, интерфейсов управления и многое другое. Мультифизическая системная модель КВД позволяет учесть и оптимизировать взаимодействие всех элементов с учетом режимов работы и условий эксплуатации. Упрощенная системная модель КВД поможет в определении требуемых допусков, точностей изготовления для соблюдения характеристик и безотказной работы изделия в течение всего срока службы, а также позволит быстро выявить причины неисправностей в процессе тестирования.

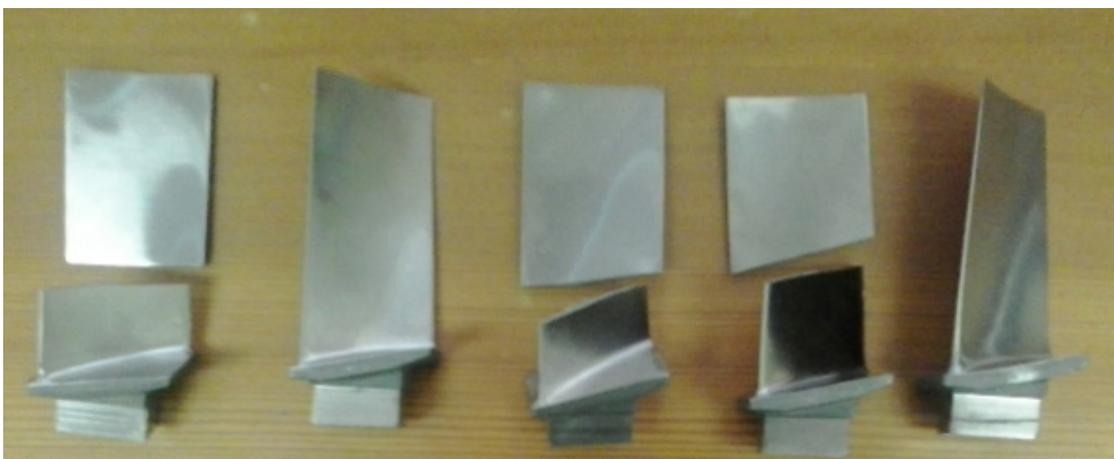
На рис. 6 представлены этапы разрушения лопатки компрессора КВД 4 ступени ГТД в условиях реальной эксплуатации, полученные на цифровом двойнике, и рассчитан ее остаточный ресурс, а также силовые параметры разрушения.



a



б



в

Рис. 6. Кинетика (*a*) и силовые параметры разрушения (*б*) лопатки КВД в процессе эксплуатации, реальное разрушение и живучесть лопатки (*в*)

Процесс разрушения лопатки двигателя КВД в первую очередь определяется уровнем силовых параметров разрушения. На рис. 6, б приведены значения коэффициента интенсивности первого рода K_1 , K_2 , K_3 для эллиптической трещины $C = 12,0$ мм; $a = 6,0$ мм, то есть отношение $a/C = 0,5$, расположенной в теле лопатки. Технология цифровизации высокотехнологичных отраслей находится на начальном этапе развития и опыта в ее применении недостаточно для полного и объективного законодательного оформления и выработки профессиональных стандартов. Данная ситуация является парадоксальной, поскольку множество производственных предприятий направлены на внедрение цифровых двойников, в первую очередь, с целью повышения конкурентоспособности на рынке [5].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учитывая, что технологии цифровизации пользуются поддержкой на уровне правительства РФ, предприятиям сегодня следует обратить на эти технологии самое пристальное внимание. Возможности цифровизации очень широкие: можно выбрать оптимальный технологический процесс с учетом особенностей производственной линии; можно предсказать разрушение лопатки двигателя и, соответственно, назначить превентивный ремонт; можно начать процесс сертификации изделия на таких ранних этапах, на которых раньше это не представлялось возможным.

С внедрением современных вычислительных платформ и на базе цифровых двойников изделий, могут существенно усиливаться возможности предприятий принимать решения на базе данных, повысить эффективность их деятельности и избавиться от потенциальных проблем, обеспечить их конкурентоспособность. Вузам следует обратить внимание на подготовку специалистов по данному направлению, как специалистов будущего. Цифровой платформой для обучения специалистов (студентов, бакалавров, магистров и аспирантов, докторантов) будут являться лицензии компании ANSYS и MSC Software, которые станут необходимым инструментом в подготовке специалистов нового типа для научных изысканий, а также важным фактором для развития промышленности региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Новиков С. В.** Управление инновационным развитием университета. Модели и драйверы инновационной экосистемы / под ред. А. Н. Дегтярева. М.: Nota Bene, 2022. 122 с. [S. V. Novikov, *Management of innovative development of the uni-versity. Models and drivers of the innovation ecosystem*, (in Russian). A. N. Degtyarev (ed.). Moscow: Nota Bene, 2022.]
2. **Боровков А. И., Рябов Ю. А., Марусева В. М.** «Умные» цифровые двойники – основа новой парадигмы цифрового проектирования и моделирования глобально конкурентоспособной продукции нового поколения // Трамплин к успеху. Цифровая экономика знаний. 2018. № 13. С. 13–17. [A. I. Borovkov, Yu. A. Ryabov, V. M. Maruseva, ““Smart” digital twins-the basis of a new paradigm of digital design and modeling of globally competitive products of a new generation”, (in Russian), in *Tramplin k uspekhу. Cifrovaya e`konomika znanij*, no. 13, pp. 13-17, 2018.]
3. **Организация цифровых производств Индустрии 4.0 на основе киберфизических систем и онтологий / А. В. Гурьянов [и др.]** // Научнотехнический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18, № 2. С. 268–277. [A. V. Gurjanov, et al., “Industry 4.0 digital production organization based on cyber and physical systems and ontologies”, (in Russian), in *Nauchnotekhnicheskij vestnik informacionnyh tehnologij, mehaniki i optiki*, vol. 18, no. 2, pp. 268-277, 2018.]
4. **Два в одном: для чего заводу нужен цифровой близнец** // РБК Цифровая Россия. [Электронный ресурс]. URL: http://digital-russia.rbc.ru/article-page_11.html [Two in one: why a factory needs a digital twin // RBC Digital Russia (2022, May 22) [Online]. Available: http://digital-russia.rbc.ru/article-page_11.html]
5. **Комраков А. В., Сухоруков А. И.** Концепция цифрового двойника в управлении жизненным циклом промышленных объектов // Сетевой научный журнал «Научная идея». 2017. №3 (3). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nauchidea.ru/> (дата обращения 20.05.2022). [A. V. Komrakov, A. I. Sukhorukov (2022, May 22), “The Concept of a digital double in the management of the life cycle of industrial objects” [Online], (in Russian), in *Nauchnaya ideya*, no. 3 (3), pp. 3-9, 2017. Available: <http://www.nauchidea.ru/>]
6. **Как цифровые двойники помогают российской промышленности.** [Электронный ресурс]. URL: <https://rb.ru/longread/digital-twin/> (дата обращения 20.05.2022). [How digital twins help the Russian industry (2022, May 20) [Online], (in Russian). Available: <https://rb.ru/longread/digital-twin/>]

7. **Stefan B., Christoph H., Roland R.** Next Generation Digital Twin // Proceedings of TMCE 2018 (Las Palmas de Gran Canaria, Spain, May 7-11). 2018.

8. **Будилов И. Н.** Решение мультифизических задач на основе цифровых прототипов // Вестник УГАТУ. 2020. Т. 24, № 3 (89). С. 10–19. [I. N. Budilov, "Solving multiphysical problems based on digital prototype Shors", (in Russian), in *Vestnik UGATU*, vol. 24, no. 3 (89), pp. 10-19.]

9. **Будилов И. Н.** Термонапряженное состояние центробежного колеса компрессора при наличии трещины // Вестник УГАТУ. 2016. Т. 20, № 4(74). С. 3–8. [I. N. Budilov, "Thermal-Stress state of centrifugal compressor wheel with a crack", (in Russian), in *Vestnik UGATU*, vol. 20, no. 4 (74), pp. 3-8, 2016.]

ОБ АВТОРАХ

БУДИЛОВ Игорь Николаевич, проф. каф. сопротивления материалов. Дипл. инженер по технологии и оборудованию сварочн. произв-ва (УАИ, 1978). Д-р техн. наук по тепловым двигателям летательн. аппаратов (УГАТУ 1998). Иссл. в обл. механики разрушения, прочности элементов ГТДи нефтехимических ТУ.

АГЕЕВ Георгий Константинович, проректор по инновационной деятельности, доц. каф. авиац. двиг. Дипл. инж. по авиац. двиг. (УГАТУ, 2007). Канд. техн. наук (УГАТУ, 2012). Иссл. в обл. моделирования параметров агрегатов ГТД и энергоустановок летат. аппаратов по наработке.

АКБАШЕВ Вадим Ринатович, ассистент кафедры сопротивления материалов. Исследователь. Преподаватель-исследователь по направлению Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры (2019). Канд. техн. наук (УГАТУ, 2022). Исследования в обл. остаточных напряжений и прочности элементов конструкций.

BUDILOV, Igor Nikolaevich, Prof. of the Department of strength of materials. Dipl. engineering technology and welding equipment production (UAI, 1978). Dr. of Tech. Sci. in heat engines of aircraft (UGATU, 1998). Studies of fracture mechanics, research in the field of solid mechanics.

AGEEV, George Konstantinovich, Assoc. prof., Dept. of aircraft engines. Dipl. Ing. of aviation engines (USATU, 2007). Cand. of Tech. Sci. (USATU, 2012). Scientific interests: parameter modeling of gas turbine engines and power plants of aircraft.

AKBASHEV, Vadim Rinatovich, assistant of the Department of Strength of Materials. Researcher. Lecturer-researcher in the direction of Dynamics, strength of machines, devices and equipment (2019). Cand. of Tech. Sci. (UGATU, 2022). Research in the region residual stresses and strength of structural elements.

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 26, no. 4 (98), pp. 88-95, 2022. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).