

=====

**Инновациялық технология және авиациялық техника**  
**Инновационные технологии и авиационная техника**  
**Innovative technology and aviation technics**

=====

DOI 10.53364/24138614\_2022\_26\_3\_8

УДК 69:004.9

<sup>1</sup>Шпаков П.С., <sup>2</sup>Ожигин С.Г., <sup>3</sup>Ожигина С.Б., <sup>4</sup>Мусина Г.А., <sup>5</sup>Бактыкереев М.К.

<sup>1</sup>Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г.

Муром, Россия,

<sup>2,3,5</sup>Карагандинский технический университет, г. Караганда, РК,<sup>4</sup>Сибирский государственный университет геосистем и технологий,  
г. Новосибирск, Россия<sup>1</sup>E-mail: [spsp01@rambler.ru](mailto:spsp01@rambler.ru)<sup>2</sup>E-mail: [osg62@mail.ru](mailto:osg62@mail.ru)<sup>3</sup>E-mail: [osb66@mail.ru](mailto:osb66@mail.ru)<sup>4</sup>E-mail: [storm2x@mail.ru](mailto:storm2x@mail.ru)<sup>5</sup>E-mail: [geolprojectwork@mail.ru](mailto:geolprojectwork@mail.ru)

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИНЖЕНЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ BIM И БПЛА**

**ҰҰА ЖӘНЕ BIM ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ҚОЛДАНУ НЕГІЗІНДЕ ИНЖЕНЕРЛІК  
ПРОЦЕСТІ ЖЕТІЛДІРУ**

**IMPROVEMENT OF THE ENGINEERING PROCESS BASED ON THE  
APPLICATION OF BIM AND UAV TECHNOLOGIES**

**Аннотация.** В работе приведены исследования доказывающие эффективность применения беспилотных летательных аппаратов в области инженерно-строительного проектирования при внедрении технологий информационного моделирования зданий и сооружений.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, информационное моделирование зданий, проектирование, строительство.

**Аңдатпа.** Жұмыста ғимараттар мен құрылыстарды ақпараттық модельдеу технологияларын енгізу кезінде инженерлік және құрылысты жобалау саласында ұшқышсыз ұшатын аппараттарды қолданудың тиімділігін дәлелдейтін зерттеулер ұсынылған.

**Түйін сөздер:** ұшқышсыз ұшу аппараты, ғимаратты ақпараттық модельдеу, жобалау, құрастыру.

**Abstract.** The paper presents studies proving the effectiveness of the use of unmanned aerial vehicles in the field of engineering and construction design when introducing information modeling technologies for buildings and structures.

**Key words:** unmanned aerial vehicle, building information modeling, design, construction.

**Введение.** Основным вопросом современного развития в области строительного проектирования является цифровизация применяемых методов и технологий. Особенно остро этот вопрос встает на территории пост советского пространства. В данный момент Казахстан находится на пути к достижению показателей повышенной конкурентоспособности в области строительного проектирования, развития технологий информационно-пространственного моделирования.

Сложность перехода к современным технологиям в области проектирования связана с множеством сторонних факторов, препятствующих активному развитию данной сферы в области составления документации и контроля инвестиционных средств, при контроле действий проектных ведомств и строительных компаний.

Одним из данных факторов является не точное прогнозирование показателей проекта, а именно амортизационных и эксплуатационных расходов. Помимо этого, большое количество выявленных ошибок в процессе проектирования увеличивают срок выполнения работ и расходы на его исполнение [1].

Большое количество несвязанной между собой информации, представленной в большей степени 2D чертежами, увеличивают сложность восприятия проекта и время выполнения работ. При активном внедрении цифровых технологий в различные сферы инженерного проектирования данный подход должен быть изменен.

### **Технология информационного моделирования зданий и сооружений**

Основной технологией, на которой должен базироваться весь переход к современным цифровым методам работы в строительном проектировании является BIM.

BIM (Building Information Modeling или Building Information Model) — информационное моделирование здания или информационная модель здания.

Информационное моделирование зданий это - совершенно иной подход к строительству, сопровождению и дальнейшей эксплуатации строительного объекта на всех этапах его создания. Данная технология имеет возможность комплексного сбора и обработки проектных, архитектурно-конструкторских, технических и экономических частей проектов.

Трехмерные модели зданий связаны между собой единой базой данных в которой каждый элемент будущего проекта имеет свои параметры и атрибутивные свойства. Основным преимуществом такого подхода к проектированию является единство составления проекта здания как одного целого. При таком подходе изменение одного элемента будущего здания затронет собой изменение всех связанных с ним элементов, распространяя эти изменения вплоть до чертежей, визуализированных моделей, спецификаций, финансовых смет и графиков сдачи работ.

Применение BIM-технологии позволит увеличить степень качественного контроля за мониторингом инвестиционных проектов инженерного строительства, а также увеличит прозрачность выполнения проектов, которые в свою очередь становятся более гибким и управляемым, что позволяет избежать ошибок и повысить уровень экономии средств [2].

Таким образом были выведены следующие преимущества применения данной технологии на основе статистических данных Smart Market Report McGraw Hill Construction. Составлены долгосрочные (рис.1) и краткосрочные (рис.2) графики прироста показателей проектирования от преимущества технологий BIM.



**Рисунок 1** – Прирост долгосрочных показателей в процентах.

Использование данной технологии в процессе проектирования позволит увеличить показатели производительности и снизит степень влияния ошибок на 40% в сравнении с традиционными двухмерными чертежами. При этом сокращается время на составление проектной и сопровождающей документации, что увеличивает скорость выполнения проекта на 20%.

Внедрение подобной технологии позволит в несколько раз снизить погрешности при расчете затрат на проектирование и строительство, повысит скорость сдачи объекта строительства, что уменьшит срок инвестиционного периода [3].

При этом переход на BIM технологию сопровождается определенными сложностями, к ним можно отнести неподготовленность квалифицированных кадров к работе в подобном формате, консервативную нормативную базу, не позволяющую в полной мере работать с данными BIM и отсутствие специализированной инструментальной базы для получения пространственных объектов местности для их повсеместного мониторинга на различных стадиях строительства сооружений.

Ключевым аспектом недоверия к BIM является его незнание. Многие специалисты не готовы отказываться от традиционных инструментов проектирования в пользу современных технологий.

При этом эффективность их применения во времени не только достигает уровня традиционных методов проектирования, но и превышает их в разы. Согласно данным Smart Market Report McGraw Hill Construction построены графики роста производительности проектирования в зависимости от роста вовлеченности сотрудников в изучение BIM технологии (рис. 3).



**Рисунок 2** – Прирост краткосрочных показателей эффективности.

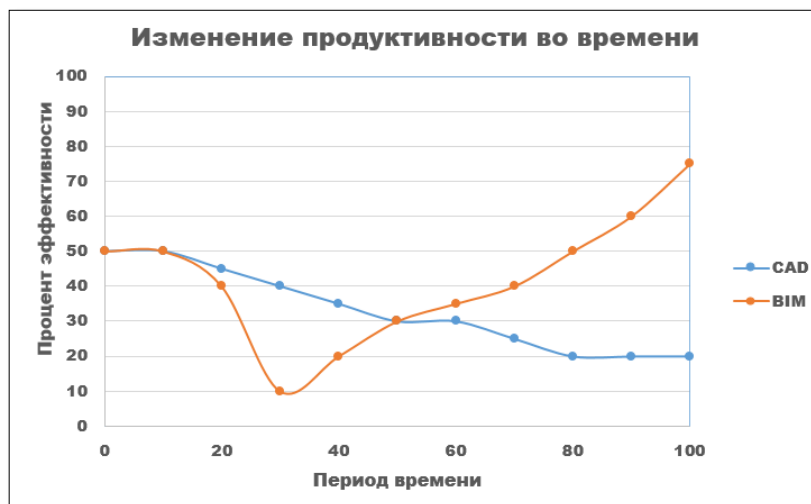


Рисунок 3 – Изменение процента эффективности во времени.

На графике имеется резкое понижение процента эффективности выполнения работ с применением BIM технологией на ранних стадиях его внедрения связанное с небольшим объёмом сотрудников, имеющих навыки работы с данной технологией [4,5]. Со временем данный недостаток реализуется взрывным ростом, конечная величина которого превышает традиционный подход на 25%.

#### Технология беспилотных летательных аппаратов

При этом остается сложность использования специализированной дорогостоящей техники для получения пространственных данных строительных сооружений. Стоимость и обслуживание лазерных сканеров, которые используются в полевой работе с BIM, может достигать нескольких миллионов тенге. Основным требованием к переходу на BIM является объем и обзорность получаемой информации, традиционные методы выполнения геодезических работ просто не могут обеспечить такой большой поток входных данных. Поэтому при работе с BIM в поле используют лазерные сканеры, которые позволяют получить избыточный объем данных и создавать необходимые модели для работы в BIM [5,6].

Таким образом на первый план выходит беспилотная аэрофотосъемка так как обеспечивает местами лучшую обзорность и скорость выполнения работ чем наземное лазерное сканирование, а полученные модели местности так же могут быть привязаны в координатах за одним лишь исключением, что их максимальная точность будет зависеть от максимального разрешения фотоматериала.

Самой большой и ключевой разницей между данными видами работ является доступность использования БПЛА по отношению к наземному лазерному сканированию. Использование беспилотных летательных аппаратов с целью создания моделей инженерно-строительных объектов увеличивает степень эффективности использования BIM технологии на поздних стадиях её внедрения в производственный процесс [7,8,9]. Таким образом, нами были учтены данные изменения и составлен график изменения продуктивности работы проектного подразделения с внедрением технологии BIM и использования беспилотных летательных аппаратов (рис. 4).

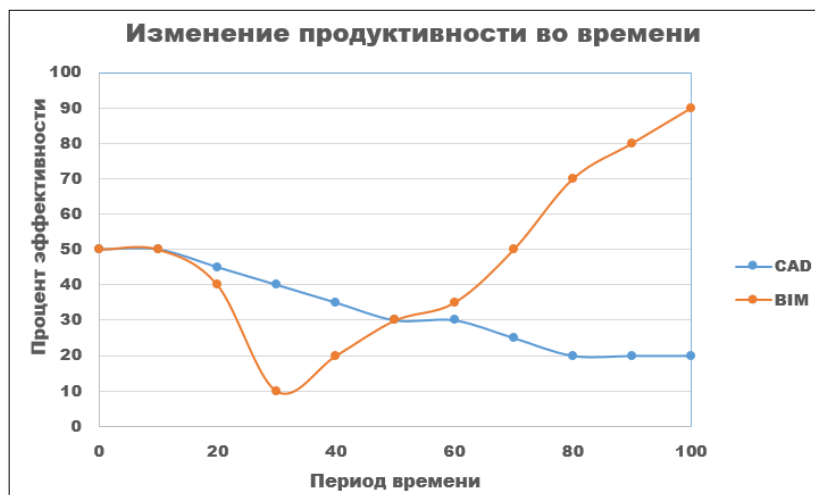


Рисунок 4 – Изменение процента эффективности во времени с применением БПЛА.

На данном графике отмечается, что после преодоления кризиса внедрения новой технологии максимальный уровень её эффективности превышает ранее достигнутый максимальный уровень без внедрения беспилотных летательных аппаратов, что говорит о благоприятном результате внедрения данной технологии в производственный процесс проектирования зданий и сооружений. Количественная разница данных без использования БПЛА и с внедрением данной технологии составила 15% (рис. 5).

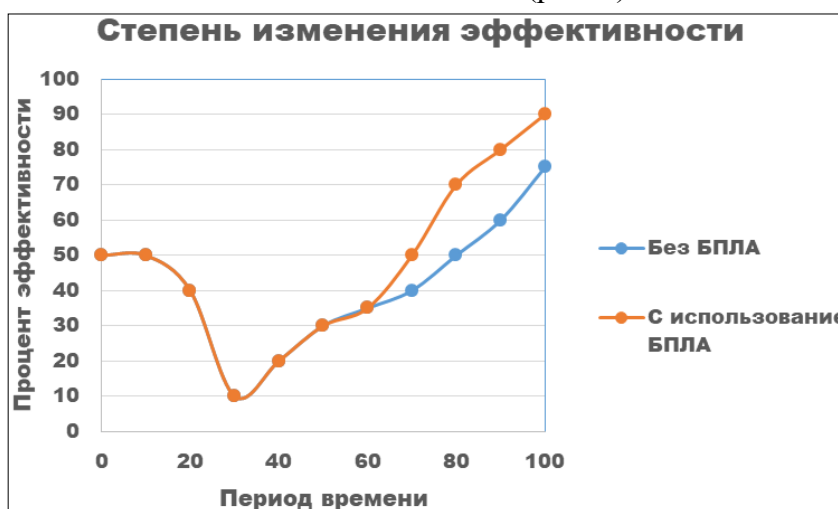


Рисунок 5 – Прирост процента эффективности с внедрением БПЛА в BIM.

**Вывод.** Таким образом, использование технологии BIM в инженерно-строительном проектировании решает широкий спектр задач поставленных вызовами современности. Использование беспилотных летательных аппаратов, их доступность и качество получаемых ими данных, позволяет приблизить и упростить переход традиционного метода ведения проектной деятельности на современный высококонкурентоспособный цифровой уровень. Использование моделей созданных с применением БПЛА позволяет реализовывать множество государственных проектов по следующим траекториям: «Создание модельных цифровых фабрик», «Реализация концепции «Smart City», «Внедрение цифрового рудника», «Повышение урожайности и производительности труда», «Сохранение продовольственной безопасности страны», отвечающим требованиям концепции Индустрии 4.0

**Список использованных источников**

1. Митник Л.М., Митник М.Л., Дубина В.А. Дистанционное радиофизическое зондирование системы океан - атмосфера // Дальневосточные моря России. Книга 4. Физические методы исследования. – Москва: Издательство Наука, 2007. – С. 449–537.
2. Митник Л.М., Хазанова Е.С. Дистанционное зондирование водосбора озера Ханка из космоса // Трансграничное озеро Ханка: причины повышения уровня воды и экологические угрозы. Дальневосточная конференция с международным участием. – Владивосток: Издательство Дальнаука, 2016. – 284 с.
3. Костюк А.С. Расчет параметров и оценка качества аэрофотосъемки с БПЛА // Гео-Сибирь. – 2010.– Т. 4. – № 1. – С. 83–87.
4. Павлов В.И. Фотограмметрия. Теория одиночного снимка и стереоскопической пары снимков. –СПб.: Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет), 2006. – 175 с.
5. Семенюк В.В., Риттер Д.В., Петров П.А., Риттер Е.С., Сагимов А.Е. 3d-моделирование и печать bpla с алгоритмами локального позиционирования. Вестник Академии гражданской авиации. 2021. № 2 (21). С. 19-27.
6. Атакищев О.И., Алтухов А.И., Гнусарев Н.В., Емельянов С.Г., Коршунов Д.С. К вопросу учета условий освещенности при съемке космических объектов фотографическими средствами // Известия ЮгоЗападного государственного университета, 2012. – № 3–1 (42). – С. 58–62.
7. Гнусарев Н.В. Геодезическое и баллистическое обеспечение космических систем дистанционного зондирования Земли: учебное пособие. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2008. – 220 с.
8. Мойсеев В.С. Прикладная теория управления беспилотными летательными аппаратами: Монография. – Казань: ГБУ «Республиканский центр мониторинга качества образования», 2013. – 768 с.
9. Урличич Ю.М., Селин В.А., Емельянов К.С. О приоритетах практической реализации развития космической системы дистанционного развития Земли // Аэрокосмический курьер. – 2011. – № 6 (78). – С. 12–19.

**References**

1. Mitnik L.M., Mitnik M.L., Dubina V.A. Distansionnoe radiofizicheskoe zondirovanie sistemy okean - atmosfera // Dälnevoſtochnye morä Rosii. Kniga 4. Fizicheskie metody issledovania. – Moskva: İzdatelstvo Nauka, 2007. – S. 449–537.
2. Mitnik L.M., Hazanova E.S. Distansionnoe zondirovanie vodosbora ozera Hanka iz kosmosa // Transgranichnoe ozero Hanka: prichiny povыšenіa urovnä vody i ekologicheskie ugrozy. Dälnevoſtochnaia konferensia s mejdunarodnym uchastiem. – Vladivostok: İzdatelstvo Dälнаука, 2016. – 284 s.
3. Kostük A.S. Raschet parametrov i osenka kachestva aerofotosemki s BPLA // Geo-Sibir. – 2010.– T. 4. – № 1. – S. 83–87.
4. Pavlov V.İ. Fotogrametria. Teoria odinochnogo snimka i stereoskopicheskoi pary snimkov. –SPb.: Sankt-Peterburgski gosudarstvennyi gorni institut (tehniчески universitet), 2006. – 175 s.
5. Semenük V.V., Ritter D.V., Petrov P.A., Ritter E.S., Sagimov A.E. 3d-modelirovanie i pechät bpla s algoritmiami lokälnoġo pozisionirovanіa. Vestnik Akademii grajdanskoi aviasii. 2021. № 2 (21). S. 19-27.
6. Atakişev O.İ., Altuhov A.İ., Gnusarev N.V., Emelänov S.G., Korşunov D.S. K voprosu ucheta uslovi osveşennosti pri semke kosmicheskikh obektov fotograficheskimi sredstvami // İzvestia İugoZapadnoġo gosudarstvennoġo universiteta, 2012. – № 3–1 (42). – S. 58–62.

7. Gnusarev N.V. Geodezicheskoe i balisticheskoe obespechenie kosmicheskikh sistem distansionnogo zondirovaniya Zemli: uchebnoe posobie. – SPb.: VKA im. A.F. Mojaiskogo, 2008. – 220 s.

8. Moiseev V.S. Applied theory of control of unmanned aerial vehicles: Monograph. – Kazan: GBU "Republican Center for monitoring the quality of Education", 2013. – 768 p.

9. Urlichich Yu.M., Selin V.A., Emelyanov K.S. About the priorities of practical implementation of the development of the space system of remote development of the Earth // Aerospace Courier. – 2011. – № 6 (78). – Pp. 12-19.

DOI 10.53364/24138614\_2022\_26\_3\_14

УДК 629.7.036:539.4

<sup>1</sup>Сайдахмедов Р.Х., д.т.н. профессор, <sup>2</sup>Саидахмедова Г.Р., магистр  
<sup>1,2</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, г. Ташкент, УР.

<sup>1</sup>E-mail: [ravshansaid@mail.ru](mailto:ravshansaid@mail.ru)

<sup>2</sup>E-mail: [gulyasaid.97@mail.ru](mailto:gulyasaid.97@mail.ru)

## АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЛОПАТОК ТУРБИН ГТД С ТЕРМОБАРЬЕРНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

### ТЕРМОБАРЬЕР ЖАБЫНЫ БАР ГАЗТУРБИНАЛЫҚ ТУРБИНА ҚАЛАҚТАРЫНЫҢ КЕРНЕУЛІ-ДЕФОРМАЦИЯЛАНҒАН ЖАЙ-КҮЙІН ТАЛДАУ

#### ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF GAS TURBINE BLADES WITH THERMAL BARRIER COATINGS

**Аннотация.** Диагностика реального состояния и остаточного ресурса элементов конструкции авиационного газотурбинного двигателя является главной задачей в рамках решения проблемы обеспечения безопасности при эксплуатации летательных аппаратов.

Важнейшее звено в оценке ресурса и прочности является турбина ГТД - определение напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов конструкций, отличающихся сложностью формы и большим количеством зон концентраций напряжений. При этом определение действительных значений деформаций и напряжений и их изменений во времени в процессе эксплуатации требуется как для оценки прочности и ресурса, так и для разработки рекомендаций по оптимизации рабочих режимов и совершенствованию конструкций.

**Ключевые слова:** напряженно-деформированное состояние, диагностика, жаростойкие покрытия, лопатки турбин ГТД, моделирование.

**Аңдатпа.** ӘК газтурбиналық қозғалтқышының құрылымдық элементтерінің нақты күйі мен қалдық қызмет ету мерзімін диагностикалау әуе кемелерін пайдалану кезінде қауіпсіздікті қамтамасыз ету мәселесін шешудегі негізгі міндет болып табылады.

Ресурс пен беріктікті бағалаудың ең маңызды буыны ГТД турбинасы болып табылады - пішіннің күрделілігімен және кернеулердің шоғырлану аймақтарының көптігімен ерекшеленетін құрылымдық элементтердің кернеулі-деформациялық күйін (СЖС) анықтау. Бұл ретте деформациялар мен кернеулердің нақты мәндерін және олардың жұмыс кезінде уақыт бойынша өзгеруін анықтау беріктік пен қызмет ету мерзімін бағалау үшін де, жұмыс