

УДК 629.735.083
МРНТИ 53.91.35

Д. Д. Касенов¹, А. М. Қалкабек², К. С. Кажыбаев², С. Ж. Куртаев³

¹ *Национальный университет обороны Республики Казахстан, Астана, Казахстан*

² *ТОО «R&D центр «Казахстан инжиниринг», Астана, Казахстан*

³ *ВС РК, Астана, Казахстан*

СПОСОБ ПРОВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ, ТЕПЛОВЫХ И ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ КОНСТРУКЦИЙ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аннотация. В статье представлены результаты разработки способа проведения комплексных аэродинамических, тепловых и тепломеханических испытаний конструкций и составных частей беспилотных авиационных систем для повышения надежности и безопасности их эксплуатации. Актуальность исследования обусловлена широким применением беспилотных авиационных систем в военной, гражданской авиации и системе гражданской защиты, включая мониторинг паводков, лесных и степных пожаров, оценку последствий природных и техногенных катастроф, а также проведение поисково-спасательных операций. В отличие от традиционного подхода, предусматривающего последовательное использование нескольких специализированных установок, предложенный способ обеспечивает воспроизведение воздушного потока, температурного воздействия и механических нагрузок в рамках единого автоматизированного экспериментального цикла. Способ включает подготовку объекта испытаний, его установку в рабочей части универсального лабораторного экспериментального стенда, задание параметров испытаний, синхронизированное управление режимами воздействия, регистрацию измеряемых параметров и последующую обработку экспериментальных данных. Показано, что применение разработанного способа позволяет повысить достоверность и воспроизводимость результатов, сократить продолжительность испытаний и обеспечить комплексную оценку прочностных, тепловых и аэродинамических характеристик исследуемых конструкций. Практическая значимость разработки заключается в возможности ее использования при выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, верификации расчетных моделей и совершенствовании беспилотных авиационных систем, применяемых в интересах обороны, гражданской защиты и предупреждения чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: беспилотные авиационные системы, безопасность эксплуатации, надежность конструкций, гражданская защита, мониторинг чрезвычайных ситуаций, способ проведения испытаний, комплексные испытания, аэродинамические испытания, тепловые испытания, тепломеханические испытания.

Введение. Беспилотные авиационные системы (БАС) в последние годы стали важным инструментом решения широкого круга задач в военной, гражданской и научно-технической сферах. Особое значение они приобрели в системе гражданской защиты, где используются для мониторинга паводков, лесных и степных пожаров, оценки последствий природных и техногенных катастроф, проведения поисково-спасательных операций и оперативной разведки в труднодоступных районах. Эффективность применения БАС в указанных условиях напрямую зависит от

надежности конструкций, устойчивости к внешним воздействиям и способности сохранять работоспособность при длительной эксплуатации [1].

Конструкции и составные части БАС в процессе эксплуатации подвергаются одновременному воздействию аэродинамических нагрузок, температурных перепадов и механических усилий. Совместное действие указанных факторов определяет напряженно-деформированное состояние элементов, влияет на ресурс материалов и может приводить к возникновению скрытых дефектов, снижающих безопасность эксплуатации. Для своевременного выявления потенциальных отказов и подтверждения работоспособности изделий необходимы экспериментальные методы, обеспечивающие воспроизведение условий, максимально приближенных к реальной эксплуатации [2-4].

Традиционный подход к испытаниям основан на последовательном использовании аэродинамических труб, тепловых камер и испытательных машин. Несмотря на высокую точность специализированного оборудования, такой подход увеличивает продолжительность исследований и не позволяет в полной мере учитывать взаимное влияние факторов различной физической природы. В связи с этим возрастает значение комплексных испытаний, при которых аэродинамическое, тепловое и механическое воздействия реализуются в рамках единого автоматизированного экспериментального цикла [5].

В ранее выполненных исследованиях авторами проведен анализ мирового опыта создания многофакторных испытательных комплексов и разработан универсальный лабораторный экспериментальный стенд для комплексных аэродинамических, тепловых и тепломеханических испытаний [6, 7]. Однако эффективное использование такой экспериментальной базы требует разработки научно обоснованного способа проведения испытаний, определяющего последовательность операций, параметры режимов воздействия, методы регистрации экспериментальных данных и порядок их обработки.

Таким образом, разработка способа проведения комплексных аэродинамических, тепловых и тепломеханических испытаний представляет собой актуальную научно-техническую задачу, направленную на повышение надежности и безопасности эксплуатации беспилотных авиационных систем, совершенствование экспериментальных методов исследования и расширение возможностей применения БАС в интересах обороны, гражданской защиты и предупреждения чрезвычайных ситуаций.

Основная часть. Разработка способа проведения комплексных аэродинамических, тепловых и тепломеханических испытаний конструкций и составных частей беспилотных авиационных систем представляет собой самостоятельную научно-техническую задачу, направленную на формирование единого методического подхода к воспроизведению эксплуатационных воздействий различной физической природы. В отличие от традиционных методик, ориентированных на последовательное выполнение отдельных видов испытаний, предлагаемый способ обеспечивает согласованное проведение всех основных воздействий в рамках единого автоматизированного экспериментального цикла.

Ключевой особенностью разработанного способа является интеграция в единую последовательность операций процедур подготовки объекта испытаний,

задания параметров воздушного потока, температурного воздействия и механических нагрузок, синхронизированного управления режимами, регистрации измеряемых параметров и последующей обработки экспериментальных данных. Такой подход позволяет учитывать взаимное влияние аэродинамических, тепловых и механических факторов и получать более объективную оценку прочностных, тепловых и аэродинамических характеристик исследуемых конструкций.

Методическая основа способа сформирована с учетом ранее выполненных исследований, посвященных анализу мирового опыта создания многофакторных испытательных комплексов и разработке универсального лабораторного экспериментального стенда [6, 7]. При этом основное внимание сосредоточено не на конструктивных особенностях оборудования, а на логике организации испытательного процесса, алгоритмах управления режимами и обеспечении воспроизводимости экспериментальных условий.

Предлагаемый способ предусматривает поэтапное выполнение испытаний: подготовку и закрепление объекта исследования, настройку программы испытаний, запуск и синхронизацию воздействующих факторов, непрерывную регистрацию контролируемых параметров, анализ полученных результатов и формирование заключения о работоспособности и устойчивости конструкции. Реализация указанной последовательности позволяет существенно сократить продолжительность испытаний, повысить достоверность результатов и снизить вероятность возникновения ошибок, связанных с использованием нескольких независимых установок.

Целью исследования является разработка способа проведения комплексных аэродинамических, тепловых и тепломеханических испытаний конструкций и составных частей беспилотных авиационных систем, обеспечивающего повышение достоверности экспериментальных результатов, сокращение продолжительности испытаний и повышение надежности и безопасности эксплуатации беспилотной техники.

Для достижения поставленной цели были определены следующие *задачи исследования*:

1. Провести анализ существующих подходов к организации комплексных испытаний конструкций беспилотных авиационных систем.
2. Разработать последовательность выполнения операций при проведении испытаний в рамках единого экспериментального цикла.
3. Сформировать алгоритм синхронизации аэродинамических, тепловых и механических воздействий.
4. Определить порядок регистрации, обработки и анализа экспериментальных данных.
5. Оценить ожидаемые технические и эксплуатационные преимущества предложенного способа.

Материалы и методы исследования. Исследование выполнено на основе анализа функциональных возможностей разрабатываемого универсального лабораторного экспериментального стенда и требований к проведению многофакторных испытаний конструкций беспилотных авиационных систем. В работе использованы методы системного анализа, функционально-структурного моделирования, сравнительного инженерного проектирования и алгоритмического описания последовательности испытательных операций.

При разработке способа учитывались положения экспериментальной аэродинамики, теплотехники, сопротивления материалов, технической метрологии и автоматизированных систем управления. В качестве исходных данных использовались результаты ранее выполненных исследований, нормативно-технические документы и современные подходы к организации комплексных испытаний авиационной техники.

Результаты исследования и их обсуждение. В результате проведенного исследования разработан способ проведения комплексных аэродинамических, тепловых и тепломеханических испытаний конструкций и составных частей БАС, обеспечивающий синхронизированное воспроизведение эксплуатационных воздействий различной физической природы в рамках единого автоматизированного экспериментального цикла. Предложенный способ предназначен для получения объективных экспериментальных данных о поведении исследуемых конструкций в условиях, максимально приближенных к реальной эксплуатации.

В отличие от традиционных методик, предусматривающих отдельное проведение аэродинамических, тепловых и механических испытаний, разработанный способ объединяет все основные этапы исследования в единую последовательность, что позволяет учитывать совместное влияние различных факторов, сократить продолжительность испытаний и повысить достоверность получаемых результатов.

Схема реализации способа проведения комплексных испытаний. Структурная схема реализации разработанного способа проведения комплексных аэродинамических, тепловых и тепломеханических испытаний конструкций и составных частей беспилотных авиационных систем представлена на рисунке 1.

На рисунке 1 показана схема реализации заявляемого способа, согласно которой объект испытаний (1) подвергается согласованному воздействию аэродинамических, тепловых и механических факторов в рамках единого испытательного процесса.

В соответствии со способом аэродинамическое воздействие на объект испытаний осуществляется системой формирования аэродинамического воздействия (2), обеспечивающей создание направленного воздушного потока с заданными параметрами скорости и структуры.



Рисунок 1 – Схема реализации способа проведения комплексных аэродинамических, тепловых и тепломеханических испытаний

Одновременно или последовательно с аэродинамическим воздействием системой теплового воздействия (3) осуществляется нагрев и (или) охлаждение объекта испытаний и окружающей его среды в соответствии с установленной программой испытаний.

Механическое нагружение объекта испытаний обеспечивается системой механического нагружения (4), посредством которой к объекту прикладываются заданные усилия растяжения, сжатия, изгиба и (или) кручения при одновременном воздействии аэродинамических и тепловых факторов.

Задание, регулирование и синхронизация аэродинамических, тепловых и механических воздействий осуществляются системой управления и обработки данных (5), обеспечивающей реализацию требуемых режимов испытаний, регистрацию измеряемых параметров и последующий анализ полученных результатов.

Таким образом, схема, представленная на рисунке 1, отражает один из возможных вариантов реализации разработанного способа и демонстрирует принцип комплексного воздействия на объект испытаний в рамках единого автоматизированного экспериментального цикла. Реализация предложенного подхода позволяет повысить достоверность и воспроизводимость результатов, сократить продолжительность испытаний и обеспечить более объективную оценку надежности и безопасности эксплуатации беспилотных авиационных систем.

Последовательность проведения комплексных испытаний. Последовательность реализации разработанного способа проведения комплексных аэродинамических, тепловых и тепломеханических испытаний представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Последовательность проведения комплексных испытаний

Разработанный способ включает семь последовательно выполняемых этапов, охватывающих полный цикл экспериментального исследования – от подготовки объекта испытаний до формирования итогового заключения. На первом этапе осуществляется подготовка исследуемого образца, установка датчиков и проверка работоспособности измерительных каналов. Далее объект закрепляется в рабочей зоне стенда и подключается к функциональным подсистемам, обеспечивающим аэродинамическое, тепловое и механическое воздействия.

На следующем этапе формируется программа испытаний, в которой задаются параметры воздушного потока, температурные режимы и механические нагрузки в соответствии с предполагаемыми условиями эксплуатации. После этого проводится синхронизированное воспроизведение всех воздействующих факторов в рамках единого автоматизированного цикла.

В ходе испытаний осуществляется непрерывная регистрация, визуализация и архивирование экспериментальных данных. Полученная информация подвергается последующей обработке и сопоставлению с расчетными или нормативными значениями. На завершающем этапе формируется заключение, содержащее оценку работоспособности, устойчивости и соответствия исследуемой конструкции установленным требованиям.

Представленная последовательность обеспечивает стандартизированный порядок проведения испытаний и позволяет получать объективные и воспроизводимые результаты. Реализация всех этапов в рамках единого автоматизированного цикла способствует сокращению продолжительности экспериментальных работ и повышению достоверности оценки прочностных, тепловых и аэродинамических характеристик конструкций беспилотных авиационных систем.

Контролируемые параметры и обработка экспериментальных данных. Одним из ключевых элементов разработанного способа является организация непрерывного контроля параметров, характеризующих как режимы внешнего воздействия, так и реакцию исследуемой конструкции. Это позволяет получать объективную информацию о поведении объекта испытаний и выполнять комплексную оценку его аэродинамических, тепловых и прочностных характеристик.

В процессе испытаний регистрируются скорость и давление воздушного потока, температура исследуемого объекта и окружающей среды, величины прикладываемых механических нагрузок, деформации, напряжения, а при необходимости — вибрационные характеристики и другие параметры, предусмотренные программой испытаний. Сбор данных осуществляется в автоматическом режиме с использованием датчиков и измерительных каналов, интегрированных в систему управления и обработки данных.

Полученные экспериментальные данные подвергаются синхронизации по времени, первичной фильтрации и архивированию. Далее выполняются их визуализация, статистическая обработка и сопоставление с расчетными моделями, результатами численного моделирования или нормативными требованиями. Такой подход позволяет выявлять закономерности изменения характеристик объекта испытаний, определять предельные режимы работы и оценивать устойчивость конструкции к комплексному воздействию факторов различной физической природы.

Результатом обработки экспериментальных данных является формирование объективного заключения о техническом состоянии исследуемой конструкции, ее работоспособности и соответствии установленным требованиям. Это обеспечивает возможность использования полученных результатов при выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, верификации расчетных моделей и совершенствовании конструкций беспилотных авиационных систем.

Преимущества и практическая значимость разработанного способа. Проведенное исследование показало, что разработанный способ проведения комплексных аэродинамических, тепловых и тепломеханических испытаний обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с традиционными методиками, основанными на последовательном использовании отдельных специализированных установок. Основным преимуществом является возможность одновременного воспроизведения аэродинамических, температурных и механических воздействий в рамках единого автоматизированного экспериментального цикла, что позволяет учитывать их взаимное влияние и получать более достоверные и информативные результаты.

Исключение необходимости многократного перемещения объекта между различными испытательными установками снижает вероятность возникновения дополнительных погрешностей, уменьшает трудоемкость экспериментальных работ и сокращает общее время проведения исследований. Централизованное управление всеми режимами воздействия и автоматизированная регистрация параметров обеспечивают высокую воспроизводимость условий эксперимента, сопоставимость получаемых данных и возможность проведения детального анализа поведения исследуемой конструкции в условиях, максимально приближенных к реальной эксплуатации.

Практическая значимость разработанного способа заключается в возможности его использования при выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, экспериментальной проверке новых конструктивных решений, верификации расчетных моделей и совершенствовании беспилотных авиационных систем. Предложенный подход может применяться при исследовании элементов планера, силовых конструкций, узлов крепления и других ответственных компонентов, для которых требуется оценка совместного воздействия факторов различной физической природы.

Заключение. В результате проведенного исследования разработан способ проведения комплексных аэродинамических, тепловых и тепломеханических испытаний конструкций и составных частей беспилотных авиационных систем, направленный на повышение надежности и безопасности их эксплуатации. Предложенный способ обеспечивает синхронизированное воспроизведение аэродинамических, температурных и механических воздействий в рамках единого автоматизированного экспериментального цикла.

В ходе работы разработаны структурная схема реализации способа, последовательность проведения испытаний, а также определены контролируемые параметры и порядок обработки экспериментальных данных. Установлено, что применение предложенного подхода позволяет учитывать совместное влияние факторов различной физической природы, повысить достоверность и

воспроизводимость результатов, сократить продолжительность экспериментальных исследований и снизить вероятность возникновения дополнительных погрешностей.

Практическая значимость разработки заключается в возможности ее использования при выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, верификации расчетных моделей и совершенствовании конструкций беспилотных авиационных систем. Реализация предложенного способа способствует повышению надежности и безопасности эксплуатации беспилотной техники, применяемой в интересах обороны, гражданской защиты и предупреждения чрезвычайных ситуаций.

Таким образом, разработанный способ представляет собой перспективное отечественное техническое решение, обладающее высокой научно-технической новизной и значительным прикладным потенциалом. Дальнейшие исследования будут направлены на экспериментальную апробацию предложенного способа на универсальном лабораторном экспериментальном стенде и оценку его эффективности в условиях практического применения.

Данная научная статья опубликована в рамках выполнения научного проекта грантового финансирования на 2025-2027 годы ИРН АР261058/0224 «Создание универсального лабораторного экспериментального стенда с возможностью проведения аэродинамических, тепловых и тепломеханических испытаний конструкций и составных частей БАС» (исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан).

Список литературы

1. Austin R. Unmanned Aircraft Systems: UAVS Design, Development and Deployment. Chichester: John Wiley & Sons, 2010. 372 p.
2. Anderson J. D. Fundamentals of Aerodynamics. 6th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2017. 1184 p.
3. Incropera F. P., DeWitt D. P., Bergman T. L., Lavine A. S. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 8th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2017. 984 p.
4. Dowling N. E. Mechanical Behavior of Materials: Engineering Methods for Deformation, Fracture, and Fatigue. 5th ed. Boston: Pearson, 2019. 960 p.
5. MIL-STD-810H. Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests. Washington, DC: Department of Defense, 2019.
6. Калкабек А.М., Кажобаев К.С., Касенов Д.Д. Мировой опыт создания многофакторных стендов для аэродинамических, тепловых и климатических испытаний беспилотных авиационных систем // Наука и образование в гражданской защите. – 2025. – № 3 (59). – С. 29–38.
7. Касенов Д.Д., Кажобаев К.С., Калкабек А.М. Разработка универсального лабораторного стенда для комплексных аэродинамических и тепломеханических испытаний беспилотных авиационных систем // Сардар. – 2025. – № 3 (51). – С. 223–230.

References

1. Austin R. Unmanned Aircraft Systems: UAVS Design, Development and Deployment. Chichester: John Wiley & Sons, 2010. 372 p.
2. Anderson J. D. Fundamentals of Aerodynamics. 6th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2017. 1184 p.

3. Incropera F. P., DeWitt D. P., Bergman T. L., Lavine A. S. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 8th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2017. 984 p.
4. Dowling N. E. Mechanical Behavior of Materials: Engineering Methods for Deformation, Fracture, and Fatigue. 5th ed. Boston: Pearson, 2019. 960 p.
5. MIL-STD-810H. Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests. Washington, DC: Department of Defense, 2019.
6. Kalkabek A.M., Kazhibayev K.S., Kasenov D.D. Mirovoj opyt sozdaniya mnogofaktornyh stendov dlya aerodinamicheskikh, teplovyh i klimaticheskikh ispytaniy bespilotnyh aviacionnyh sistem // Nauka i obrazovanie v grazhdanskoj zashchite. – 2025. – № 3 (59). – S. 29–38.
7. Kasenov D.D., Kazhibayev K.S., Kalkabek A.M. Razrabotka universal'nogo laboratornogo stenda dlya kompleksnyh aerodinamicheskikh i teplomekhanicheskikh ispytaniy bespilotnyh aviacionnyh sistem // Sardar. – 2025. – № 3 (51). – S. 223–230.

Д. Д. Қасенов¹, А. М. Қалкабек², К. С. Кажыбаев², С. Ж. Құртаев³

¹Қазақстан Республикасының Ұлттық қорғаныс университеті, Астана, Қазақстан

²«Қазақстан инжиниринг» R&D орталығы ЖШС, Астана, Қазақстан

³Қарулы Күштер, басқарма бастығы, Астана, Қазақстан

ҰШҚЫШСЫЗ АВИАЦИЯЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕР КОНСТРУКЦИЯЛАРЫНЫҢ ПАЙДАЛАНУ СЕНІМДІЛІГІ МЕН ҚАУІПСІЗДІГІН АРТТЫРУ ҮШІН КЕШЕНДІ АЭРОДИНАМИКАЛЫҚ, ЖЫЛУЛЫҚ ЖӘНЕ ЖЫЛУ-МЕХАНИКАЛЫҚ СЫНАҚТАР ЖҮРГІЗУ ӘДІСІ

Аннотация. Мақалада ұшқышсыз авиациялық жүйелердің конструкциялары мен құрамдас бөліктерінің пайдалану сенімділігі мен қауіпсіздігін арттыруға арналған кешенді аэродинамикалық, жылулық және жылу-механикалық сынақтар жүргізу әдісін әзірлеу нәтижелері ұсынылған. Зерттеудің өзектілігі ұшқышсыз авиациялық жүйелердің әскери және азаматтық авиацияда, сондай-ақ азаматтық қорғау жүйесінде кеңінен қолданылуымен байланысты. Олардың қатарына су тасқындарын, орман және дала өрттерін мониторингтеу, табиғи және техногендік апаттардың салдарын бағалау, сондай-ақ іздестіру-құтқару операцияларын жүргізу жатады. Бірнеше мамандандырылған қондырғыларды кезекпен пайдалануға негізделген дәстүрлі тәсілден айырмашылығы, ұсынылған әдіс ауа ағынын, температуралық әсерді және механикалық жүктемелерді бірыңғай автоматтандырылған эксперименттік цикл шеңберінде қайта жаңғыртуға мүмкіндік береді. Әдіс сынақ объектісін дайындауды, оны әмбебап зертханалық эксперименттік стендтің жұмыс аймағына орнатуды, сынақ параметрлерін енгізуді, әсер ету режимдерін синхронды басқаруды, өлшенетін параметрлерді тіркеуді және алынған эксперименттік деректерді кейіннен өңдеуді қамтиды. Әзірленген әдісті қолдану нәтижелерінің дәлдігі мен қайталанғыштығын арттыруға, сынақтардың ұзақтығын қысқартуға және зерттелетін конструкциялардың беріктік, жылулық және аэродинамикалық сипаттамаларын кешенді бағалауға мүмкіндік беретіні көрсетілген. Әзірлеменің практикалық маңыздылығы оның ғылыми-зерттеу және тәжірибелік-конструкторлық жұмыстарды орындауда, есептік модельдерді верификациялауда және қорғаныс, азаматтық қорғау және төтенше жағдайлардың алдын алу мүддесінде қолданылатын ұшқышсыз авиациялық жүйелерді жетілдіруде пайдаланылу мүмкіндігімен айқындалады.

Түйінді сөздер: ұшқышсыз авиациялық жүйелер, пайдалану қауіпсіздігі, конструкциялардың сенімділігі, азаматтық қорғау, төтенше жағдайлар мониторингі, сынақ жүргізу әдісі, кешенді сынақтар, аэродинамикалық сынақтар, жылулық сынақтар, жылу-механикалық сынақтар.

D. D. Kassenov¹, A. M. Kalkabek², K. S. Kazhibayev², S. J. Kurtaev³

¹*National Defense University of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan*

²*LLP "R&D Center 'Kazakhstan Engineering'", Astana, Kazakhstan*

³*AF Head of Department, Astana, Kazakhstan*

METHOD FOR CONDUCTING COMPREHENSIVE AERODYNAMIC, THERMAL, AND THERMOMECHANICAL TESTING OF UNMANNED AERIAL SYSTEM STRUCTURES TO IMPROVE RELIABILITY AND OPERATIONAL SAFETY

Abstract. The article presents the results of developing a method for conducting comprehensive aerodynamic, thermal, and thermomechanical testing of structures and components of unmanned aerial systems to improve their reliability and operational safety. The relevance of the study is due the widespread use of unmanned aerial systems in military and civil aviation, as well as in civil protection, including flood monitoring, forest and steppe fire surveillance, assessment of the consequences of natural and technological disasters, and search-and-rescue operations. Unlike the conventional approach based on the sequential use of several specialized facilities, the proposed method enables the reproduction of airflow, thermal exposure, and mechanical loads within a single automated experimental cycle. The method includes preparation of the test object, its installation in the test section of a universal laboratory experimental test bench, setting of test parameters, synchronized control of exposure modes, acquisition of measured parameters, and subsequent processing of experimental data. It is shown that the developed method improves the accuracy and reproducibility of results, reduces testing time, and provides a comprehensive assessment of the structural, thermal, and aerodynamic characteristics of the investigated components. The practical significance of the development lies in its applicability to research and development activities, verification of computational models, and improvement of unmanned aerial systems used in the interests of defense, civil protection, and emergency prevention.

Keywords: unmanned aerial systems, operational safety, structural reliability, civil protection, emergency monitoring, testing method, comprehensive testing, aerodynamic testing, thermal testing, thermomechanical testing.

Сведения об авторах / Information about the authors

Касенов Даурен Дулатович – докторант Национального университета обороны Республики Казахстан, Астана, Казахстан. E-mail: kas.daur@mail.ru

Кажыбаев Канат Сайлаубаевич – аспирант, проект менеджер офиса управления ТОО «R&D centr «Kazakhstan Endgineering», Астана, Казахстан. E-mail: k.kazhibayev@mail.ru

Қалкабек Айдос Мусаұлы – заместитель генерального директора ТОО «R&D centr «Kazakhstan Endgineering», Астана, Казахстан. E-mail: kalkabek@rdke.kz

Куртаев Сабит Жанболатович – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, начальник управления Департамента БПЛА ВС РК, Астана, Казахстан. E-mail: Sk_82@mail.kz

Dauren D. Kasenov – is a doctoral student at the National Defense University of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan. E-mail: kas.daur@mail.ru

Kanat S. Kazhibayev – Postgraduate student, Project Manager of the Management office of R&D center Kazakhstan Endgineering LLP, Astana, Kazakhstan. E-mail: k.kazhibayev@mail.ru

Aidos M. Kalkabek – Deputy General Director of R&D center Kazakhstan Endgineering LLP, Astana, Kazakhstan. E-mail: kalkabek@rdke.kz

Sabit Zh. Kurtaev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of UAVS of the Armed Forces of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan. E-mail: Sk_82@mail.kz