

І. А. Пількевич, А. М. Токар, О. В. Франжі, Р. І. Лобода, В. В. Дмитрук

НАВЧАЛЬНО-ТРЕНУВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ОПЕРАТОРІВ БЕЗПЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ

Для задоволення потреби Збройних Сил України у фахівцях з експлуатації безпілотних авіаційних комплексів у Житомирському військовому інституті імені С. П. Корольова розгорнуто підготовку операторів – зовнішніх пілотів. У ході створення матеріально-технічної бази було порушено питання розробки та впровадження в навчальний процес тренажерних засобів, які б відповідали вимогам підготовки фахівців із вищою військовою освітою. Тому було створено навчально-тренувальну систему на основі переліку базових навчальних питань, глибоке оволодіння якими є обов'язковим для оператора безпілотних авіаційних комплексів. Розроблено, виготовлено та впроваджено в навчальний процес навчально-тренувальну систему, яка для забезпечення умов ефективного засвоєння навчального матеріалу побудована як схематично-абстрагована. Її змістовну основу становить плоский схематичний контур літака, на якому розміщене типове бортове обладнання безпілотних літальних апаратів та відтворена схема сполучень елементів. Живлення бортового обладнання забезпечується від аудиторної електромережі через стабілізований блок живлення. Керування роботою бортового обладнання можливе з ручного пульта управління та з наземної станції через програму *Mission Planner*. Також реалізовано управління роботою *Mission Planner* від програмного симулятора польотів *X-Plane*. У режимі симуляції польоту на екрані *Mission Planner* відображається карта маршруту польоту, на екрані *X-Plane* відтворюється вигляд та просторова орієнтація літака. На схематичному контурі літака відпрацьовують відповідні сервоприводи рульових поверхонь літального апарата та змінюються режими роботи головного двигуна. Програмне забезпечення навчально-тренувальної системи дозволяє проводити планування та коригування маршруту і програми польоту, відпрацьовувати навички пілотування безпілотного літального апарата в режимі симулятора польоту, симулювати політ за різних погодних умов. До складу навчально-тренувальної системи включено двоканальний програмно-апаратний осцилограф, який дозволяє досліджувати електричні процеси в різних електричних лініях бортового обладнання літального апарата та попарні взаємозв'язки між ними. Функціональні властивості навчально-тренувальної системи надають можливості вивчати теоретично та відпрацьовувати практично широке коло навчальних питань, зокрема тих, що стосуються освоєння не лише пілотування безпілотних літальних апаратів, а й технічного обслуговування та ремонтів безпілотних авіаційних комплексів.

Ключові слова: безпілотний авіаційний комплекс; безпілотний літальний апарат; навчально-тренувальна система; авіаційний тренажер; спеціалізоване програмне забезпечення.

Постановка проблеми в загальному вигляді: Стрімке збільшення обсягів і сфер застосування безпілотних авіаційних комплексів (БпАК) у Збройних Силах (ЗС) України
© І. А. Пількевич, А. М. Токар, О. В. Франжі, Р. І. Лобода, В. В. Дмитрук, 2021

зумовлює необхідність здійснення якісної підготовки операторів БпАК у достатній кількості. Це, у свою чергу, вимагає створення відповідних навчальних центрів і їх комплектування викладацьким складом, інструкторами та матеріально-технічною базою. Отриманий бойовий досвід [1–9] свідчить, що застосування БпАК дозволяє знизити втрати особового складу, підвищити ефективність застосування озброєння і військової техніки та дій підрозділів ЗС України. У ході аналізу отриманого досвіду встановлено, що однією з головних причин недостатньої ефективності використання БпАК у ЗС України є низька професійна надійність членів екіпажів [1–9], під якою розуміють безвідмовність, безпомилковість та своєчасність дій, направлених на виконання бойового завдання в процесі взаємодії з апаратурою БпАК та між собою [10]. Тобто ефективне застосування БпАК, як складної людино-машинної системи, можливе за умови працездатності його технічних засобів та стабільних передбачуваних дій операторів [10–12], які обумовлюються рівнем підготовки та злагодженості екіпажу, що досягається в ході достатньо тривалих навчань та тренувань. На сьогоднішній день процес підготовки операторів БпАК супроводжується значною кількістю поломок і пошкоджень безпілотних літальних апаратів (БпЛА). В умовах відсутності навчальних БпАК використання для навчання бойових комплексів завдає значних збитків та призводить до зриву проведення занять. Тому актуальним питанням є застосування навчально-тренувальних систем (НТС) під час підготовки операторів БпАК, що дасть змогу відпрацювати основні навички пілотування та дії в разі нештатних ситуацій. На базі Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова (ЖВІ) розгорнуто підготовку операторів БпАК для потреб ЗС України. Накопичений досвід свідчить про необхідність проведення попередньої тренажерної підготовки тих, хто навчається, перед допуском до польотів БпЛА. На даний час для підготовки операторів БпЛА застосовують комп'ютерні симулятори польотів, які надають змогу набути навичок пілотування, але не дають курсантам інформації, необхідної для розуміння алгоритмів роботи бортових систем БпЛА та фізичних процесів, що відбуваються у бортовому обладнанні. Тому актуальним є питання розроблення інформаційної тренажерної системи (ІТС), яка дозволить відпрацювати професійно важливі навички операторів БпЛА з одночасною теоретичною підготовкою (засвоєння алгоритмів та фізичних принципів роботи бортового обладнання БпЛА).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З виникненням БпАК з'явилася потреба у використанні відповідних тренажерів. На сьогоднішній день закордонні виробники разом із виробництвом БпАК також прагнуть розробляти авіаційні тренажери для своїх комплексів. На жаль, вітчизняні промисловці не займаються розробленням симуляторів і тренажерів для БпАК, які вони постачають у ЗС України. Однією з причин такої ситуації є відсутність технічних завдань із чітким баченням загальної концепції тренажерного обладнання. За таких умов набуває актуальності питання вивчення світового досвіду розроблення тренажерів БпАК та симуляторів польоту БпЛА, яке було проведено на основі аналізу публікацій [13–27].

Так, ізраїльська фірма Aeronautics розробила авіаційний тренажер для відпрацювання усіх етапів застосування БпАК: планування місії та прокладання маршруту, робота з усіма видами корисного навантаження в різних режимах, відпрацювання алгоритму дій у разі виникнення нештатних ситуацій під час здійснення контролю з боку інструктора

з можливістю моделювання різних умов обстановки (час доби, погодні умови, наявність чи відсутність рухомих об'єктів тощо). Персональний комп'ютер оператора та панель керування призначені для формування команд для БпЛА, відображення даних телеметрії, відеозображення в масштабі реального часу. На панелі розміщені перемикачі, кнопки та джойстики для управління корисним навантаженням, регулювання основних параметрів двигуна та бортового передавача тощо [13].

Значний досвід щодо розроблення тренажерів БпЛА мають Сполучені Штати Америки. До складу всіх БпЛА, що розробляються в інтересах ЗС цієї країни, входять тренажери, що симулюють польоти БпЛА. На сьогоднішній день у ЗС України використовується БпЛА RQ-11B «Raven» виробництва американської компанії «Aerovironment». Це дає змогу глибоко проаналізувати авіаційний тренажер, що входить до його складу. Елементами авіаційного тренажера БпЛА RQ-11B «Raven» є: ноутбук; симулятор інтерфейсу Dongle; батарея GCS; ручний контролер GCS; хаб GCS; радіочастотний кабель GCS. Авіаційний тренажер дозволяє:

- планувати та корегувати маршрут польоту;
- налаштовувати алгоритм дій БпЛА в разі втрати радіозв'язку з наземною станцією;
- відображати місії в графічному вигляді на електронних картах;
- змінювати умови польоту (час доби, напрям та силу вітру тощо), програмувати відмови під час польоту;
- оглядати місію для аналізу даних.

Авіаційний тренажер БпЛА RQ-11B «Raven» є засобом навчання, що використовується для відпрацювання навичок у віртуальному середовищі. Програмне забезпечення імітує всі функції та режими польоту, створюючи реалістичне навчальне середовище зі змодельованими знімками, що транслюються на монітор ручного пульта керування. Інформація в інтерфейсі програми відображається у двох основних зонах, дані про політ – уздовж лівого боку та залишаються видимими протягом симуляції. Решта частини екрана змінюється залежно від того, який режим обрано (Preflight, Status, Location or Environment) [14].

Розглянуті тренажери є вузькоспеціалізованими, оскільки дозволяють симулювати політ БпЛА та відпрацьовувати навички роботи тільки з тими БпЛА, у складі яких вони надходять. Більш універсальним є програмний симулятор X-Plane, який дозволяє використати плагіни з програмними моделями різних літаків та який у поєднанні зі спеціалізованим програмним забезпеченням й апаратною частиною БпЛА може використовуватися як тренажер.

Отже, активне застосування БпЛА, їх удосконалення та ускладнення конструкцій вимагає створення й розвитку авіаційних тренажерів, використання яких забезпечує ефективну підготовку компетентних фахівців з експлуатації БпЛА.

Формулювання завдання дослідження. Основним завданням створення і застосування НТС БпЛА є набуття оператором практичних навичок пілотування БпЛА та усвідомлення принципів й алгоритмів роботи бортових систем БпЛА. У ході навчання на НТС сам БпЛА не пошкоджується, виключається також можливість його втрати. До складу НТС має входити як апаратна, так і програмна частина БпЛА, що буде симулювати

навколишнє середовище та погодні умови. НТС повинна надавати можливість аналізувати поведінку БпЛА в різних режимах роботи та проводити аналіз взаємодії структурних елементів БпАК. Наявні системи НТС у світі розповсюджуються виключно із системами БпАК. Розглянуті вище НТС адаптовані під конкретний БпАК, вони не дають можливості усвідомити та проаналізувати принципи й алгоритми роботи бортових систем БпЛА. Відповідно, метою статті є розроблення НТС, до складу якої мають увійти основні системи БпАК та авіаційний симулятор для відпрацювання навичок пілотування БпЛА.

Виклад основного матеріалу. З метою створення умов для ефективного подання курсантам достатнього обсягу наочної інформації, необхідної для розуміння принципів і алгоритмів роботи бортових систем БпЛА та фізичних процесів, що відбуваються в бортовому обладнанні, у науковому центрі ЖВІ розроблена та виготовлена НТС, яка дозволяє відпрацьовувати професійно-важливі навички операторів БпЛА з одночасною теоретичною підготовкою (засвоєння алгоритмів та фізичних принципів роботи бортового обладнання).

Підхід до обґрунтування принципу побудови НТС та розроблення її конструкції враховує перелік навчальних питань, які повинен засвоїти оператор БпАК у ході набуття кваліфікації:

- загальна аеродинамічна схема літального апарата літакового типу з класичною компоновкою та розташуванням рульових поверхонь;

- розташування рульових поверхонь та призначення кожної з них;

- принципи зміни напрямку руху літального апарата (кути крену, ристання, тангажа) за допомогою рульових поверхонь;

- способи зміни напрямку руху літального апарата із застосуванням різних комбінацій перекидання рульових поверхонь (поворот з елеронами, поворот без елеронів тощо);

- механізми приводу рульових поверхонь, їх призначення, загальний принцип роботи, розташування на літальному апараті;

- силова установка (головний двигун) літального апарата, його призначення, розташування, загальний принцип управління режимами роботи;

- схема електричного живлення силової установки та бортових систем БпЛА;

- робочі напруги в підсистемах бортової електричної мережі;

- автопілот, його призначення, функції, розміщення, живлення, комутація;

- принципи і схема управління БпЛА в ручному режимі;

- принципи і схема управління БпЛА в автоматичному режимі;

- оптико-електронне обладнання БпЛА;

- призначення, будова, порядок роботи відеоканалу;

- електричні процеси в бортовій електромережі, каналах зв'язку, бортових лініях управління.

Для забезпечення наочності подання навчального матеріалу, що є умовою ефективного засвоєння розглянутого переліку навчальних питань, НТС побудована як абстрагована схема літального апарата літакового типу класичної аеродинамічної схеми. Змістовну основу НТС становить плоске схематичне зображення контуру літака, всередині якого розміщене типове бортове обладнання та зображена схема сполучень елементів. Для дослідження електричних процесів до складу НТС включено осцилограф.

ліворуч. Основним елементом фронтальної частини є стилізована конструкція БпЛА, виготовлена з листа водостійкої фанери у вигляді плоского контуру, обриси якого відповідають зображенню літака класичної аеродинамічної схеми. До контурного літака у відповідних місцях шарнірно приєднані рулі висоти та елерони, а також кіль з рулем повороту. Усі рульові поверхні діючі, поворотні, із сервоприводами. Повітряний гвинт для забезпечення техніки безпеки поміщений у захисний кожух із металевої сітки. На лицьовому боці фанерного контуру розміщене бортове обладнання БпЛА та його сполучні кабелі. Вся бортова апаратура діюча. У межах конструкції БпЛА бортова апаратура розташована таким чином, щоб наочно відображати функціональні зв'язки між окремими елементами та демонструвати роль і місце кожного в загальній схемі функціонування БпЛА. Відстані між елементами обрані з урахуванням забезпечення умов їх чіткого візуального спостереження та розрізнення із віддалених навчальних місць. Для візуалізації шляхів проходження команд управління між різними елементами бортового обладнання БпЛА застосовується підсвічування цих шляхів світлодіодними стрічками різних кольорів, які прокладені вздовж відповідних сполучних кабелів. Світлодіодними стрічками також підсвічуються механічні тяги сервоприводів рулів. Виділяються лише ті шляхи, які задіяні у виконанні поточної команди. На лицьовому боці також розміщені світлодіоди індикації точок зняття осцилограм.

До складу НТС включені 2 цифрові вольтметри та 5 амперметрів із 7-сегментними індикаторами. Вольтметри відображають поточні значення напруг лінії живлення 12 V (бортова батарея, основний електродвигун, відеокамера, відеопередавач) та лінії живлення 5 V (автопілот, сервоприводи, радіоприймач ручного керування, радіопередавач телеметрії, GPS-навігатор, трубка Піто). Амперметри відображають поточні значення струмів: лінії живлення 12 V у цілому; головного електродвигуна; відеокамери та відеопередавача; лінії живлення 5 V у цілому; сервоприводу одного з елеронів. Замість бортової акумуляторної батареї встановлено її масогабаритний макет. Імітація її роботи здійснюється за допомогою стабілізованого блоку живлення від аудиторної мережі змінного струму 220 V. Щоб енергоспоживання допоміжних систем стенда не впливало на покази вольтметрів і амперметрів схеми бортових систем БпЛА, для живлення цих систем передбачена допоміжна мережа 12 V, робота якої забезпечується додатковим стабілізованим блоком живлення від аудиторної мережі змінного струму 220 V. На лицьовій поверхні стенда знизу зліва від контуру літака штатне місце для зберігання пульта ручного управління БпЛА, живлення якого від батареї замінено на живлення кабелем від допоміжної мережі 12 V. Зліва зверху над контуром літака розміщено макети супутників системи GPS. Праворуч від фанерного контуру літака розташовано два монітори з діагоналлю 43". Нижній монітор є складовою наземної станції управління БпЛА. Верхній призначений для багатофункціонального використання, зокрема для виведення потоку відео від бортової камери БпЛА, осцилограм від програмно-апаратного осцилографа, а також для демонстрації навчальних відеоматеріалів. Між антеною пульта ручного управління та антеною бортового приймача системи ручного управління, між макетами супутників і бортовим приймачем GPS-навігатора, між нижнім монітором і бортовою антеною передавача/приймача телеметрії та між верхнім монітором і бортовою антеною відеопередавача для візуальної імітації передачі даних відповідними

ефірними каналами розміщені ланцюжки біжучих вогнів із світлодіодів синього кольору й мигаючі двоколірні світлодіоди синього та червоного кольорів.

Для можливості поглибленого вивчення принципів роботи радіоелектронного та електромеханічного бортового обладнання БпЛА до складу НТС включено двоканальну програмно-апаратну приставку-осцилограф Hantek 6022BE, яка через USB-кабелі з'єднується з комп'ютером, а через плату комутації – з точками зняття осцилограм бортової електричної схеми БпЛА, які визначені конструкцією стенда, до них підведені приховані провідники, якими сигнали подаються до осцилографа (рис. 2). Передбачено зняття осцилограм щодо напруги з: фазних проводів живлення головного електродвигуна, управляючого проводу від автопілота до регулятора обертів головного електродвигуна, передачі даних від радіоприймача ручного управління до автопілота, від цифрового датчика повітряної швидкості до автопілота, від бортового модуля телеметрії до автопілота, надання команд управління від автопілота до сервоприводу елерона. Осцилограми виводяться на монітор стенда. Оскільки осцилограф двоканальний, то осцилограми виводяться попарно, тобто одночасно від двох різних точок. Це дає можливість досліджувати та аналізувати взаємозв'язки між синхронними сигналами в актуальних місцях електричної схеми БпЛА.

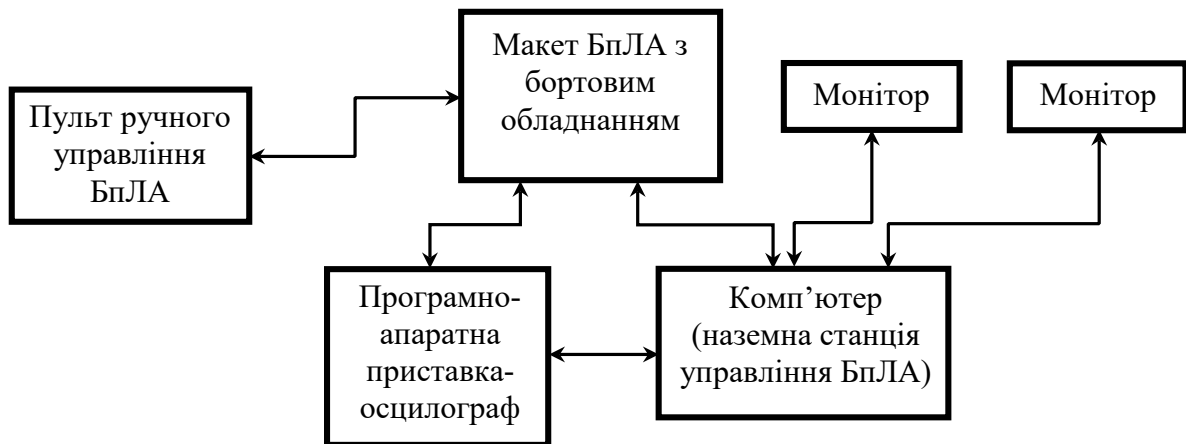


Рис. 2. Структурна схема НТС

Застосування методу осцилографічних досліджень дає можливість поглибленого вивчення таких навчальних питань, як:

- принцип створення обертаючого моменту в трифазному двигуні постійного струму;
- принцип регулювання частоти обертання трифазного двигуна постійного струму;
- принцип регулювання потужності трифазного двигуна постійного струму;
- функції регулятора обертів трифазного двигуна постійного струму;
- структура і двійковий код керівних команд від автопілота до регулятора обертів трифазного двигуна постійного струму;
- структура та двійковий код команд від бортового приймача ручного управління до автопілота;
- структура і двійковий код пакетів обміну даними між автопілотом і бортовим модулем прийому / передачі телеметрії;

структура і двійковий код пакетів даних від цифрового датчика повітряної швидкості до автопілота;

структура пакетів керівних команд із широтно-імпульсною модуляцією від автопілота до сервоприводу рульової поверхні БПЛА.

Програмна частина приставки-осцилографа дозволяє виконувати масштабування досліджуваних сигналів за осями X та Y незалежно для кожного з каналів. За необхідності можна зробити «моментальний знімок» поточної осцилограми та провести його детальне дослідження, виконуючи при цьому необхідні масштабування, вимірювання, підрахунки. Отримані статичні зображення можуть бути збережені у файлах, що дає можливість використовувати їх для оформлення звітних матеріалів.

Метод осцилографічних досліджень дозволяє наочно спостерігати та вивчати особливості електричних потоків і сигналів як у колах живлення, так і в колах управління та передачі даних. Наочність методу полегшує та спрощує сприйняття і засвоєння навчального матеріалу, дозволяє досліджувати особливості роботи бортових систем БПЛА на різних режимах, вивчати особливості усталених та перехідних процесів у бортових системах БПЛА. У цілому застосування методу осцилографічних досліджень сприяє поглибленому вивченню та засвоєнню навчального матеріалу, що в кінцевому результаті забезпечить більш високу якість підготовки операторів БПАК та фахівців із технічного обслуговування БПАК.

Для відпрацювання основних елементів польоту та вивчення курсантами функціонування механізмів БПЛА в ході відпрацювання команд на комп'ютер стенда встановлено програми Mission Planner та X-Plane. Дане програмне забезпечення дозволяє:

- проводити планування і коригування маршруту та програми польоту;
- відпрацьовувати навички пілотування БПЛА в режимі симулятора польоту;
- відпрацьовувати політ на симуляторі за різних погодних умов.

Реалізовано інформаційний обмін між програмним симулятором X-Plane та наземною станцією керування БПЛА, що дало можливість візуально спостерігати відпрацювання рульових поверхонь під час симулювання польоту. У режимі симуляції польоту БПЛА отримує інформацію про свої поточні координати не від бортового модуля GPS, а від симулятора X-Plane. При цьому на монітор Mission Planner виводиться карта території, яка відповідає географічним координатам та висоті польоту, заданим симулятором.

Під час роботи X-Plane є можливість видавати інформацію щодо польоту БПЛА зовнішньому користувачу та гнучко налаштовувати структуру потоку даних, що дозволяє виводити всю необхідну інформацію у вікні Mission Planner. Програмний симулятор X-Plane відрізняється від подібних розробок тим, що розрахунок загального аеродинамічного навантаження на БПЛА відбувається шляхом розбиття кожного крила та лопаті пропелера на невеликі піделементи та підрахування для кожного з них діючих аеродинамічних сил, моментів. Перевага такого підходу порівнянно з моделями, що використовують попередньо обраховані масиви даних, полягає в тому, що не потрібно накопичувати інформацію про поведінку реального апарата. У програмному середовищі X-Plane моделюється поведінка БПЛА на основі даних щодо геометрії, маси, розташування і характеру двигунів.

Висновки. Розроблена НТС відповідає вимогам з безпеки життєдіяльності до навчального обладнання, що працює від електромережі з напругою ~220 V.

Функціональні властивості НТС дозволяють вивчати теоретично та відпрацьовувати практично широкий обсяг навчальних питань, необхідних для підготовки операторів БпАК. До цього обсягу входять питання як щодо пілотування БпЛА, так і щодо освоєння технічного обслуговування та ремонтів БпАК. Упровадження НТС у навчальний процес у ЖВІ сприятиме підвищенню ефективності підготовки військових фахівців.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Петрук С. Безпілотні авіаційні комплекси в збройних конфліктах останніх десятиріч. URL: <https://journal.cndiovt.com.ua/article/download/210/222/> (дата звернення: 20.09.2019).
2. Штаб АТО обнародовал фотографии, свидетельствующие о применении боевиками ударных беспилотников. URL: www.pravda.com.ua/rus/news/2016/05/1/7107304 (дата обращения: 20.09.2020).
3. Довідник основних зразків озброєння та військової техніки Збройних сил Російської Федерації. Київ : Міністерство оборони України, 2015. 365 с.
4. Українські дрони в небесах: проблеми використання безпілотників в Україні. URL: ukr.lb.ua/economics/2017/10/21/379765_ukrainski_droni_nebesah_problemi.htm (дата звернення: 20.09.2020).
5. Іщенко Д. А., Болобан С. І. Методологічні засади досягнення переваги в застосуванні безпілотних авіаційних комплексів // Проблеми створення, випробовування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. Житомир : ЖВІ, 2016. Спецвип. 3. С. 42–57.
6. Армейцы в районе АТО используют с десяток разных беспилотников. URL: <https://khn.depo.ua/rus/khn/armiyaci-v-rayoni-ato-vikoristovuyut-z-desyatok-riznomanitni-bezpilotnikiv-20180223732081> (дата обращения: 25.11.2020).
7. Степаненко Е., Панченко И., Восколович А. Интеллектуальные сети на базе FANET // Коммуникации и сети ТЕЛЕКОМ : журнал. Киев, 2017. Спецвып. С. 44–49.
8. Степаненко Е., Панченко И., Восколович О. Оснащення ЗСУ безпілотними авіакомплексами // Коммуникации и сети ТЕЛЕКОМ : журнал. Киев, 2018. Спецвып. С. 58–64.
9. Степаненко Е., Панченко И., Восколович А. Организация борьбы с БПЛА // Коммуникации и сети ТЕЛЕКОМ : журнал. Киев, 2018. Спецвып. С. 65–74.
10. Фокин Ю. Г. Оператор-технические средства: обеспечение надежности. Москва : Воениздат, 1985. 192 с.
11. Воронин А. Н., Зиятдинов Ю. К., Козлов А. И., Чабанюк В. С. Векторная оптимизация динамических систем. Киев : Техника, 1999. 284 с.
12. Бодров В. А., Орлов В. Я. Психология и надежность: человек в системах управления техникой. Москва : Изд-во «Институт психологии РАН», 1998. 288 с.
13. Aeronautics Services. URL: <https://aeronautics-sys.com/home-page/services/> (last accessed: 25.11.2020).
14. RAVEN В. Малий безпілотний літальний апарат: Керівництво з експлуатації / Пер. з англ. мови Гудзя С. М., Гуменюка М. О. Житомир : ЖВІ, 2016. 30 с.

15. «Вега» представила обучающую систему для подготовки операторов БПЛА // Портал «Военное обозрение». URL: <https://topwar.ru/33065-vega-predstavila-obuchayuschuyu-sistemu-dlya-podgotovki-operatorov-bpla.html> (дата обращения: 25.11.2020).
16. Машков О., Мамчур Ю. Обґрунтування напрямків розробки тренажерів підготовки операторів дистанційно-пілотованих літальних апаратів екологічного моніторингу // Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. праць. Полтава : ПНТУ, 2018. Т. 3 (49). С. 16–21. doi:<https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.3.016>
17. Автономные тренажеры подготовки операторов беспилотных летательных аппаратов // Портал «Белвнешпромсервис». URL: <https://bvpservice.by/catalog/avtonomnye-trenazhery-podgotovki-operatorov-bespilotnykh-letatelnykh-apparatov-0> (дата обращения: 25.12.2020).
18. Автономный тренажер подготовки оператора беспилотного летательного аппарата. URL: <http://uavbusel.by/produksiya-i-uslugi/drugaya-produksiya/trenazhery-i-stendy/avtonomnyj-trenazher-podgotovki-operatora-bespilotnogo-letatel'nogo-apparata> (дата обращения: 20.12.2020).
19. Анисимов А. А. Рекомендации по методике подготовки сотрудников операторов беспилотных летательных аппаратов в органах государственной безопасности // Сб. докладов и статей по материалам II науч.-практич. конф. «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами». Коломна : 924 ГЦ БПА МО РФ, 2017. С. 181–182.
20. Злотников К. А., Кондратенко А. Г., Савченко О. И. Опыт применения унифицированного учебно-тренажерного комплекса подготовки боевых расчетов наземных пунктов управления комплексов воздушной разведки с БПЛА и актуальные вопросы совершенствования средств автоматизации обучения специалистов по применению беспилотной техники // Доклады и статьи ежегодной науч.-практич. конф. «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами». Коломна, 2016. С. 83–87.
21. Злотников К. А., Кудрявцев А. Н. Актуальные вопросы создания автоматизированных систем подготовки специалистов по управлению комплексами с беспилотными летательными аппаратами // Сб. докладов и статей по материалам II науч.-практич. конф. «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами». Коломна : 924 ГЦ БПА МО РФ, 2017. С. 91–97.
22. Злотников К. А., Прищепа Ю. В. Актуальные вопросы создания автоматизированных обучающих систем для подготовки операторов наземных пунктов управления комплексов с беспилотными летательными аппаратами // Методологические аспекты развития метеорологии специального назначения, экологии и систем аэрокосмического мониторинга : сб. науч. ст. по материалам I Всеросс. НПК (27–28 мая 2014 г.). Воронеж : ВУНЦ ВВС «ВВА», 2014, С. 219–223.
23. Осипов Ю. Н., Ершов В. И. Технология разработки программ подготовки операторов беспилотных авиационных систем // Сб. докладов и статей по материалам II науч.-практич. конф. «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами». Коломна : 924 ГЦ БПА МО РФ, 2017. С. 248–257.

24. Подготовка операторов БПЛА в ВС США // Портал «Современная армия». URL: <http://www.modernarmy.ru/article/331/podgotovka-operatorov-bpla-v-vs-ssha> (дата обращения: 25.12.2020).
25. Свищо В. С. Методика проведения тренажей на унифицированном учебно-тренировочном комплексе «тренировка» // Доклады и статьи ежегод. науч.-практич. конф. «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами». Коломна, 2016. С. 235–237.
26. Селиверстов Д. Е. Алгоритм оценки и определения направлений повышения качества тренажерных комплексов для подготовки операторов робототехнических комплексов военного назначения // Доклады и статьи ежегод. науч.-практич. конф. «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами». Коломна, 2016. С. 238–243.
27. Черкасов И. В. Подготовка внешних пилотов БпЛА // Сб. докладов и статей по материалам II науч.-практич. конф. «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами». Коломна : 924 ГЦ БпА МО РФ, 2017. С. 328–330.

Стаття надійшла до редакції 01.10.2021.

REFERENCES

1. Petruk, S. (n.d.). *Bezpilotni aviatsiini kompleksi v zbroinykh konfliktakh ostannikh desiatyrich [Unmanned aerial vehicles in armed conflicts in recent decades]*. Retrieved from <https://journal.cndiovt.com.ua/article/download/210/222/> [in Ukrainian].
2. *Shtab ATO obnarodoval fotografii, svidetel'stvuiushchie o primeneni boevikami udarnykh bespilotnikov [The anti-terrorist operation headquarters published the photos testifying to use by fighters of shock drones]*. (n.d.). Retrieved from www.pravda.com.ua/rus/news/2016/05/1/7107304 [in Russian].
3. *Dovidnyk osnovnykh zrazkiv ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki Zbroinykh syl Rossiiskoi Federatsii [Basic handbook of models armaments and military equipment in the Armed Forces of the Russian Federation]*. (2015). Kyiv: Ministry of Defense of Ukraine [in Ukrainian].
4. *Ukrainski drony v nebesakh: problemy vykorystannia bezpilotnykh v Ukraini [Ukrainian drones in the sky: problems of drone use in Ukraine]*. (n.d.). Retrieved from ukr.lb.ua/economics/2017/10/21/379765_ukrainski_droni_nebesah_problemi.htm [in Ukrainian].
5. Ishchenko, D. A., & Boloban, S. I. (2016). Metodolohichni zasady dosiahnennia perevahy v zastosuvanni bezpilotnykh aviatsiinykh kompleksiv [Methodological principles of achieving advantage in the use of unmanned aerial vehicles]. *Problemy stvorennia, vyprovovuvannia, zastosuvannia ta ekspluatatsii skladnykh informatsiinykh system: zb. nauk. prats [Problems of construction, testing, application and operation of complex information systems: Scientific journal of Korolov Zhytomy rMilitary Institute], Special issue 3*, 42–57. Zhytomyr: ZhMI [in Ukrainian].
6. *Armeitsy v raione ATO ispol'zuiut s desiatok raznykh bespilotnikov [Armymen in the ATO area use a dozen different drones]*. (n.d.). Retrieved from <https://khm.depo.ua/rus/khm/armiyaci>

v-rayoni-ato-vikoristovuyut-z-desyatok-riznomanitni bezpilotnikiv-20180223732081 [in Russian].

7. Stepanenko, E., Panchenko, I., & Voskolovich, A. (2017). Intellektual'nye seti na baze FANET [Intelligent networks based on FANET]. *Kommunikatsii i seti TELEKOM [Communications and networks TELECOM], Special issue*, 44–49. Kyiv [in Russian].

8. Stepanenko, Ye., Panchenko, I., & Voskolovych, O. (2018). Osnashchennia ZSU bezpilotnymi aviakompleksamy [Equipping of the Armed Forces with unmanned aerial vehicles]. *Kommunikatsii i seti TELEKOM [Communications and networks TELECOM], Special issue*, 58–64. Kyiv [in Ukrainian].

9. Stepanenko, E., Panchenko, I., & Voskolovich, A. (2018). Organizatsiia bor'by s BPLA [Organization of the fight against UAVs]. *Kommunikatsii i seti TELEKOM [Communications and networks TELECOM], Special issue*, 65–74. Kyiv [in Russian].

10. Fokin, Iu. G. (1985). *Operator-tekhicheskie sredstva: obespechenie nadezhnosti [Operator-technical means: ensuring reliability]*. Moscow [in Russian].

11. Voronin, A. N., Ziatdinov, Iu. K., Kozlov, A. I., & Chabaniuk, V. S. (1999). *Vektornaia optimizatsiia dinamicheskikh sistem [Vector optimization of dynamical systems]*. Kyiv [in Russian].

12. Bodrov, V. A., & Orlov, V. Ia. (1998). *Psikhologiya i nadezhnost': chelovek v sistemakh upravleniia tekhniki [Psychology and reliability: man in the control systems of technology]*. Moscow [in Russian].

13. *Aeronautics Services*. (n.d.). Retrieved from <https://aeronautics-sys.com/home-page/services/>

14. *RAVEN B. Malyi bezpilotnyi litalnyi aparat: Kerivnytstvo z ekspluatatsii [RAVEN B. Small Unmanned Aerial Vehicle: Operation Manual]*. (2016). Trans. from English Hudz, S. M., & Humeniuk, M. O. Zhytomyr: ZhMI [in Ukrainian].

15. «Vega» predstavila obuchaiushchuiu sistemu dlia podgotovki operatorov BpLA [Vega introduced a training system for the training of UAV operators]. (n.d.). *Portal «Voennoe obozrenie» [Military Review Portal]*. Retrieved from <https://topwar.ru/33065-vega-predstavila-obuchayuschuyu-sistemu-dlya-podgotovki-operatorov-bpla.html> [in Russian].

16. Mashkov, O., & Mamchur, Yu. (2018). Obgruntuvannia napriamkiv rozrobky trenazheriv pidhotovky operatoriv dystantsiino-pilotovanykh litalnykh aparativ ekolohichnoho monitorynhu [Substantiation of directions development of simulators and training operators of remote-piloted aircraft at ecological monitoring]. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zv'iazku: zb. nauk. prats [Control, navigation and communication systems. Collection of scientific works], Vol. 3 (49)*, 16–21. Poltava. doi:<https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.3.016> [in Ukrainian].

17. Avtonomnye trenazhery podgotovki operatorov bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Autonomous simulators for training operators of unmanned aerial vehicles]. (n.d.). *Portal «Belvneshpromservis»*. Retrieved from <https://bvpservice.by/catalog/avtonomnye-trenazhery-podgotovki-operatorov-bespilotnykh-letatelnykh-apparatov-0> [in Russian].

18. Avtonomnyi trenazher podgotovki operatora bespilotnogo letatel'nogo apparata [Autonomous simulator for training the operator of an unmanned aerial vehicle]. (n.d.). Retrieved from <http://uavbusel.by/produktsiya-i-uslugi/drugaya-produktsiya/trenazhery-i-stendy/avtonomnyj-trenazher-podgotovki-operatora-bespilotnogo-letatel'nogo-apparata> [in Russian].

19. Anisimov, A. A. (2017). Rekomendatsii po metodike podgotovki sotrudnikov operatorov bespilotnykh letatel'nykh apparatov v organakh gosudarstvennoi bezopasnosti [Recommendations on the method of training employees of unmanned aerial vehicle operators in state security agencies]. In *Sb. dokladov i statei po materialam II nauch.-praktich. konf. "Perspektivy razvitiia i primeneniia kompleksov s bespilotnymi letatel'nymi apparatami"* [Collection of reports and articles on the materials of the II scientific-practical conference "Prospects for the development and application of complexes with unmanned aerial vehicles"]. (pp. 181–182). Kolonna [in Russian].
20. Zlotnikov, K. A., Kondratenko, A. G., & Savchenko, O. I. (2016). Opyt primeneniia unifitsirovannogo uchebno-trenazhernogo kompleksa podgotovki boevykh raschetov nazemnykh punktov upravleniia kompleksov vozdushnoi razvedki s BpLA i aktual'nye voprosy sovershenstvovaniia sredstv avtomatizatsii obucheniia spetsialistov po primeneniiu bespilotnoi tekhniki [Experience application of the unified training complex preparation of combat calculations ground control points of air reconnaissance complexes with UAVs and actual questions at perfection of means automation, training experts on application of unmanned techniques]. In *Doklady i stat'i ezhegodnoi nauch.-praktich. konf. «Perspektivy razvitiia i primeneniia kompleksov s bespilotnymi letatel'nymi apparatami»*. [Collection of reports and articles on the materials of the II scientific-practical conference "Prospects for the development and application of complexes with unmanned aerial vehicles"]. (pp. 83–87). Kolonna [in Russian].
21. Zlotnikov, K. A., & Kudriavtsev, A. N. (2017). Aktual'nye voprosy sozdaniia avtomatizirovannykh sistem podgotovki spetsialistov po upravleniiu kompleksami s bespilotnymi letatel'nymi apparatami [Topical issues of creating automated systems for training specialists in the management of complexes with unmanned aerial vehicles]. In *Sb. dokladov i statei po materialam II nauch.-praktich. konf. «Perspektivy razvitiia i primeneniia kompleksov s bespilotnymi letatel'nymi apparatami»* [Collection of reports and articles on the materials of the II scientific-practical conference "Prospects for the development and application of complexes with unmanned aerial vehicles"]. (pp. 91–97). Kolonna [in Russian].
22. Zlotnikov, K. A., & Prishchepa, Iu. V. (2014). Aktual'nye voprosy sozdaniia avtomatizirovannykh obuchaiushchikh sistem dlia podgotovki operatorov nazemnykh punktov upravleniia kompleksov s bespilotnymi letatel'nymi apparatami [Actual questions of creation for the automated training systems for preparation operators of ground control points complexes with unmanned aerial vehicles]. In *Metodologicheskie aspekty razvitiia meteorologii spetsial'nogo naznachenii, ekologii i sistem aerokosmicheskogo monitoringa : sb. nauch. st. po materialam I Vseross. NPK* [Methodological aspects of development of meteorology of a special purpose, ecology and systems of aerospace monitoring: sb. scientific art. on materials of the I All-Russian NPK]. Voronezh, May 27–28, 2014. (pp. 219–223). Voronezh [in Russian].
23. Osipov, Iu. N., & Ershov, V. I. (2017). Tekhnologiya razrabotki programm podgotovki operatorov bespilotnykh aviatsionnykh sistem [Technology development of training programs for operators of unmanned aerial vehicles]. In *Sb. dokladov i statei po materialam II nauch.-praktich konf. «Perspektivy razvitiia i primeneniia kompleksov s bespilotnymi letatel'nymi apparatami»* [Collection of reports and articles on the materials of the II scientific-practical

conference "Prospects for the development and application of complexes with unmanned aerial vehicles"]. (pp. 248–257). Kolomna [in Russian].

24. Podgotovka operatorov BPLA v VS SShA [Training of UAV operators in the US Armed Forces]. (n.d.). *Portal «Sovremennaiia armiiia» [Portal "Modern Army"]*. Retrieved from <http://www.modernarmy.ru/article/331/podgotovka-operatorov-bpla-v-vs-ssha> [in Russian].

25. Svishcho, V. S. (2016). Metodika provedeniia trenazhei na unifikirovannom uchebno-trenirovochnom komplekse "trenirovka" [Methods of training on a unified training complex "training"]. In *Doklady i stat'i ezhegod. nauch.-praktich. konf. "Perspektivy razvitiia i primeneniia kompleksov s bespilotnymi letatel'nymi apparatami" [Reports and articles of the annual scientific-practical conference "Prospects for the development and application of complexes with unmanned aerial vehicles"]*. (pp. 235–237). Kolomna [in Russian].

26. Seliverstov, D. E. (2016). Algoritm otsenki i opredeleniia napravlenii povysheniia kachestva trenazhernykh kompleksov dlia podgotovki operatorov robototekhnicheskikh kompleksov voennogo naznacheniia [Algorithm for assessing and determining areas for improving the quality of training complexes for the training of operators of robotic complexes for military purposes]. In *Doklady i stat'i ezhegod. nauch.-praktich. konf. "Perspektivy razvitiia i primeneniia kompleksov s bespilotnymi letatel'nymi apparatami" [Reports and articles of the annual scientific-practical conference "Prospects for the development and application of complexes with unmanned aerial vehicles"]*. (pp. 238–243). Kolomna [in Russian].

27. Cherkasov, I. V. (2017). Podgotovka vneshnikh pilotov BpLA [Training of external UAV pilots]. In *Sb. dokladov i statei po materialam II nauch.-praktich. konf. "Perspektivy razvitiia i primeneniia kompleksov s bespilotnymi letatel'nymi apparatami" [Collection of reports and articles on the materials of the II scientific-practical conference "Prospects for the development and application of complexes with unmanned aerial vehicles"]*. (pp. 328–330). Kolomna [in Russian].

I. A. Pilkevych, A. M. Tokar, O. V. Franzhi, R. I. Loboda, V. V. Dmytruk

A TRAINING SYSTEM FOR PREPARING OPERATORS OF AERIAL VEHICLE SYSTEMS

In order to meet the needs of the Armed Forces of Ukraine (AFU) for specialists in the operation of unmanned aerial systems, the Zhitomir Military Institute named by S. P. Korolev deployed training for operators - military pilots. While creating the material and technical base, the issue of developing and introducing into the training process of simulators that would meet the requirements of higher military education training. Development of the scientific training system was carried out on the basis of the list of basic training issues, profound mastery of which is mandatory for the UAV operator's. The training system was developed, manufactured and implemented in the training process, which is built as a schematic-abstracted one to ensure the conditions of effective learning material assimilation. The content basis of the scientific training system is a flat schematic outline of the aircraft, which contains typical onboard equipment of unmanned aerial vehicles and a reconstructed connection scheme of the elements. The power of the onboard equipment is provided from the classroom power supply via a stabilized power supply unit. Operation of the onboard equipment can be controlled from the manual control panel and from the ground control station via the Mission Planner program. The Mission

Planner can also be controlled from the X - Plane flight simulator. In flight simulation mode, the Mission Planner screen displays a map of the flight route, the X-Plane screen displays the view and spatial orientation as well as the corresponding servo drives of the aircraft's steering surfaces and the main engine operation modes. The software of the scientific training system allows planning and adjusting the route and flight program, practicing UAV piloting skills in the flight simulator mode, simulating flight in different weather conditions. The scientific training system includes a two-channel hardware-software oscilloscope which allows to research electric processes in different electric lines of airborne equipment of the aircraft and pair interconnections between them. Functional properties of scientific training system allow to study theoretically and practice practically a wide range of training issues required in training of UAV operators. Up to this circle includes both the issues necessary for mastering drone piloting and the issues necessary for mastering the maintenance and repairs of UAV.

Keywords: *unmanned aircraft complex; unmanned aerial vehicle; training system; flight simulator; specialized software.*