

УДК: 371.694:004:658.336:656.7.071(043.5)

С.П.БОРСУК, канд. техн. наук
Національний авіаційний університет, м. Київ

СИСТЕМНО-ОРГАНІЗАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕСІВ ТРЕНАЖЕРНОЇ ПІДГОТОВКИ АВІАДИСПЕТЧЕРІВ

Враховуючи, з одного боку, вплив авіаційних операторів «переднього краю» на забезпечення безпеки польотів, та, з іншого боку, важливість тренажерної підготовки, відповідні процеси системно розглянуті стосовно авіадиспетчерів. Підготовка розглядається як активна цілеспрямована поліергатична багатоконтурна система. Застосовуючи діаграми Вена визначена взаємодія інформаційних моделей під час тренажерної підготовки авіадиспетчерів.

Учитывая, с одной стороны, влияние авиационных операторов «переднего края» на обеспечение безопасности полетов, и, с другой стороны, важность тренажерной подготовки, соответствующие процессы системно рассмотрены касательно авиадиспетчеров. Подготовка рассматривается как активная целеустремленная полиэргатическая многоконтурная система. Применяя диаграммы Вена, определено взаимодействие информационных моделей во время тренажерной подготовки авиадиспетчеров.

Taking into account influence of the first line operators on the flight safety and importance of special on-simulator training the corresponding processes are observed from the air traffic controller point of view. The on-simulator training is considered to be active polyergatic system with multiple circuits. Information models interaction during on-simulator training is described with help of Venn diagrams.

Ключові слова: вплив людського чиннику та тренажерної підготовки на безпеку польотів при управлінні повітряним рухом, активні цілеспрямовані поліергатичні багатоконтурні системи, діаграми Вена, взаємодії інформаційних моделей.

Людський чинник (ЛЧ), як одну з важливих складових процесу експлуатації авіаційної техніки (АТ) поряд із метеорологічним, аеродинамічним, навігаційним та комунікаційним почали визнавати вже давно [1]. Спочатку у його склад входили лише особистісні властивості пілотів літальних апаратів (ЛА), але поступово його положення поширилися на всіх членів екіпажу, а потім і на диспетчерські служби аеропортів [2]. На асамблеї ІКАО 1986 р. резолюцією А26-9У ЛЧ було визнано найактуальнішим питанням міжнародного масштабу. Там, зокрема наголошувалося підвищення безпеки польотів (БП) в авіації через підвищення відповідальності та набуття корисного досвіду. Вимоги до включення ЛЧ до тренування персоналу в цивільній авіації (ЦА) було наведено в 1989 р. у восьмому виданні першого додатка ІКАО [3]. У результаті було розроблено циркуляр 227-AN/136, у якому регламентується процес розроблення й уведення в дію тренувальних курсів стосовно ЛЧ для всієї ЦА. Тільки ІКАО під час дослідження проблеми ЛЧ видало три номери журналу, що були присвячені його вивченню в авіації й керуванню людськими помилками [4-27]. Окрім цього існує декілька циркулярів стосовно

досліджуваного питання ЛЧ [28, 29]. До переліку складових тем ЛЧ належать: поліпшення техніки CRM (Cocpit Resource Managemnt – Керування ресурсами екіпажу) [20, 28, 30]; ЛЧ для недосвідчених пілотів [6]; командне тренування для кількох екіпажів [7], навички для ефективного прийняття рішень (ПР) [9]; фокусування на організаційних факторах, що можуть впливати на БП [12]; анонімна система повідомлень про інциденти (шлях до розуміння того, що якісний зворотний зв'язок щодо надзвичайних ситуацій важливіший, ніж пошуки винного) [14]; вплив культурних властивостей на БП [14, 15]; новий погляд на парадигму БП [24].

Одним із найкращих проактивних засобів попередження негативного впливу ЛЧ є тренажерна підготовка (ТП). Тренажери як один з інструментів навчання вже давно та успішно використовуються людиною [31] і завжди були одним із місць втілення новітніх наукоємних технологій [32]. І оскільки процес професійної підготовки (ПП) авіаційних фахівців складається з багатьох елементів, кожен з яких має свою мету, то тренажер як елемент навчального процесу та тренування за допомогою симуляції як процес відіграють важливу роль у підготовці авіаційних фахівців протягом навчання, під час підвищення кваліфікації та перевірки знань, умінь і навичок, та на фінальних етапах ПП [33].

Тренажери та тренажерні комплекси завжди були необхідною ланкою в ПП будь-якого фахівця, який має працювати зі складною технологічною системою. ЦА, як галузь, що використовує найкращі надбання науково-технічного прогресу й потребує від авіаційних фахівців досконалого знання АТ й можливих надзвичайних ситуацій та шляхів їх виправлення під час польоту, ремонту, вдосконалення, постійно користується новими можливостями тренажерів. За час існування було накопичено значну кількість інформації щодо можливого виникнення надзвичайних та аварійно-небезпечних ситуацій, і саме завдяки тренажерам і тренажерним комплексам існує можливість відтворювати такі ситуації на землі в безпеці, проробляти можливі сценарії виходу з подібних ситуацій і надавати можливості для тренування. Серйозність питання використання тренажерів, або тренажерних комплексів при підготовці оператора настільки наочна, що навіть існує спеціальна документація ІКАО для оцінювання якості авіаційного тренажера [33]. Тож не викликає сумнівів, що тренажер, як засіб навчання авіаційного фахівця, та відповідні процедури завжди потребують вдосконалення.

У розробці тренажерів для пілотів постійно проводиться велика кількість досліджень, які дозволяють зокрема вивчати та покращувати ергономічні властивості тренажерів. [34, 35]. Однак дослідження тренажерів для наземних служб, в тому числі диспетчерських, проводяться у меншому ступені та здебільшого ці дослідження стосуються апаратної частини,

зокрема систем імітації модельованого процесу. Не викликає сумніву той факт, що хоча диспетчери й не приймають напряду участь у керуванні повітряними судами (ПС), але саме їх рішення можуть стати причиною жажливих катастроф. Цей недолік має бути усунено.

Таким чином, виходячи з наведеного *метою* цієї статті є створення багатоконтурної моделі тренажерної підготовки для диспетчерської служби, спираючись на дослідження стосовно ергономічних властивостей тренажерів для пілотів та дослідження такого тренажера, як активної системи.

Розробка структурно-функціональної схеми тренажерної підготовки авіадиспетчерів. У простішому варіанті розглядається тренажер що складається з двох контурів (рис. 1) [34]: навчаючого контуру «інструктор – «тренажёр (ПС) – екіпаж»» і навчального контуру управління «екіпаж – тренажер (ПС)». Така схема описує тренажер, як ергатичну систему керування процесом навчання, яка характеризується наявністю цілі керування людини у схемі, засобів збору, обробки та передачі інформації, засобів керування об'єктом.

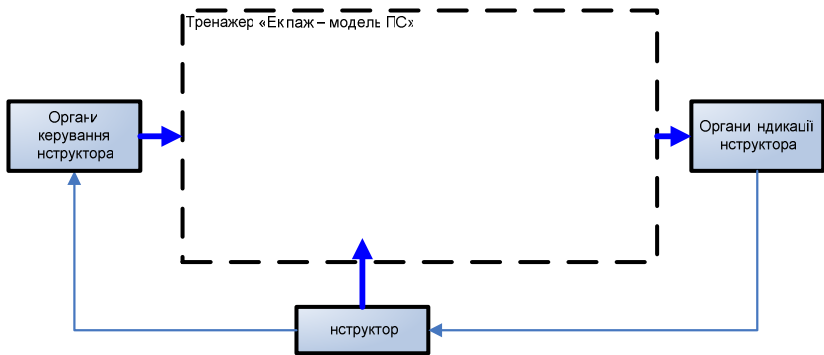


Рис. 1 – Структурно-функціональна схема тренажера «інструктор – «тренажёр – екіпаж»»

Внутрішній контур керування «екіпаж – тренажер» містить в собі «екіпаж», як об'єкт керування та модель ПС, як суб'єкт керування. Зовнішній контур «інструктор – «тренажёр – екіпаж»» містить внутрішній контур «екіпаж – тренажер», як суб'єкт керування та «інструктора», як об'єкт керування. Ця схема дозволяє проводити аналіз взаємодії учасників процесу навчання та робити висновки щодо прийняття або відхилення стратегій навчання. У подальших роботах ідея полієргатичності тренажерів та їх дослідження було розвинуто науковцями О.М. Ревою, О.М. Дмітрієвим шляхом додавання у схему ролі «пілота-інструктора»

(рис. 2) [35].

Слід відмітити, що пілот-інструктор на відміну від інструктора тренажера не має інформації про концептуальну модель польоту, а орієнтується у ситуації на такі ж самі показники, що й екіпаж. Це наближує його знання до знань екіпажу, звичайно з урахуванням його ролі та участі у проектуванні суцільного тренажера та плануванні тренажерних завдань. Окрім того, його роль обмежена тільки консультацією, тобто він не має засобів впливу на екіпаж примусового характеру.

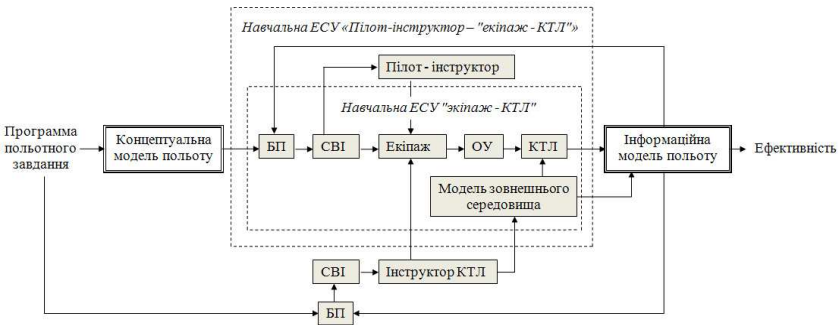


Рис. 2 – Структурно-функціональна схема тренажера «інструктор тренажера – пілот-інструктор – Тренажер – екіпаж»:
 СВІ – система відображення інформації, БП – блок порівняння,
 ОУ – органи управління, КТЛ – комплексні тренажери літака.

Будемо розрізняти три контури: внутрішній («екіпаж – тренажер»), середній («пілот-інструктор – тренажер – екіпаж») та зовнішній («інструктор тренажера – пілот-інструктор – тренажер – екіпаж»). У внутрішньому контурі управління система «екіпаж – тренажер» член «екіпажу» є об'єктом управління. У середньому та зовнішньому – вони виступають як суб'єкт управління, а об'єктом служить «тренажер». У обох випадках тренажер розглядається як апаратна складова схеми «інструктор тренажера – пілот-інструктор – тренажер – екіпаж». При цьому вже визначено, що похибками, які обов'язково з'являються при відтворенні системи «екіпаж – ПС» за допомогою моделі «екіпаж – тренажер» можна знехтувати [36-42].

Блок «пілот-інструктор» дозволяє вирішити та компенсувати такі проблемні питання, як: організація структури взаємодії інструктора і навчального контуру управління «екіпаж – тренажер»; організація структури управління «тренажера» учбовим екіпажем; організація взаємовідношення людини і апаратної складової системи «екіпаж – тренажер»; забезпечення розвитку «правильних» умінь у членів екіпажу; примушення чле-

нів екіпажу прикладати найбільшу кількість зусиль. Додатковий навчаючий контур дозволяє вирішити (хоча інколи лише частково) ці проблеми. У результаті члени екіпажу, що тренуються, можуть отримати консультацію та допомогу в процесі навчання, а також полегшується ідентифікація причин помилок при експлуатації ПС. Знаходження пілота-інструктора в кабіні тренажера в такому випадку стає актуальним, особливо на етапі початкового навчання.

Відмітною особливістю системи «інструктор тренажера – «пілот-інструктор – «тренажер – екіпаж»» відношення даної системи до класу систем без наслідків. Такі системи характеризуються тим, що тільки їх поточний стан визначає її поведінку на наступний крок, а минулі стани не мають впливу на поведінку. У реальних системах наслідок має місце, але він не розповсюджується на відносно великий період часу. При цьому залежно від випадку динаміка розвитку подій може мати стохастичний і нестохастичний характер [43].

Усе вищевикладене є результатом роботи у напрямку тренажерів для пілотів ПС. Але тренажери, що використовуються для навчання операторів наземних служб управління повітряним рухом (УПР) мають деякі особливості, що притаманні тільки і тільки їм. А це, в свою чергу вимагає проведення окремого дослідження та аналізу. Спираючись на результати досліджень щодо двох- та трьохконтурної структурної схеми тренажера [35], розробимо подібну схему з урахуванням специфіки підготовки операторів наземних служб УПР, а саме авіадиспетчерів (А/Д).

Перше, що припадає до уваги – це більша кількість учасників процесу навчання у випадку професійної підготовки (ПП) А/Д. У таблиці наведено відповідність існуючих ролей у тренажері для екіпажу ПС ролям у тренажері наземних служб УПР.

Порівняння ролей під час тренажерної підготовки пілотів і авіадиспетчерів

Ролі у тренажері під час підготовки	
екіпажів повітряних суден	авіадиспетчерів
Інструктор тренажера	Інструктор тренажера
Пілот-інструктор	Інструктор – старший оператор служби управління повітряним рухом
Екіпаж	Оператори служб управління повітряним рухом
	«Пілоти» керованих повітряних суден

Додаткова роль «пілотів» ПС забезпечує оператору максимально подібну імітацію спілкування з реальним пілотом ПС. Ця роль необхідна для повноцінної імітації, оскільки саме під час спілкування з реальними пілотами оператор впливає на ситуацію у своїх зонах відповідальності. На відміну від тренажерів для пілотів, тренажер для А/Д сам по собі не

може забезпечити повноцінне наповнення моделей зовнішнього середовища. Як це буде зазначено далі, велику роль у цьому відіграє відмінність у зовнішніх середовищах для «пілота» та для оператора, як це показано на рис. 3.

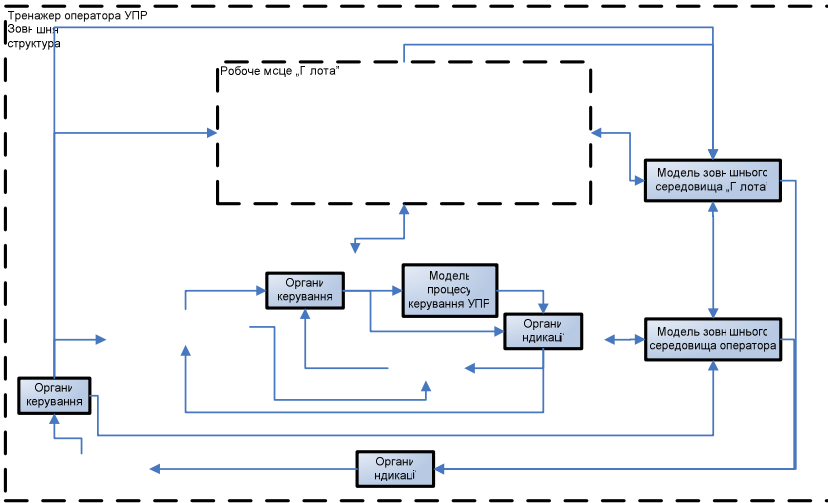


Рис. 3 – Структурно-функціональна схема тренажера для авіадиспетчерів

Розглянемо детальніше ролі у тренажері оператора УПР та їх функції. Керування процесом ТП є основною функцією інструктора-керівника ПП. Керування виконується шляхом обирання одного з багатьох тренажерних сценаріїв, які містять групи завдань різної складності для оператора. Також інструктор-керівник може відповідати за роботу «пілота» самостійно працюючи на його автоматизованому робочому місці, або вказуючи – яке саме завдання, сценарій, чи їх різновид повинні бути втілені у поточний момент часу. Інструктор-керівник отримує повноцінну інформацію про стан обох моделей середовища. Він напряму впливає на їх параметри та може вплинути на роботу інструктора-старшого оператора, операторів, «пілотів».

Інструктор-старший оператор по суті є одним із операторів. Він може втрутитися у процес роботи операторів у випадках: передбачених посадовими інструкціями; прийняття операторами невірних рішень; появи надзвичайної конфліктної ситуації, яку оператор не здатен вирішити самостійно, тощо. Його основною функцією є нагляд за операторами та перевірка правильності їх рішень та дій. Інструктор-старший оператор отримує таку ж саме інформацію, як і звичайний оператор і може вплинути на самого оператора, або на органи керування оператора.

Оператор отримує інформацію з моделі зовнішнього середовища і впливає на органи керування. Основною функцією оператора є правильне виконання завдань, які надаються тренажером. Для цього оператор аналізує стан середовища за показниками індикаторів і впливає на середовище шляхом використання органів керування. Окрім цього оператор постійно спілкується з «пілотом», отримуючи під час взаємодії з ним інформацію про стан його зовнішнього середовища і впливає на пілотів згідно нормативних документів [44]. Особливістю роботи оператора є його одночасна взаємодія з декількома «пілотами». Звичайно термін «одночасність» тут використовується як показник контролю пересувань декількох літальних апаратів одним оператором одночасно. В кожен окремий момент часу він може спілкуватися з одним «пілотом», утримуючи інших на зв'язку.

Роль «пілота» у тренажері має подвійний характер. З одного боку він не є основним учасником процесу ПП, оскільки його можна замінити програмою з функцією розпізнавання людської промови. З іншого боку, саме «пілот» приймає участь у наданні оператору тренажерних сценаріїв та привносить до них елемент випадковості. За допомогою органів керування «пілот» впливає на свою окрему модель середовища та отримує інформацію як від моделі, так і від оператора. Причому від моделі «пілот» отримує тільки інформацію про стан середовища, а від оператора здебільшого запити про стан середовища пілота або вказівки щодо дій «пілота».

Умовно належність інформації до моделі зовнішнього середовища оператора та моделі зовнішнього середовища «пілота» краще за все показати за допомогою діаграм Вена [45,46]. На рис. 4 поданий перетин множин інформації моделі зовнішнього середовища оператора та множини інформації моделі зовнішнього середовища «пілота», множину інформації, яка надається оператору (також інструктору-старшому оператору), множину інформації, яка надається «пілоту» та множину інформації, яка надається інструктору-керівнику навчання.

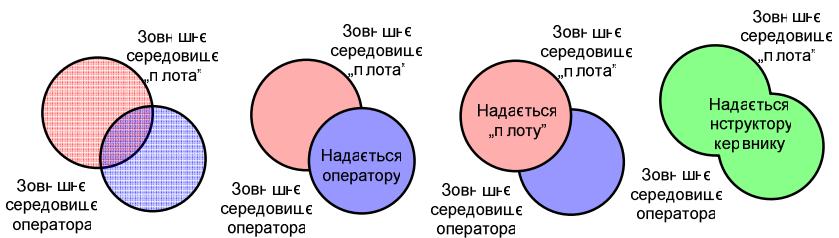


Рис. 4 – Застосування діаграм Вена для ілюстрації інформаційних моделей, що взаємодіють під час тренажерної підготовки авіадиспетчерів

Модель зовнішнього середовища оператора отримує інформацію не тільки від моделі зовнішнього середовища «пілота», тому деяка інформація, що надається оператору залишається прихованою від «пілота». Навпаки, не уся інформація, яка надається «пілоту» надалі поступає до оператора.

Визначимо яка саме інформація передається між елементами тренажера та кожною із ролей. Схема інформаційних потоків у тренажері наведена на рис. 5. Тут інструктор-керівник процесу навчання надсилає керівну інформацію, а отримує довідкову інформацію.

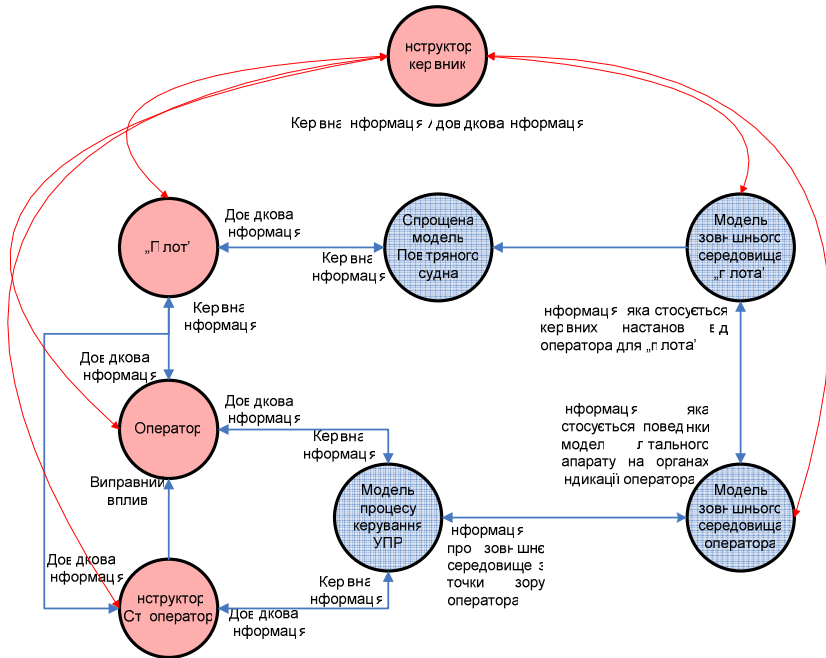


Рис. 5 – Схема інформаційних потоків на диспетчерському тренажері

Тренажерна підготовка операторів УПР як активна система. В працях [1, 36, 47] було визначено чотири особливі риси ТП, як процесу ергатичної системи керування. Цими рисами є наявність: цілі керування; людини, як суб'єкту керування; засобів збору, обробки та передачі інформації; органів керування об'єктом. Особливістю, яка відрізняє тренажер для ПП особового складу А/Д УПР, є постійна та обов'язкова робота А/Д із людьми, на відміну від пілота, який постійно взаємодіє тільки з технікою. Наявність у тренажерній системі таких активних елемен-

тів, як інструктор-керівник, «пілот», інструктор-оператор та оператор дозволяє віднести її до так званих активних систем.

Згідно визначення [48, 49] активною є така система управління, в якій суб'єкти управління мають свободи вибору свого стану. Такою свободою володіє кожен з учасників процесу ТП не зважаючи на те, що їх фінальна ціль співпадає [50]. Окрім того, якщо у випадку ТП знання та уміння оператора, як кінцева ціль, важливі для кожного її учасника, то у випадку реальної ситуації цілі А/Д, пілотів, авіакомпаній та інших учасників можуть сильно відрізнитися. А/Д важливо провести ПС крізь свою зону відповідальності без надзвичайних випадків, пілоту важливо довести літак до пункту призначення якнайшвидше та якнайбезпечніше, авіакомпанії важливий максимальний прибуток за один рейс. У такій ситуації можливі конфлікти цілей, створюючи потенційно небезпечну ситуацію.

Розглянемо модель активної системи «інструктор-тренажера–«пілот»», спираючись на такі параметри: учасники, структура, порядок функціонування, кількість періодів функціонування, надання переваг учасниками, множини станів та стратегій учасників, інформованість учасників [51]. Серед учасників будь-якої системи, що розглядається, можна окремо виділити «центр», «зовнішнє середовище» та інші елементи [52]. У даному випадку систему можна вважати централізованою відносно оператора. Не зважаючи на те, що безліч операторів по чергово працюють із умовною безліччю «пілотів» залежно від їх знаходження в тій чи іншій зоні відповідальності, на зв'язку з одним оператором одночасно може знаходитись багато «пілотів», але не навпаки.

У випадку взаємодії 1 : 1 зв'язок між оператором та «пілотом» поданий на рис. 3. Однак, більш звичайною є ситуація, коли один оператор працює з багатьма «пілотами» одночасно, що показано (скорочено) на рис. 6.

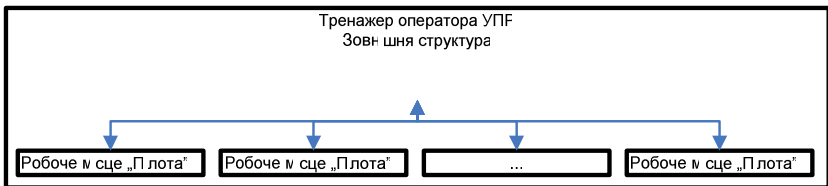


Рис. 6 – Загальна схема взаємодії авіадиспетчера з кількома літаками на тренажері

Якщо пілот напряму працює з органами індикації та керування, які дозволяють йому оцінити стан ПС та виконати належні дії для досягнення цілі, то А/Д по суті працює здебільшого з пілотами та ставить їм завдання.

Ці завдання в свою чергу пілот розділяє на складові та виконує крок за кроком, приводячи тим самим А/Д до досягнення бажаного результату. Фактично А/Д впливає на стан багатьох ПС здебільшого шляхом впливу на пілотів. І ІКАО надала чітке роз'яснення [44], у яких випадках пілот повинен виконувати накази А/Д, а коли він може вимагати альтернативного наказу.

Зовнішнє середовище для тренажера такого типу також відрізняється від того, що застосовується у тренажерах для пілотів. По-перше воно розділено на дві частини. Першою частиною є середовище у якому знаходиться оператор, а другою частиною є середовище у якому працює «пілот». Ці середовища відображають різні параметри для різних ролей у системі, хоча між ними існує взаємодія та взаємний обмін загальною інформацією. Наприклад, інформація про погоду навколо ЛА у повітрі для пілота відображається не тільки як температура, вологість та наявність опадів. У той самий час А/Д отримує цю інформацію саме у такому вигляді. Інформація про сусідні ПС не попадає до пілота у тому обсязі, яким володіє А/Д, а інформація про стан систем ПС попадає до А/Д у обмеженому вигляді. Звичайно повноцінний варіант такої інформації можна передати під час спілкування. По-друге дуже важливо те, що група ПС, з якими одночасно працює А/Д сама по собі формує навколишнє середовище як для нього самого, так і для кожного з пілотів. Таке формування подано на рис. 7.

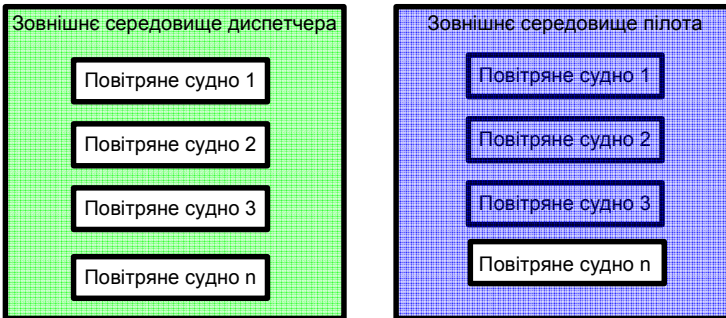


Рис. 7 – Формування зовнішнього середовища для екіпажу і авіадиспетчера

Структура тренажера близька до класичної у тому сенсі, що вона дворівнева, віяльна, з унітарним контролем, слабко зв'язана [53]. Дійсно, взаємодія пілотів між собою відсутня та вони не можуть впливати один на одного так, як на своє ПС. Однак важливою відмінністю від класичної схеми є те, що кількість учасників пілотів у структурі – це

динамічна величина, яка змінюється. Відповідно змінюватиметься й кількість «пілотів», з якими одночасно працює оператор на тренажері. Одні пілоти лишають зону відповідальності А/Д, інші навпаки в неї потрапляють. Ці зміни не залежать повністю від А/Д або пілотів. Здебільшого ці зміни викликані роботою сусідніх диспетчерів, А/Д що призначають маршрути ЛА та від стану зовнішнього середовища, зокрема погоди. У окремих випадках також можуть траплятися надзвичайні та аварійні ситуації.

Варто зазначити, що авіакомпанії зацікавлені в обмеженні кількості рейсів залежно від наявних у них ресурсів (ПС та екіпажів), в той час, як диспетчерська служба зацікавлена в обмеженні кількості рейсів зверху залежно від пропускну здатності аеропорту, параметрів зон відповідальності, особливостей УПР тощо. З цієї точки зору їх взаємовідносини можна представити у вигляді гри з обмеженою кількістю станів, задовільних для кожного учасника (так званими точками рівноваги Неша [54]) але розгляд цього незвичайно цікавого для теорії і практики УПР питання не є метою даної статті.

Порядок функціонування системи описує характеристики процесу обирання учасниками своїх стратегій поведінки. При цьому важливо визначити три складові: кількість разів обирання учасниками стратегій, одночасність або черга прийняття рішень (ПР), наявність взаємного впливу [55, 56]. Під час УПР рішення А/Д щодо стратегії приймаються багато разів усіма учасниками повітряного руху. ПР є результатом постійного та безперервного процесу сприйняття та обробки інформації, проте саме по собі воно стає прийнятним у певний момент часу, коли учасник втілює черговий крок своєї стратегії. Таким чином можна визначити процес вибору стратегії, як дискретний. Також важливим є наявність серед стратегій так званого виродженого варіанту, коли один з учасників повітряного руху обирає стратегію бездіяльності. Для ТП така ситуація зберігається.

Усі рішення, які прийняті учасниками повітряного руху можуть бути одночасними, або почерговими залежно від ситуації. У випадку ТП, загальна ціль якої є ПП А/Д, таке твердження не відповідає дійсності. Оскільки саме ПП А/Д та підвищення рівня його умінь та навичок є цілями процесу підготовки, цілком логічно, що для досягнення цих цілей деякі рішення А/Д будуть очікуваними без додаткових рішень з боку «пілотів», інших А/Д або інструктора-керівника процесом ПП. З іншого боку в реальному середовищі таке очікування не існує, отже в процесі ТП порядок роботи буде наближатися до реального. Таким чином, ПП А/Д буде проводитись у трьох режимах роботи: початковому, коли рішення приймаються строго по черзі; кінцевому, коли рішення усіх учасників процесу ТП можуть бути прийняті одночасно; змішаному, коли проміжки очіку-

вання рішення від А/Д та проміжки одночасного ПР змінюватимуть один одного. Схеми ПР у кожному із зазначених режимах подані на рис. 8-11.

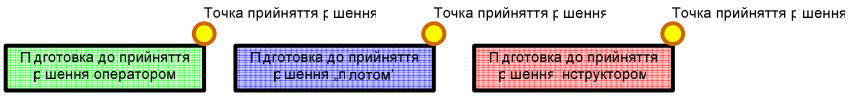


Рис. 8. – Позначення процесів прийняття рішень учасниками процесу тренування на диспетчерському тренажері

Для наведених рис. 8-11 слід зазначити таке. Ролі А/Д та інструктора-оператора були об'єднані; значення часу ПР не вказані для жодного з процесів ПР, оскільки їх тривалість та довжина не відіграють важливої ролі.

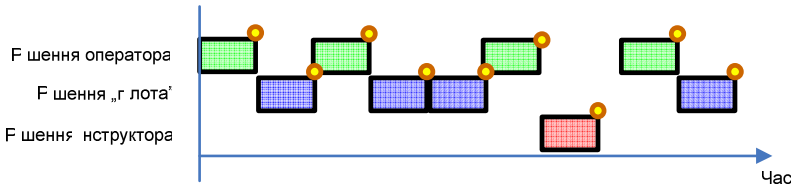


Рис. 9. – Прийняття рішення учасниками процесу тренування на диспетчерському тренажері у початковому режимі

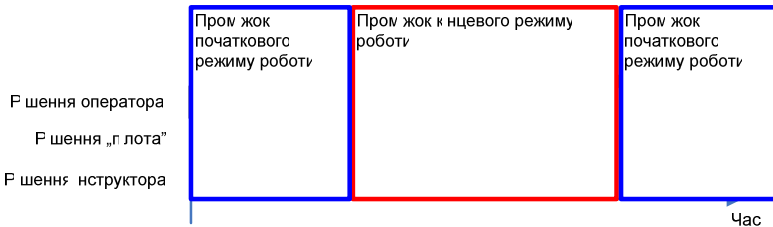


Рис. 10. – Прийняття рішення учасниками процесу тренування на диспетчерському тренажері у змішаному режимі

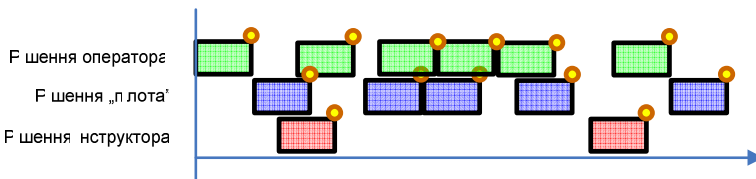


Рис. 11. – Прийняття рішення учасниками процесу тренування на диспетчерському тренажері у кінцевому режимі

Взаємний вплив у процесі вибору стратегії безумовно існує як у випадку реальної ситуації, так і у випадку тренування. Пілоти постійно

спілкуються з диспетчером, обмінюючись інформацією. Однак, окремо зупинятися на цьому питанні в ракурсі цієї статті немає сенсу. Частково це питання розглянуто далі у статті.

Кількість періодів функціонування тренажера залежить від закладеного сценарію. У загальному випадку, спираючись на параметри реального процесу керування повітряним рухом, можна стверджувати, що кількість періодів прямує до нескінченності. Від початку роботи диспетчерської служби аеропорту ПС постійно заходять на посадку та виходять на зліт. Процес УПР аеропорту може припинитися тільки за умов, які змушують закрити аеропорт для зльоту та посадки.

Надання переваги учасником по суті є вибором однієї з багатьох доступних на поточний момент стратегій з урахуванням результатів цільової функції. Незалежно від ситуації для А/Д важливо звести кількість авіаційних пригод (АП) до нуля, а у разі відпрацювання реакції на АП звести до нуля втрати (як людські, так і майнові). Такий вибір неможливий без аналізу учасником УПР наслідків кожного з можливих результатів доступних йому стратегій.

Визначимо, що:

Ξ – це множина стратегій, які може обрати учасник УПР;

s – окрема стратегія;

n – загальна кількість стратегій;

$f(s)$ – функція, яка визначає результат стратегії на поточному етапі вибору;

A – функція результату реалізації послідовності стратегій обраних учасником УПР;

Ψ – прогнозована послідовність стратегій обраних учасником у майбутньому;

r – кількість прогнозованих майбутніх кроків;

Ψ – множина різноманітних прогнозованих послідовностей стратегій;

N – кількість цих множин;

Φ – множина стратегій вже обраних учасником;

G – множина цілей учасників;

g – окрема ціль одного учасника;

L – кількість учасників УПР.

Якщо для окремого учасника УПР існує $\Xi = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ та $f(s)$ визначена, й має задовільний результат, то обов'язковою умовою для можливості надання переваги є: $\forall s \exists [f(s_i) \neq f(s_j)]$, $i, j = \overline{1, n}$. Обрана

функція в свою чергу повинна задовольняти умові $A(\psi) \rightarrow 0$, та $\psi = \{s_1, s_2, \dots, s_r\}$, якщо приймати за ідеальний стан нульову кількість АП. Вказана пара формул визначає можливість надання переваги та її обирання для найпростішого варіанту. Однак, зазвичай учасники процесу УПР ознайомлені з цілями кожного з них або мають хоча б приблизне уявлення про такі цілі. Окрім того, вони здатні не тільки аналізувати результати поточного вибору стратегії, але й прогнозувати можливий вибір стратегій іншими учасниками та отриманий результат. Уявимо цілі L учасників УПР як $G = \{g_1, g_2, \dots, g_L\}$ та множину вже зроблених виборів стратегій i -м учасником, як ϕ_i . Тоді цільова функція, що включає в себе не тільки аналіз результату власного вибору i -го учасника але й можливі вибори інших учасників, прийме вигляд:

$$F_i(s_i, G, \phi_1, \phi_2, \dots, \phi_L, \Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_L),$$

де $\Psi_j = \{\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_N\}$ – це множина прогнозованих послідовностей стратегій, обраних j -м учасником у майбутньому; $\phi_j = \{s_p, \dots, s_{-1}, s_0\}$ – множина стратегій обраних j -м учасником у минулому, де s_p – перша обрана стратегія, $j = \overline{1, L}$, $j \neq i$.

Множини стратегій учасників вже згадувались, і як окрема частина процесу ПР вони вимагають додаткової уваги. Для кожного учасника УПР множина стратегій Ξ може бути унікальною та неповторною. Її склад змінюватиметься залежно від стратегій, обраних усіма учасниками УПР. Кількість стратегій може збільшуватися або зменшуватися відповідно до технічних можливостей ПС та інших властивостей реального світу. Впливовими чинниками є кількість пального, модель ПС, ландшафт, тощо. Ці фактори строго обмежують можливий вибір стратегій, оскільки вони мають вплив на ситуацію незалежно від бажання учасника. На відміну від таких факторів, які можна назвати природними, існують чинники, які залежать від рішень інших учасників УПР та змінюють множину доступних стратегій лише наклавши на неї штучні обмеження. Такими факторами можуть бути накази А/Д для пілотів. За бажанням пілот може знехтувати цими наказами без шкідливого впливу на БП, тож вони є штучно нав'язаними йому обмеженнями. З іншого боку, деякі обмеження є штучними по формі, але зобов'язують учасника відмітати частину доступних йому стратегій. Таким обмеженням є рішення пілота про виконання посадки, або про виконання ще одного круга над

аеродромом. При прийнятті пілотом такого рішення А/Д задля збереження високого рівня БП ігнорує доступні йому стратегії, що призначені для підтримки протилежного рішення пілота.

Для спрощення не будемо робити різниці між двома типами обмежень, наведених вище. Тобто, уявимо єдину множину обмежень, накладених на j -го учасника як R_j . Частково ці обмеження накладені природно, частково іншими учасниками. Це можна уявити, як $R_j = \{R_j^0, R_j^I, \dots, R_j^L\}$, де R_j^0 – множина обмежень, накладені природно, а $\{R_j^I \dots R_j^L\}$ – це множини обмежень, накладених кожним учасником включаючи учасника, на котрого ці обмеження накладаються. Оскільки обмеження, накладені окремим учасником залежать від його обраної стратегії, то попередню формулу можна подати, як $R_j = \{R_j^0, \mathfrak{R}(\phi_j^I), \dots, \mathfrak{R}(\phi_j^L)\}$, де \mathfrak{R} – це функція, що визначає обмеження залежно від множини вже обраних учасником стратегій, $j = \overline{I, L}$.

Інформованість учасників відіграє важливу роль при прийнятті ними рішень. Так, наприклад інформація, якою володіє один пілот не обов'язково є у іншого пілота, хоча А/Д може й володіти нею. У тренажері такий розподіл трохи змінюється. Кожна з ролей володіє певною частиною загальної інформації, як це вже було показано на рис. 4. На доданок до зазначеного вище можна додати, що «пілоти» володіють усією сукупністю інформації на відміну від А/Д. Інформованість «пілотів» близька до інформованості інструктора-керівника процесом навчання, або навіть дорівнює їй.

Розглянуті загальні процеси ТП А/Д являють собою яскравий приклад активної системи. Такий розгляд проведений вперше, що є значним внеском до питань досліджень авіаційних тренажерів. Також варто зазначити, що вперше було побудовано структурно-функціональну схему ТП для А/Д УПР на базі досліджень тренажерів для пілотів.

Подальші дослідження слід проводити в напрямку моделювання тренажерного процесу А/Д у вигляді гри з обмеженою кількістю станів, задовільних для кожного учасника з так званими точками рівноваги Неша.

1. Orlady H.W. Airline pilot training programmes have undergone important and necessary changes in the past decade [Текст] / Harry W. Orlady // ICAO Journal. – 1994. – vol. 49 #3. – P. 5-10.

2. Роль человеческого фактора при техническом обслуживании и инспекции воздушных судов [Текст] // Человеческий фактор: сборник материалов № 12. Циркуляр ИКАО 253-АН/151. – Монреаль: ИКАО, 1995. – 56 с.

3. Johnston A.N. Human Factors training for aviation personnel [Текст] / capt. A.N. Johnston, capt. D.E. Maurino // ICAO Journal. – 1990. – vol. 45. – №5. – P. 16-19.
4. Rochat P. Headed in the right direction [Текст] / Dr. Philippe Rochat // ICAO Journal. – 1993. – vol. 48. – №7. – P. 7.
5. Helmreich R.L. Future directions in crew resource management training [Текст] / Robert L. Helmreich. // ICAO Journal. – 1993. – vol. 48. – №7. – P. 8-9.
6. Telfer R.A. Teaching of human factors to the ab initio student pilot [Текст] / Ross A. Telfer. // ICAO Journal. – 1993. – vol. 48. – №7. – P. 10-13.
7. Johnson N. Integrating human factors training into ab initio airline pilot curricula [Текст] / capt. Neil Johnson. // ICAO Journal. – 1993. – vol. 48. – №7. – P. 14-17.
8. Wiener E.L. Cockpit resource management and flight training for the advanced-technology cockpit [Текст] / Earl L. Wiener. // ICAO Journal. – 1993. – vol. 48. – №7. – P. 18-19.
9. Orasanu J. Lessons from research on expert decision making on the flight deck [Текст] / Judith Orasanu. // ICAO Journal. – 1993. – vol. 48 #7. – P. 20-22.
10. Commission for the Accident Investigation. Conclusions from the report on the CFIT accident near Kathmandu / Commission for the Accident Investigation [Текст] // ICAO Journal. – 1993. – vol. 48. – №7. – P. 23-26.
11. Howell J. The challenges ahead [Текст] / Jack Howell. // ICAO Journal. – 1996. – vol. 51. – №8. – P. 4-5.
12. Westrum R. Human factors experts beginning to focus on organizational factors in safety [Текст] / Ron Westrum. // ICAO Journal. – 1996. – vol. 51. – №8. – P. 6-7.
13. Sarter N.B. Human errors are symptoms of a mismatch between pilots machines and operating environment [Текст] / Nadine B. Sarter. // ICAO Journal. – 1996. – vol. 51. – №8. – P. 9-10.
14. O'leary M. Confidential incident reporting system create vital awareness of safety problem [Текст] / Mike O'leary, Sheryl L. Chappell. // ICAO Journal. – 1996. – vol. 51. – №8. – P. 11-13.
15. Helmreich R.L. Research project evaluates the effect of national culture on flight crew behavior [Текст] / Robert L. Helmreich, Ashleigh C. Merrit, Paul L. Sherman. // ICAO Journal. – 1996. – vol. 51. – №8. – P. 14-16.
16. Meshkati N. Cultural factors influencing safety need to be addressed in design and operation of technology [Текст] / Najmedin Meshkati. // ICAO Journal. – 1996. – vol. 51. – №8. – P. 17-18.
17. Pariès J. Human factors training initiative that first emerged in 1970s has reached maturity [Текст] / Jean Pariès. // ICAO Journal. – 1996. – vol. 51. – №8. – P. 19-20.
18. Bent J. Flight training efforts would benefit from more flexible aviation regulatory structure [Текст] / John Bent. // ICAO Journal. – 1996. – vol. 51. – №8. – P. 21-22.
19. Kotaite A. ICAO providing the tools and leadership eeded for enhancing safety worldwide [Текст] / dr. Assad Kotaite. // ICAO Journal. – 1999. – vol. 54. – №5. – P. 4-5.
20. Helmreich R.L. CRM training primary line of defence against threats to flight safety, including human error [Текст] / Robert L. Helmreich. // ICAO Journal. – 1999. – vol. 54. – №5. – P. 6-10, 29.
21. Graeber R.C. Tools developed by aircraft builder designed to help airlines manage human error [Текст] / R. Curtis Graeber. // ICAO Journal. – 1999. – vol. 54. – №5. – P. 11-14, 27.
22. European organisation for the safety of air navigation. New concept in human factors training develops controllers' skills at efficient teamwork / European organisation for the safety of air navigation. [Текст] // ICAO Journal. – 1999. – vol. 54. – №5. – P. 15-17, 26-27.
23. Vincent A. Airport operators and regulators need to more completely address human factors issues [Текст] / Alex Vincent. // ICAO Journal. – 1999. – vol. 54. – №5. – P. 18-19, 27-28.

24. Pariès J. Shift in safety paradigm is key to future success in reducing air accidents [Текст] / Jean Pariès. // ICAO Journal. – 1999. – vol. 54. – №5. – P. 20-22, 28.
25. Makrinov V. Human factors programe introduced in parallel with CNSIATM systems implementation [Текст] / Viktor Makrinov. // ICAO Journal. – 1999. – vol. 54. – №5. – P. 23, 28-29.
26. ICAO update. Human error a warning flag for regularors and managers, Council President tells safety conference [Текст] / ICAO update. // ICAO Journal. – 1999. – vol. 54. – №5. – P. 24-26.
27. Weisman G. A new partnership in CRM training [Текст] / dr. Gisele Weisman. // ICAO Journal. – 1991. – vol. 46. – №10. – P. 10-12.
28. Подготовка летного экипажа: оптимизация работы экипажа в кабине (CRM) и летная подготовка в условиях, приближенных к реальным (LOFT) [Текст] // Человеческий фактор: сборник материалов № 2. – Циркуляр ИКАО 217-AN/132. – Монреаль: ИКАО, 1989. – 73 с.
29. Эксплуатационные последствия в оборудованных передовой техникой кабинах экипажа [Текст] // Человеческий фактор: сборник материалов № 5. – Циркуляр ИКАО 234-AN/142. – Монреаль: ИКАО, 1992. – 53 с.
30. Helmreich R.L. Future directions in crew resource management training [Текст] / Robert L. Helmreich. // ICAO Journal. – 1993. – vol. 48. – №7. – P. 8-9.
31. Синеглазов В.М. Виртуальный тренажёр как средство повышения эффективности обучения оператора [Текст] / Синеглазов В.М., Борсук С.П. // Электроника и системы управления. – 2007. – №1(11). – С.114-119.
32. Азарсков В.Н. Этапы развития космического тренажеростроения [Текст] / Азарсков В.Н., Блохин Л.Н. // Вісник центрального наукового центру транспортної академії України. – 2007. – №10. – С.28-45.
33. Manual of Criteria for the Qualification of Flight Simulators [Текст]: 2nd edition. – Doc. ICAO 9625. – Montreal: ICAO, 2003. – 90 p.
34. Горячев В.А. Эргономические основы создания и применения авиационных тренажеров: Дисс... д.т.н. по специальности 05.22.14 "Эксплуатация воздушного транспорта" – Л.: ОЛАГА, 1986. – 358 с.
35. Рева О.М. Характеристика ергатичної системи «інструктор – авіаційний тренажер – льотний екіпаж» [Текст] / О.М. Рева, О.М. Дмитрів, О.М. Медведенко, О.Я. Біло // Авиационно-космическая техника и технология: наук.-техн. ж. Х.: Харківський національний аерокосмічний університет «ХАІ», 2011. – № 3/80. – С.175-181.
36. Рева А.Н. Оптимизация профессиональной деятельности инструктора авиационного тренажера [Текст]: науч.-практ. реком. / А.Н.Рева, В.А. Горячев, Н.С. Крылова и др.; под ред. А.Н. Ревы, В.А. Бодрова. – М.: ИПАН, 1990. – 127 с.
37. Введение в эргономику [Текст] / под ред. В.П. Зинченко. – М.: Сов. радио, 1974. – 352 с.
38. Павлов В.В. Начала теории эргатических систем [Текст] / В.В. Павлов. – К.: Наук. думка, 1975. – 235 с.
39. Таран В.А. Эргатические системы управления (Оценки качества эргатических процессов) [Текст] / В.А. Таран. – М.: Машиностроение, 1976. – 188 с.
40. Денисов В.Г. Авиационная инженерная психология [Текст] / В.Г. Денисов, В.Ф. О니щенко, А.В. Скрипец. – М.: Машиностроение, 1983. – 232 с.
41. Зараковский Г.М. Закономерности функционирования эргатических систем [Текст] / Г.М. Зараковский, В.В. Павлов. – М.: Радио и связь, 1987. – 232 с.
42. Рева А.Н. Эргономические основы первоначальной профессиональной подготовки пилотов: Дисс ... д.т.н. по специальности 05.22.14 "Эксплуатация воздушного транспорта" – К.: НАУ, 1996. – 376 с.
43. Рева О.М. Проблеми формування у пілота навичок долаання наслідків відмов авіа-

ційної техніки в режимі синхронного генератора [Текст] / О.М. Рева, С.О. Дмитрієв, О.М. Дмитрієв // *Авіаційно-космічна техніка і технологія: Наук.-техн. ж.* – Х.: Харківський національний аерокосмічний університет "ХАІ", 2009. – №2. – С.97-102.

44. Правила аэронавигационного обслуживания. Организация воздушного движения [Текст]: Doc. ICAO 4444/ATM-501. – Монреаль, Канада, 2007. – 474 с.

45. Grünbaum V. Venn Diagrams and Independent Families of Sets [Текст] / V. Grünbaum // *Math. Mag.* – №48. – 1975. – P.12-23.

46. Ruskey F. The Search for Simple Symmetric Venn Diagrams [Текст] / F. Ruskey, C.D. Savage, S. Wagon // *Not. Amer. Math. Soc.* 53. – 2006. – P.1304-1311.

47. Рева А.Н. Эргономические методы и средства тренажерной подготовки летного состава [Текст]: науч.-практ. реком. / А.Н. Рева, В.А. Кузнецов, А.А. Комаров и др.; под ред. А.Н. Ревы, М.И. Рубца.- Кировоград: ГЛАУ, 1995. – 106 с.

48. Новиков Д.А. Курс теории активных систем [Текст] / Д.А. Новиков, С.Н. Петраков. – М.: СИНТЕГ, 1999. – 104 с.

49. Бурков В.Н. Теория активных систем: состояние и перспективы [Текст] / В.Н. Бурков, Д.А. Новиков. – М.: Синтег, 1999. – 128 с.

50. Акоф Р. О целеустремленных системах [Текст] / Р. Акоф, Ф. Эмери. – М.: Сов. радио, 1974. – 272 с.

51. Новиков Д.А. Новиков Д.А. Интуциональное управление организационными системами [Текст] / Д.А. Новиков. – М.: ИПУ РАН, 2004. – 68 с.

52. Бурков В.Н. Механизмы функционирования организационных систем [Текст] / В.Н. Бурков, В.В. Кондратьев. – М.: Наука, 1981. – 384 с.

53. Новиков Д.А. Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем [Текст] / Д.А. Новиков. – М.: Фонд «Проблемы управления», 199. – 161 с.

54. Губко М.В. Теория игр в управлении организационными системами [Текст]: учеб. пособ. / М.В. Губко, Д.А. Новиков. – Изд-е 2. - М.: ИПУ РАН, 2005. – 138 с.

55. Гермейер Ю.Б. Игры с непротиворечивыми интересами [Текст]. – М.: Наука, 1976. – 328 с.

56. Васин А.А. Введение в теорию игр с приложениями в экономике [Текст]: учеб. пособ. / А.А. Васин, В.В. Морозов. – М.: 2003. – 278 с.

Отримано 10.12.2013

УДК 338:621.01

І.А.ДМИТРУК, канд. техн. наук

Харківська національна академія міського господарства

Р.Й.КОГУТ, О.М.ПЕЧЕНИК

ДП Інститут машин і систем, м.Харків

В.Г.САЛЬНИКОВ, М.Е.ТЕРНЮК, д-р техн. наук

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ЗАСТОСУВАННЯ ПРИНЦИПІВ ВАРІАТИВНОСТІ, ТРАНСФОРМЕРНОСТІ, РЕЗЕРВУВАННЯ ТА КОМПЛЕКСНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРИ ВИРІШЕННІ ЗАВДАНЬ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ І ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Розглядаються питання підвищення рівнів енергозбереження та енергоефективності підприємств за рахунок застосування в технологіях, техніці та організації виробництва загальних принципів варіативності, трансформерності, резервування та комплексної оптимізації. Зроблена оцінка впливу цих принципів на показники енергетичної та економічної ефективності підприємств.