

УДК 613. 677; 577. 35: 537

В.О. Іванов, Л.Я. Ільницький, О.Л. Петрашевський
В.Т. Богатир

ПРОБЛЕМИ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ НА ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ ЕРГАТИЧНИХ СИСТЕМ

Обґрунтована гіпотеза про вплив малопотужних неіонізуючих електромагнітних полів на кількість помилок, які допускає людина-оператор в процесі прийняття ним рішень з керування складною системою. На рівні структурної схеми показана залежність показників неперервності (безвідмовності) обслуговування системи і її цілісності (достовірності інформації, яка виробляється) від можливих станів людини-оператора. Розроблена концепція біологічної електромагнітної сумісності людини-оператора, який розглядається як особлива підсистема ергатичної системи надзвичайної відповідальності.

Будь-яка система, зокрема ергатична, створюється для задоволення потреб споживача як засіб досягнення певної мети A з імовірністю P_A , яка повинна бути не нижче заданої імовірності P_{AS} . Збільшення P_{AS} при інших рівних умовах підвищує конкурентну спроможність системи. Імовірнісну міру P_A можна розглядати як узагальнений фактор її надійності. При цьому в категорії узагальнених характеристик надійності доцільно виділити і кількісно оцінити систему в двох аспектах. Перший з них впливає з необхідності забезпечення неперервного обслуговування споживача результатами використання системи за призначенням в заздалегідь обумовлений проміжок часу. Цей аспект пов'язаний з фізичною надійністю системи як матеріального об'єкта. Другий аспект узагальненої характеристики надійності системи пов'язаний із забезпеченням достовірності оцінки результатів, які характеризують близькість досягнення мети A , тому він висвітлює надійність інформації, що подається споживачеві системою.

Згідно з рекомендаціями ІКАО, цими двома аспектами визначають такі поняття, як "неперервність (безвідмовність) обслуговування" і "цілісність (достовірність) системи" [1, 2]. Імовірнісні показники неперервності обслуговування P_U і цілісності P_W є парціальними складовими факторами P_A . Ці нормовані показники вперше були введені ІКАО для оцінки надійності функціонування таких складних технічних систем, якими є інструментальні системи посадки літаків і супутникові навігаційні системи GPS (США) та "Глонасс" (Росія). Існує тенденція поширення нормованих показників неперервності обслуговування і цілісності на інші види складних систем надзвичайної відповідальності. До нинішнього часу розроблені окремі часткові методики кількісних оцінок імовірнісних показників P_U та P_W стосовно технічних систем, що знаходяться в режимі експлуатації [3, 4, 5]. Проте ці методики непридатні для узагальненої оцінки надійності ергатичних систем, тобто систем, в контур керування якими вводиться людина-оператор. Можливі взаємозв'язки між окремими показниками ергатичної системи, що визначають узагальнений характер її надійності, зображені на рис.1 у вигляді структурної схеми. Ці взаємозв'язки при дослідженні конкретних задач можуть бути представлені у формі композиції функціональних операторів, які мають ключові властивості.

У пресі висвітлена статистика катастроф, аварій та передумов до них для ряду систем надзвичайної відповідальності. Із цієї статистики випливає, що більша частина їх виникає з вини людини (не менше 60%), а не з вини техніки (біля 14%). Тому виникає проблема

підвищення надійності людини-оператора як особливої підсистеми в генеральній ергатичній системі.

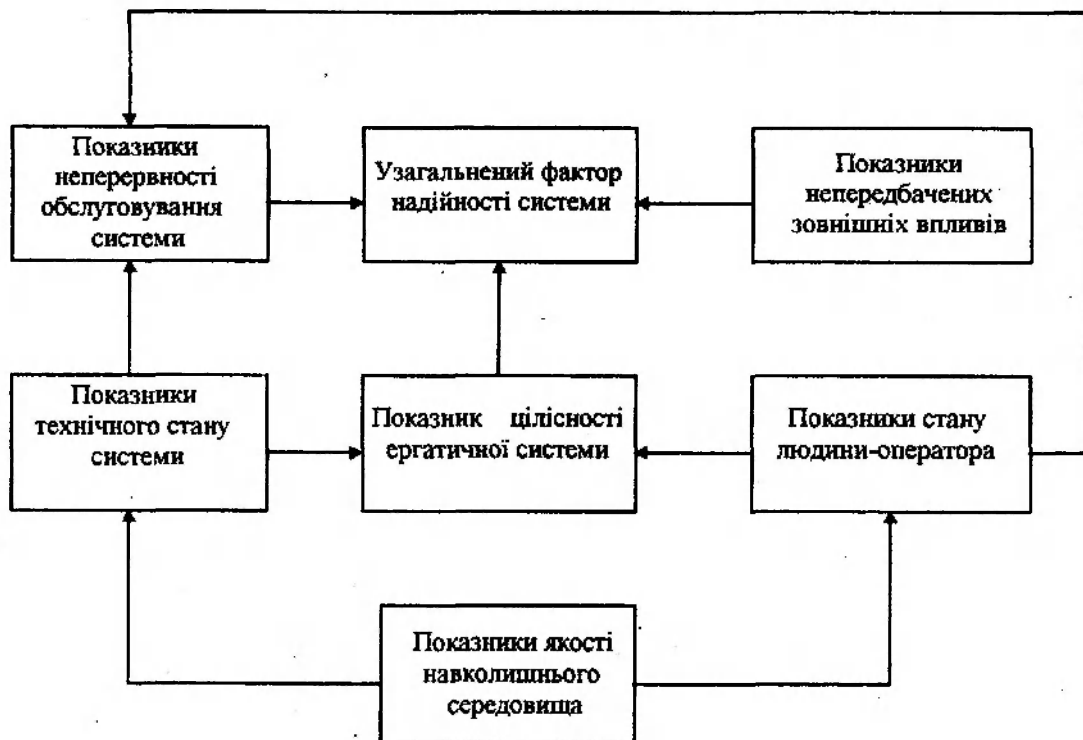


Рис. 1. Основні показники ергатичної системи, які впливають на узагальнений показник її надійності

Можливий стан людини-оператора (пілота, диспетчера, керівника польотів, оператора АЕС і т.ін.) залежить від багатьох обставин і факторів навколишнього середовища. Дослідження, які проводилися в багатьох країнах, зокрема в Україні, свідчать про те, що до впливових факторів необхідно зарахувати і неіонізуючі електромагнітні поля (ЕМП) різних частотних діапазонів [6, 7]. Сукупність ЕМП технічного походження визначає нефонову електромагнітну обстановку (ЕМО), в якій функціонують електронне та радіоелектронне обладнання будь-якої системи і людина-оператор. При цьому виникають дві проблеми, пов'язані з наявністю ЕМП. Одна з них відома як задача електромагнітної сумісності (ЕМС) технічних засобів, які здатні випромінювати і сприймати енергію електромагнітних хвиль. Розв'язки цієї задачі в загальних рисах визначені й розроблені в конкретних методиках, які дають можливість знаходити точні відповіді на питання, що стосуються окремих аспектів першої проблеми.

Друга проблема відноситься до досліджень впливу ЕМП на людину й інші біологічні об'єкти. В межах цієї проблеми розв'язана лише частина задачі, пов'язаної з виявленням впливу ЕМП на здоров'я людини. На основі отриманих результатів створені науково обґрунтовані санітарні норми на гранично допустимі рівні (ГДР) неіонізуючих ЕМП. Цими нормами керуються розробники систем, забезпечуючи на робочому місці людини-оператора умови, які не будуть шкідливими для його здоров'я [8, 9]. Але при встановленні безпечних рівнів випромінювання практично не досліджувалися питання впливу малопотужних ЕМП, рівні яких значно нижчі гранично допустимих, на ефективність професійної діяльності людини-оператора, введеного в контур керування системою надзвичайної відповідальності.

Якщо вважати, що головною функцією людини-оператора є аналіз ситуації прийняття відповідних рішень, то ефективність його дій можемо оцінити імовірною відсутністю в них помилок першого та другого роду (за типом хибної і невиявленої від системи).

Використовуючи об'єктивні передумови, обґрунтуємо припущення про можливий вплив малопотужних неіонізуючих ЕМП на зниження якості професійної діяльності людини-оператора.

Природа захистила ряд життєво важливих органів людини від будь-яких зовнішніх механічних впливів кістяними оболонками у вигляді черепної коробки, трубчастих кісток грудної клітки. Але для ЕМП такий захист виявився неефективним. Проникаючи крізь кістяну оболонку, ЕМП взаємодіє із судинами і капілярами, наприклад, головного мозку, наповненими фізіологічною рідиною, як з провідниками другого роду. Згідно з законами фізики ці провідники зазнають дії механічних сил, які обумовлені наявністю ЕМП і зв'язаними з ними пондеромоторними силами.

Розрахунок пондеромоторних сил, що діють на одиницю об'єму провідника, можна виконати за допомогою відношення, яке приведене, наприклад, в роботі [10]. Це відношення має шість складових. Перша пара складових визначає силу Лоренца, під дією якої провідник об'єму змінює просторове положення. Дві наступні складові характеризують напруження (тиск), якої зазнає поверхня елемента об'єму під впливом ЕМП. Остання пара складових визначає зусилля, які спрямовані на зміну форми провідника (електро- та магнітострижіння). Внаслідок дії пондеромоторних сил людина-оператор може відчувати почуття внутрішнього дискомфорту.

В дійсності жоден з викладених вище механічних ефектів в організмі людини не спостерігається. Підставою для такого твердження є та обставина, що ніхто з дослідників фізіологів впливу ЕМП на живі організми не зафіксував таких явищ. Пояснення цьому полягає в тому, що органи живого біоорганізму нейтралізують дії всіх компонентів пондеромоторних сил, втрачаючи при цьому певну кількість внутрішньої енергії. Додаткові витрати енергії, спрямовані на компенсацію дій пондеромоторних сил, супроводжуються непередбаченим зменшенням загальної кількості внутрішньої енергії організму, зокрема, тієї відносно невеликої її частини, яка відведена для здійснення інтелектуальної діяльності. Дефіцит енергії, що створюється при цьому, призводить до зниження рівня інтелектуальної діяльності, внаслідок чого з плином часу виникає зростаюча кількість помилок в роботі людини-оператора. Очевидно, що кількість енергії, яка витрачається на нейтралізацію негативної дії пондеромоторних сил, пропорційна добутку потужності ЕМП технічного походження, які існують на робочому місці людини-оператора, і тривалості їхнього впливу на людину. Тому навіть малопотужні поля, рівні нижчі ГДР, після деякого граничного інтервалу часу, індивідуального для кожної людини, неминуче призведуть до збільшення кількості помилок, що з'являються в прийнятих рішеннях. При цьому фізіологічні зміни в організмі не виникають і не завдається шкода здоров'ю людини.

Збільшення неперервного стану роботи в умовах ЕМП призводить до того, що в організмі людини перерозподіляється загальний запас енергії, призначеної для забезпечення його життєвих функцій. Цей перерозподіл обумовлений необхідністю поповнення частини енергії ΔW , яка витрачається на нейтралізацію дії пондеромоторних сил, з метою збереження необхідного рівня інтелектуальної діяльності. При природному старінні організму загальний запас його енергії знижується. При цьому зменшується і та його частина, яка виділяється організмом для компенсації дії пондеромоторних сил. В цих умовах погіршуються як показники діяльності людини-оператора.

Для підтвердження викладених положень було здійснено тестування невеликої кількості людей за спеціально розробленою методикою. Результати тестування підтвердили наявність стійкої тенденції до збільшення кількості помилок, які виникають в процесі прийняття рішень людиною-оператором при наявності на робочому місці малопотужних ЕМП.

В зв'язку з викладеним вище, згідно зі схемою, зображеною на рис. 1, виникає задача оцінювання імовірнісних показників P_U та F_w ергатичних систем. Розв'язок цієї задачі неможливий без упорядкованого дослідження питань, що визначають проблему біологічної електромагнітної сумісності (БіоЕМС) в ергатичних системах. Під БіоЕМС в подальшому будемо розуміти властивість організму людини виконувати притаманні йому біологічні функції і здійснювати інтелектуальну діяльність при наявності неіонізуючих ЕМП технічного походження.

В основу концепції БіоЕМС можна покласти структурну схему, зображену на рис. 2, яка являє собою можливу модель процесу взаємовпливів таких фізичних об'єктів, як ЕМП і людина-оператор, що розглядаються на рівні підсистем ергатичної системи.

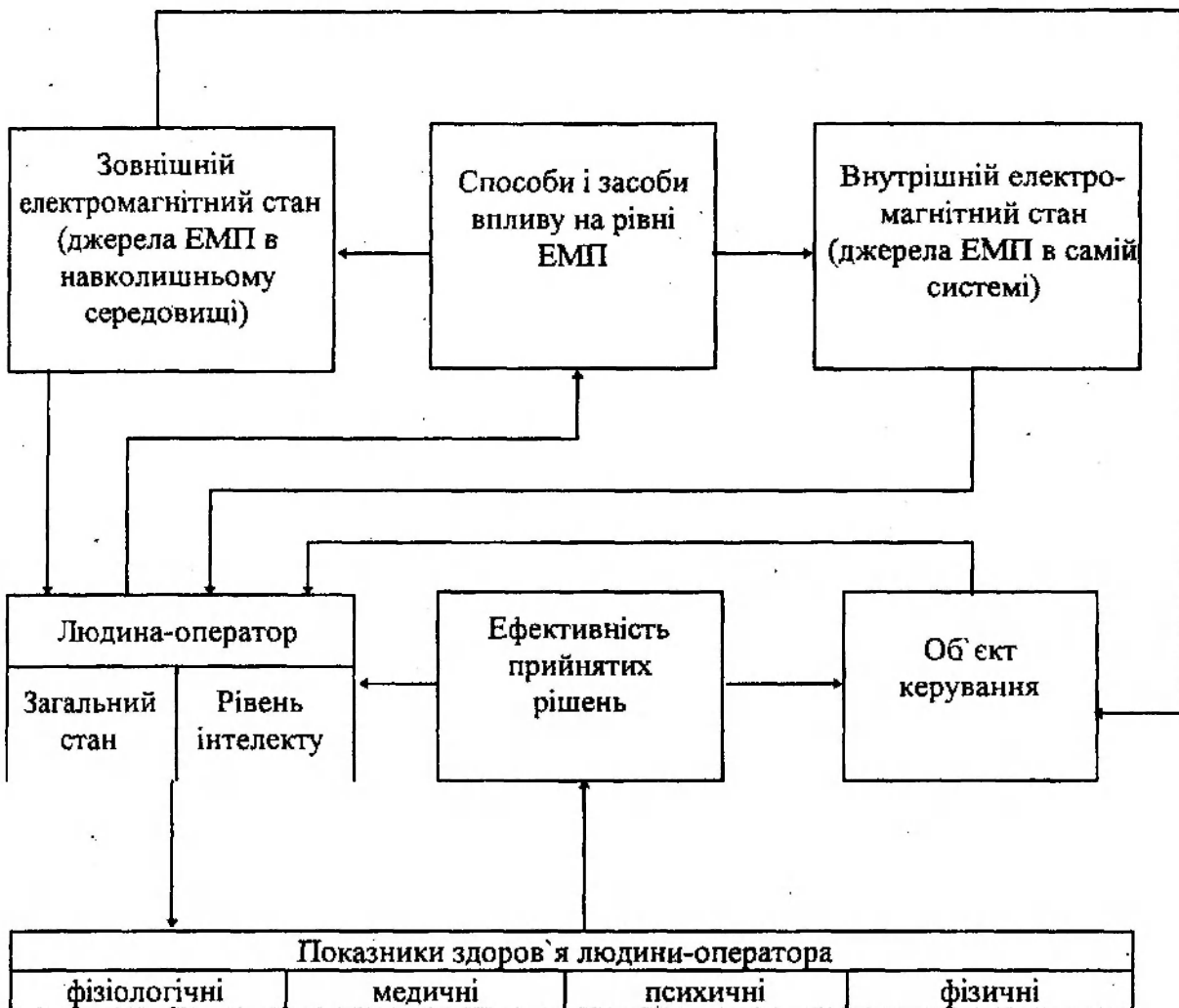


Рис.2. Структурна схема взаємовпливів елементів ергатичної системи з електромагнітними полями

До такої моделі можна застосовувати всі принципи і постулати схемотехніки, які сформульовані в роботі [11]. Згідно з принципом цілеспрямованості будь-яка система мусить бути орієнтована на досягнення і утримання певного стану з ряду можливих. Цей стан є

цільова функція системи A . Цільова функція є багатокритеріальною і залежить від композиції параметрів, що задаються у вигляді переліку тактико-технічних вимог, які висувуються до системи в цілому. На основі постулатів цілісності, доповняльності та автономності система дозволяє виділити в ній m підсистем. При цьому цільова функція A визначається композицією власних A_{ii} і взаємних A_{ij} цільових функцій підсистем (тут $ij=1,2,\dots, m$).

$$[A] = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1m} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{m1} & A_{m2} & \dots & A_{mm} \end{bmatrix}$$

Матрицю цільової функції можна розділити на окремі підматриці і композицію цільових функцій кожної підматриці вважати цільовою функцією підсистеми більш вищого рівня. Такою підсистемою може виявитися, наприклад, система безпеки польотів літаків або пілотованих космічних комплексів типу "Мир". Застосування принципів і постулатів системотехніки до моделі, що приведена на рис.2, дає можливість обґрунтувати і сформулювати загальну концепцію розв'язання проблеми БіоЕМС в ергатичних системах.

Основні положення концепції сформулюємо, використовуючи єдину методику для кожної з відокремлених підсистем. Основні положення концепції приведені у вигляді таблиці за принципом тематичного бібліотечного каталогу (див. таблицю).

Концепція розв'язання проблеми БіоЕМС

№ п/п	Підсистема	Цільова функція	Концептуальні питання							
			4	5	6	7	8	9	10	
1	2	3								
1	Джерела зовнішньої ЕМО	Не створювати негативних впливів	+	+	+	+	+	+		
2	Джерела внутрішньої ЕМО	Не створювати негативних впливів	+	+	+	+	+	+		
3	Засоби впливу на ЕМО і засоби контролю	Вимірювання і захист від ЕМП	+	+	+	+	+	+		
4	Біофізичний стан людини	Несприятливість до ЕМП	+	+	+	+	+	+		
5	Інтелектуальна діяльність	Незалежність від наявності ЕМП	+	+	+	+	+	+		
6	Оцінювання ситуації й прийняття рішень	Мінімізація кількості помилок						+	+	
7	Об'єкт керування	Відповідність тактико-технічним вимогам	+	+	+	+	+	+		
8	Генеральна система	Засіб досягнення мети								+

В таблиці позначені підсистеми й вказані концептуальні задачі, які потребують розв'язання, а саме:

виявлення та вивчення механізмів виникнення і проявлення специфічних ефектів в кожній з виділених підсистем (4-й стовпець);

організація контролю і створення засобів вимірювання загальних і специфічних параметрів підсистеми (5-й стовпець);

виявлення параметрів підсистем, які вимагають нормування і здійснення цієї процедури (6-й стовпець);

розробка способів керування параметрами підсистеми (7-й стовпець);

розробка пропозицій щодо реалізації цільових функцій підсистем (8-й стовпець);
розробка методів кількісної оцінки ефективності заходів з реалізації цільових функцій підсистем (9-й стовпець);
сертифікація генеральної системи (10-й стовпець).

Кожна клітина таблиці з концептуальними питаннями розгортається в реєстр відносно вузьких задач, які вимагають дослідження і технічної реалізації. Глибина їхньої розробки визначає ступінь достатності і завершеності дослідження в конкретному напрямку.

На основі запропонованої концепції можна розробляти обґрунтовані стратегії розв'язання проблеми БіоЕМС. Серед них – заходи із зниження залежності фактора надійності P_A систем надзвичайної відповідальності від ергатичних показників, які визначаються станом людини-оператора при зміні характеристик ЕМО на робочому місці.

Список літератури

1. *Международные стандарты, рекомендуемая практика и правила аэронавигационного обслуживания. Авиационная электросвязь // Приложение 10 к Конвенции о международной гражданской авиации. Т. 1. Четвертое издание. - Монреаль. - 1985. - 176 с.*
2. *Эверст С., Маркин К., Вроблевски П. Проектирование с целью выполнения III категории ИКАО в системе MLS // Труды ТИИЭР. - 1989. - Т.77. - №11. - 179 - 188 с.*
3. *Иванов В. А. Непрерывность обслуживания и коэффициент оперативной готовности аэронавигационных радиоэлектронных систем // Радиотехника. - 1992. - №10, 11.*
4. *Ильницький Л. Я., Иванов В. А., Фузик М. И. Оценка целостности радиомаячных систем // Надежность радиоэлектронного оборудования гражданской авиации: Сб. науч. тр. - К.: КИИГА, 1983. - С. 16-20.*
5. *Иванов В. А. Информационная надежность сигналов // Статические методы обработки сигналов в авиационном радиоэлектронном оборудовании: Сб. науч. тр. - К.: КИИГА, 1993. - С. 64-70.*
6. *Сердюк А.М. Взаимодействие организма человека с электромагнитными полями как с фактором окружающей среды. - К.: Здоров'я, 1975. - 225 с.*
7. *Холодов Ю.А., Лебедев Н.Н. Реакции нервной системы человека на электромагнитные поля. - М.: Наука, 1992. - 136 с.*
8. *Метрологическое обеспечение безопасности труда: Справочник / Под ред. И.Х. Сологоняна. Том 1. - М.: Изд-во стандартов, 1989. - 240 с.*
9. *Санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань. - К.: Міністерство охорони здоров'я України, 1993. - 55 с.*
10. *Кугушев А.М., Голубева Н.С. Основы радиоэлектроники. - М.: Энергия, 1969. - 880 с.*
11. *Дружинин В.В., Конторов Д.С. Системотехника. - М.: Радио и связь, 1971. - 225 с.*

Стаття надійшла до редакції 28 листопада 1997 року.

Володимир Олександрович Іванов (1939) закінчив Київський інститут інженерів цивільної авіації в 1969 році. Доктор технічних наук, професор кафедри технічної електродинаміки. Наукові інтереси – в галузі технічної електродинаміки, електромагнітної сумісності радіоелектронних систем, електромагнітної екології. Має більше 100 наукових публікацій.

Volodymir O. Ivanov (b. 1939) graduated from Kyiv Institute of Civil Aviation Engineers (1969). DSc (Eng) professor of technical electrodynamics Department of Kyiv International University of Civil Aviation. Specializes in the field of technical electrodynamics, electromagnetic compatibility of radioelectronic systems, electromagnetic ecology. Author of more than 100 publications.





Людвіг Якович Ільницький (1930) закінчив Львівський політехнічний інститут в 1951 році. Доктор технічних наук, професор кафедри технічної електродинаміки Київського міжнародного університету цивільної авіації, заслужений діяч науки і техніки України, академік Міжнародної академії інформатизації. Наукові інтереси – в галузі електродинаміки, електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів, систем зв'язку та навігації. Автор 350 наукових праць.

Ludvig Ya. Pnitskyi (b. 1930) graduated from Lvov Polytechnical Institute (1951). DSc (Eng) professor of technical electrodynamics Department of Kyiv International University of Civil Aviation Honored scientific of Ukraine, academician of International Academy of Information. Works in the fields of electrodynamics, electromagnetic compatibility of radioelectronic means, communication and navigation systems. Author of 350 scientific publications.



Олег Львович Петрашевський (1947) закінчив Київський інститут інженерів цивільної авіації в 1970 році. Доктор технічних наук, професор. Начальник Головного управління науково-технічної політики і безпеки транспорту Міністерства транспорту України. Наукові інтереси – в галузі електродинаміки, електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів, систем зв'язку та навігації. Автор 70 наукових праць.

Oleg L. Petrashevskiy (b. 1947) graduated from Kyiv Institute of Civil Aviation Engineers (1970). DSc (Eng) professor. Chief of Board of science and technic policy and transport safety of Ukraine Transport Ministry. Specializes in the field of electrodynamics, electromagnetic compatibility of radioelectronic means, communication and navigation systems Author of 70 scientific publications.



Володимир Тимофійович Богатир (1940) закінчив Київський інститут інженерів цивільної авіації в 1969 році. Кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної електродинаміки Київського міжнародного університету цивільної авіації, член Правління науково-технічного товариства радіотехніки, електроніки і зв'язку України. Наукові інтереси – в галузі електромагнітної екології. Автор 90 наукових праць.

Volodymir T. Bogatyr (b. 1940) graduated from Kyiv Institute of Civil Aviation Engineers (1964). PhD (Eng), ass. professor of technical electrodynamics Department of Kyiv International University of Civil Aviation, member of Administration board of science and technical society in radiotechnics, electronics and communication systems of Ukraine. Works in the field of electromagnetic compatibility of radioelectronic systems and electromagnetic ecology. Author of 90 scientific publications.