

УДК 004.5:331.101.1

doi: 10.32620/reks.2020.1.09

Г. В. МИГАЛЬ, В. П. МИГАЛЬ

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», Україна*

КОГНІТИВНІ ТА ЕРГОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВЗАЄМОДІЇ ЛЮДИНИ З КОМП'ЮТЕРОМ

Стаття присвячена мало дослідженим аспектам взаємодії людини з комп'ютером, яка визначає живучість складної динамічної системи в екстремальних умовах. На життєздатність її елементів, включаючи людину, впливає різноманіття стрес-чинників середовища і діяльності. Їх поєднання може призводити до непрогнозованих технічних відмов і психофізіологічних зривів, а також до системних проблем управління. Головною метою цієї роботи є обґрунтування необхідності актуалізації вивчення екстремальних принципів фізики та їх використання в міждисциплінарній «Інженерії людських чинників», а також в спецкурсах інженерно-технологічного спрямування.

Аналіз використання методів системної динаміки, синергетики та когнітивної ергономіки свідчить, що джерелом більшості проблем цифровізації динамічних систем, з одного боку, є збільшення різноманітності в методах обробки інформаційних потоків, типах їх візуалізації і засобах їх аналітики, а з іншого – варіативність психофізіологічних можливостей, обмежень та когнітивного сприйняття людиною-оператором (проектувальником тощо) різноманіття інформації, на основі якої приймаються системні рішення. Пропонується розширити міждисциплінарні зв'язки, які пов'язані з екстремальними принципами динаміки (електродинаміки, термодинаміки, оптики і інші), інтегративними показниками упорядкованості і енергетичної збалансованості та ентропійними критеріями динамічної стійкості. Пропонується розширити базу знань шляхом трансформації динаміки цифрованих інформаційних потоків різної природи в структурні паттерни когнітивного простору ймовірних подій. Її використання в інженерії людських чинників дозволяє: а) розробити систему інтелектуальної підтримки навчання; б) застосувати міждисциплінарну конвергентну методологію при навчанні. Все це сприятиме більш ефективній взаємодії студента з комп'ютером і розвитку його критичного мислення і інтуїції, що підвищить ергономічну якість динамічних систем ще на етапі проектування. Звернено увагу на вплив психофізіологічного стану людини на когнітивне сприйняття інформаційних потоків різної природи, а також на когнітивну упередженість при прийнятті системних рішень. Тому міждисциплінарний погляд на можливість і обмеження людино-комп'ютерної (машинної) взаємодії при впливі стрес-чинників середовища і діяльності дуже важливий на всіх етапах дипломного проектування комп'ютерних систем.

Ключові слова: людино-комп'ютерна взаємодія; когнітивна ергономіка; структурні паттерни; когнітивна графіка; системна динаміка; людський чинник, критичне мислення.

Вступ

Сучасні складні динамічні системи (транспортні, комп'ютерні, енергетичні та інші) містять величезну кількість елементів. Множина взаємодій між ними підвищує складність моделювання поведінки динамічної системи (ДС) та їх проектування. При цьому таким системам нелінійні процеси вивчені поки недостатньо. Про це свідчить зростаючий прояв людського чинника в усіх галузях (транспортній, енергетичній і ін.). Отже, існує недостатня поінформованість розробників ДС та програмістів з інформаційними і когнітивними аспектами людино-комп'ютерної (машинної) взаємодії. Тому є труднощі у створенні безпечних, надійних і стійких до стрес-чинників ДС. Їх вирішення вимагає пошуку

більш ефективних засобів обробки інформації, її візуалізації та моделювання при навчанні студентів інженерно-технологічного спрямування [1].

Постійне вдосконалення і автоматизація ДС супроводжується збільшенням кількості джерел інформації (сенсорів, датчиків і т.п.), що породжує ще більше різноманіття: а) інформаційних потоків різної природи; б) методів їх обробки; в) типів візуалізації та засобів моделювання і аналізу. Тому, незважаючи на значні зусилля розробників складних систем, сумна статистика аварій та катастроф свідчить, що 70-90 % пов'язані саме з людським чинником. При навчанні в університетах недостатньо уваги приділяється розгляду першопричин, що лежать в основі реалізації чинників ризику в ДС. Зокрема, до проблем прогнозування в складних умовах призво-

дить фрактальний характер сигналів розумних сенсорів і біосенсорів, який обумовлює нелінійність їх характеристик.

Сучасні цифрові технології вже широко використовують досягнення нейронаук (нейроергономіки, нейробіології і інших) та когнітивних наук (когнітивної ергономіки, когнітивних обчислень й інших). В той час як навчання у галузі інженерії (промислової, військової, біо, програмної) відбувається у певному відриві від врахування особливостей організації взаємодії людини та техніки у системах «людина – комп'ютер» та «людина – техніка – середовище», які визначають їх ергономічну якість.

На наш погляд, традиційна консервативна організація навчання сприяє формуванню в основному дивергентного мислення. При цьому на тлі поглибленого занурення в необхідні майбутнім інженерам достатньо вузькі теоретичні та спеціальні дисципліни, мало уваги приділяється міждисциплінарним зв'язкам і системним проблемам. Це обмежує можливості інформаційних технологій (ІТ) при формуванні творчого потенціалу студентів. Зокрема, подальший розвиток їх когнітивних здібностей і інтуїції потребує індивідуалізації навчання, а також досягнення балансу креативного (дивергентного) та критичного (конвергентного) мислення, який сприяє розвитку нелінійного мислення [2, 3]. Тому важливу роль в процесі формування знань відіграє особистий вибір джерел інформації, засобів її обробки, відображення та аналізу. Він реалізується в трансформаційному навчанні, яке потребує побудові індивідуальної траєкторії навчання.

Індивідуальність функціонування також властива всім об'єктам живої і неживої природи [4]. Вона найбільше проявляється при дії стрес-чинників середовища і діяльності, а також є однією з причин прояву феномену людського чинника. Існує нагальна необхідність адаптувати навчальні програми до широких можливостей ІТ і інтерактивно-комунікаційних технологій (ІКТ) для індивідуалізації навчання, а також до сучасних викликів – фізичної, інформаційної і функційної безпеки, які визначають життєздатність ДС в складних умовах. Необхідна актуалізація міждисциплінарних зв'язків, якій сприяє універсальність екстремальних принципів фізики, когнітивна спрямованість ергономіки та психології, міждисциплінарність та конвергентність біоінженерії та інженерії людських чинників. Їх вивчення збільшить поінформованість та обізнаність студентів про міждисциплінарні зв'язки та сприятиме розширенню світогляду майбутнього інженера, що вкрай необхідно в рамках Індустрії 4.0 і Індустрії 5.0. Тому стаття присвячена обґрунтуванню необхідності актуалізації вивчення екстремальних принципів фізики та їх використання в міждисциплінарній «Ін-

женерії людських чинників», а також в спецкурсах інженерно-технологічного спрямування.

1. Багатогранність і міждисциплінарність «Інженерії людських чинників»

Створення більш безпечних, надійних та стійких ДС потребує достовірної інформації про функціональний стан та стійкість всіх її елементів, включаючи людину. Зокрема, в складних умовах на їх функціональні можливості впливає різноманіття стрес-чинників середовища і діяльності. Їх поєднання може призводити до не прогнозованих технічних відмов і психофізіологічних зривів, а також до системних проблем [5]. Крім цього, на усіх етапах життєвого циклу складних ДС (літак, реактор і т.п.) їх безпека напряму залежить від ергономічної якості проектування, юзабіліті програмного продукту, а також від критеріїв відбору релевантної інформації, її візуалізації та когнітивного сприйняття [6]. Особливо це стосується джерел інформації про функціональний стан смарт-сенсорів, біосенсорів різної природи і людини. Зокрема, психічні якості, вмотивованість і когнітивне сприйняття інформаційних потоків різної природи впливають на функціональні можливості людини. Взаємозв'язки визначають патерни поведінки та особливості нелінійного мислення. Їх поєднання в просторі і часі досліджують в інженерії людських чинників (рис. 1). Приховані взаємозв'язки між психофізіологічними і когнітивними можливостями формуються в процесі навчання. Для проектування безпечних ДС слід розвивати безпеко-орієнтований напрям створення відмовостійких комп'ютерних систем [7, 8]. Отже, проблематика людського чинника в навчанні багатогранна та знаходиться на перетині психофізіологічних і когнітивних можливостей людини та впливу на них стрес-чинників. Саме від врахування можливого впливу людського чинника залежить безпечність, надійність та стійкість динамічних систем, що проектується. Тому сьогодні у провідних навчальних закладах світу інженерно-технологічного спрямування більша увага приділяється як традиційним міждисциплінарним природничим наукам (фізика і інші), так і новим (кіберфізика, біоінженерія, когнітивні і нейронауки) [6-8]. В них широко вживаються поняття «життєздатність» (viability), «стійкість» (resilience) та «відновлюваність» (recoverability). Зокрема, зв'язки між ними розглядаються в програмі «Інженерія людських чинників» (Human factors engineering) [9]. Ця дисципліна ґрунтується на взаємодоповнюючих системних принципах розробки складних динамічних систем та ергономічних законах (взаємної адаптації та трансформації). Програма

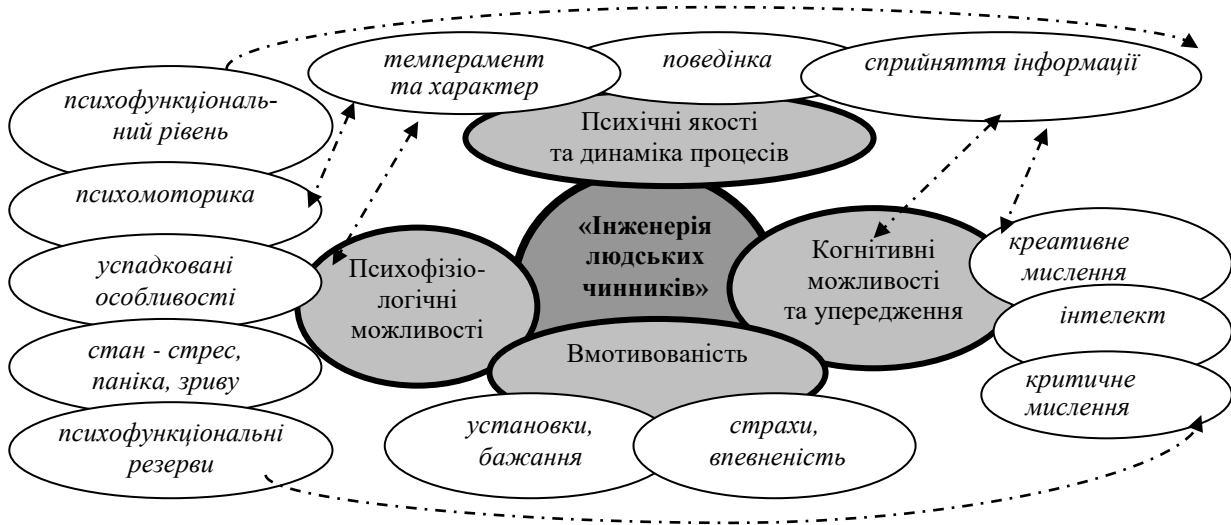


Рис. 1. Міждисциплінарні взаємозв'язки, багатогранність феномену «Людський чинник»

дисципліни включає нейроергономічний аналіз людських можливостей та обмежень щодо машин, робочих місць і середовищ, а також вплив на діяльність людини стрес-чинників середовища. Такі знання вкрай необхідні комп'ютерним інженерам (розробникам динамічних систем і іншим), щоб знизити ризики функціонування динамічних систем ще на етапі їх проектування.

Їх використання в «Інженерії людських чинників» (ІЛЧ) сприяє формуванню системного бачення особливостей взаємодії людини і машини (комп'ютера) в складних умовах [10-12]. Крім цього, їх взаємозв'язок дозволяє при навчанні звернути увагу на різні прояви людського чинника та приховані міждисциплінарні взаємозв'язки, які приведені на рис. 1. Очевидно, вони визначають психофізіологічні і когнітивні можливості людини, а зв'язок між ними обумовлює психологічні якості та самомотивацію [13, 14].

Враховання ймовірних змін фізичних, психологічних, фізіологічних та когнітивних можливостей людини буде сприяти, з одного боку, проектуванню більш досконалих комп'ютерних систем, а з іншого – більш ефективній взаємодії людини з комп'ютером в складній динамічній системі. Отже, слід враховувати інформацію про індивідуальні психофізіологічні можливості та обмеження людини як головної ланки системи. Дійсно, відповідальність за системне рішення, яке приймає людина, впливає на психофізіологічні, психічні, біомеханічні і інші процеси. Оскільки рішення залежать від набутих знань та досвіду, то в дисципліні «Інженерія людських чинників» аналізуються різні підходи та обмеження, які слід застосовувати при розробці систем інтелектуальної підтримки прийняття системних

рішень щодо функціонування складних динамічних систем. Врахування можливих змін функціонального стану оператора (пілота тощо) при дії стрес-чинників сприятиме якісному проектуванню ефективних і безпечних людино-машинних систем.

До міждисциплінарних проблем, які необхідно системно висвітлювати при викладанні дисципліни «Інженерія людського чинника», слід віднести вплив стрес-чинників середовища на: а) особливості людино-комп'ютерної (машинної) взаємодії; б) психофізіологічні чинники і ризики (перехідні стани, функціональні зриви і інші); в) джерела інформації при проектуванні ДС. Для вирішення вказаних проблем необхідно знати: а) методи дослідження і аналізу тих когнітивних можливостей, що впливають на ефективність навчання студента; б) методи контролю всіх ризиків та готовності до сценаріїв їх реалізації. Врахування багатогранності людського чинника потребує формалізації процедурних знань і моделювання взаємодії в системі «людина – комп'ютер – інформаційне середовище».

2. Індивідуальність динаміки інформаційних потоків

Моделювання динаміки взаємодії людини з комп'ютером потребує використання системних принципів синергетики, ергономіки, кібернетики та інших. Воно сприяє розвитку критичного (конвергентного) мислення при навчанні. Одним з основних інструментів, що є складовими процедурних знань, є системна динаміка. Вона застосовується для дослідження і управління складними системами, які характеризуються нелінійністю і наявністю зворотних зв'язків. В роботі [15] проведено аналіз сильних і

слабких сторін застосування системної динаміки як інструменту моделювання складних систем. Це сприяло інтенсивному розвитку інтерактивної комп'ютерної графіки, яка використовує можливості ІКТ для активізації здатності мислити складними просторовими образами.

До основних характеристичних ознак еволюціонуючих ДС слід віднести мережеву структуру, динамічність і недетермінованість. При взаємодії елементів ДС в часі і просторі формуються зворотні зв'язки, які можуть призводити до: а) порушення лінійних причинно-наслідкових ланцюжків, аналіз яких потребує нелінійного мислення; б) затримки в реакціях системи при дії стрес-чинників, що обумовлені дисипативними процесами; в) нелінійних залежностей фізичних величин, які породжують непропорційні реакції на незначні впливи; г) кризових явищ, що відносять до людського чинника. Так, багато людей вважають, що вони все дізналися саме на стадії застосування системного підходу в рамках спеціальних дисциплін. Але вони пройшли, можливо, тільки 7-10% шляху до глибокого розуміння взаємодії всіх елементів еволюціонуючої ДС, включаючи і людину як головного елемента системи. Лише міждисциплінарний підхід до структури інформації робить розум більш «чутливим», звертаючи нашу увагу на індивідуальні особливості життєвого циклу кожного елемента і ДС в цілому. Отже, решта відсотків шляху це – структурування спрощених динамічних моделей і проведення на них обчислювальних експериментів. Тільки такий експеримент дозволяє виявити існуючу неузгодженість з нашим сприйняттям моделей. Системний підхід може бути першим кроком до розуміння динаміки складних проблем, але цього не достатньо [14].

До дисциплін, які реалізують системний підхід, в першу чергу слід віднести системну динаміку (промислова та світова динаміка Д. Форрестера [15-17], Д. Медоуз [18], бізнес-динаміка Д. Стермана [19] і ін.), а також організаційну кібернетику (модель життєздатних систем С. Біра). Щоб подолати причинно-наслідкову лінійність як одну з проблем людино-машинної взаємодії в складних системах, потрібно встановити основні причини та параметри нелінійностей, а саме:

- просторово-часову структуру динамічної системи і взаємозв'язок її елементів;
- штучне і природне запізнення, що відбувається при передачі інформації, її обробці і прийнятті системних рішень;
- підсилення, яке відбувається, коли дії виявляються сильнішими, ніж це вимагає прийнята інформація.

Структурна стійкість функціонування ключових елементів при дії стрес-чинників пов'язана з

просторово-часовою узгодженістю інформаційних потоків в системі, що відповідає принципу найменшої дії. В об'єктах живої і неживої природи структури взаємозв'язків подібні, але приховані і проявляються при дії стрес-чинників [20, 21]. Очевидно тому фізичну, функційну і інформаційну безпеку взаємодії елементів ДС у звичайних умовах забезпечують вимоги різних стандартів (ІЕС 61508, ІЕС62443 і інші). В них застосовано різні: підходи, методи, параметри, критерії, алгоритми тощо. Однак, в складних умовах експлуатації складних динамічних систем існуючих стандартів недостатньо саме по причині нелінійності. Вони описуються математичними моделями, що містять нелінійні рівняння або нерівності. Однак зміна станів цих систем відбувається не послідовно від одного стану до іншого, а різноспрямовано і не детерміновано.

В цілому, нелінійність поведінки свідчить про наявність зворотних зв'язків в даній системі, в той час як евристика лінійності, засвоєна більшістю студентів, передбачає, що «наслідок настає після причини». За Д. Форрестер, «система зі зворотним зв'язком існує там, де навколишнє середовище призводить до прийняття рішення, що викликає дію, яка сама впливає на навколишнє середовище і, отже, на подальші рішення» [16]. Говорячи про такі системи, він підкреслює, що «взаємодія між елементами системи може мати більше значення, ніж самі елементи». Управління системами зі зворотним зв'язком охоплює всю людську діяльність і всі складні природні явища.

Під дією стрес-чинників середовища може відбуватися перебудова структури циклу функціонування джерела інформації, в характеристичних ознаках якої відображається зміна його функціонального стану. Зміна характеру взаємодії складових циклу зворотного зв'язку може призводити до втрати динамічної стійкості елемента, або просторово-часової неузгодженості функціонування між елементами системи. На це вказує системний аналіз техногенних катастроф, які відбуваються частіше на керованих людиною ДС. Він, як правило, свідчить про домінуючий вплив індивідуальності людино-машинної взаємодії. Інформація про поточний психофізіологічний стан (ПФС) людини є у фрактальних особливостях електрофізіологічних сигналів. Очевидно, що ці особливості зв'язані з індивідуальними психічними процесами (рис. 2).

В основі взаємозв'язку змін фізіологічних і психічних процесів – характеристичні ознаки ПФС людини, які обумовлені просторово-часовою подібністю структури фізіологічних і психологічних процесів. Вочевидь особливості визначають індивідуальність взаємодії людини з комп'ютером (машиною). Саме не прогнозована зміна динаміки цих



Рис. 2. Взаємозв'язок інформаційних змін фізіологічних і психічних процесів

процесів є підґрунтям появи цілого комплексу проблем людино-машинної взаємодії. Можна припустити, що саме характер взаємозв'язку змін психологічного і психофізіологічного станів оператора визначає, чи буде «ціна» діяльності для нього допустимою чи стане непомірно високою.

Характерною особливістю діяльності людини при виконанні навчальних, диспетчерських, технологічних, управлінських функцій є не прогнозоване виникнення проблемних (складних, аварійних, позаштатних) ситуацій. Внаслідок втоми чи впливу екстремальних стрес-чинників різного походження (екологічного, інформаційного і іншого) на функціональний стан людини важливу роль відіграє індивідуальний характер зміни динаміки її фізіологічних і психологічних процесів. Він обумовлює нелінійні процеси, які ускладнюють відбір релевантної інформації та її аналіз.

При цьому, щоб подолати евристику лінійності, необхідно відслідковувати виникнення петель зворотного зв'язку в динамічній структурі інформаційних процесів різної природи.

Врахування майбутніми проектувальниками ризиків, що пов'язані з індивідуальними можливостями людини, дозволяє забезпечити контроль узгодженості функціонування тих елементів динамічної системи, що визначають їх життєздатність в складних умовах. Для вирішення проблем, що пов'язані з індивідуальними особливостями людино-машинної взаємодії, сьогодні спостерігається взаємопроникнення ергономіки, нейроергономіки і нейрофізіології. Активно використовуються досягнення в дослідженні людського мозку і фізіології діяльності [1, 9, 10, 12]. Розвивається нейроергономіка, яка спрямована на вирішення актуальних проблем людино-машинної взаємодії в динамічних системах, що функціонують в складних умовах [1, 12, 20, 21].

Актуальність міждисциплінарних знань, а саме їх необхідність для розвитку креативного і критичного мислення майбутніх інженерів обумовлює не-

обхідність ознайомлення з сучасними концепціями і системними принципами, які застосовуються в інженерії людських чинників (ІЛЧ). Це збільшить їх компетентність і сприятиме оптимізації людино-комп'ютерної (машинної) взаємодії вже на етапі проектування комп'ютерних систем.

3. Нелінійні динамічні процеси і розвиток критичного мислення

Джерелом більшості проблем цифровізації ДС є збільшення різноманітності в методах обробки інформаційних потоків, типах їх візуалізації і засобах їх аналітики [5, 17, 21]. Їх різноманіття засобів обумовлено домінуванням при навчанні дивергентного (креативного) мислення. Саме воно сьогодні визначає особливості проектування елементів ДС, включаючи комп'ютерні системи. Однак для вирішення проблем фізичної, функційної і інформаційної безпеки динамічних систем необхідно розвивати критичне (конвергентне) мислення. Міждисциплінарні межі між науковим і технологічним знанням дозволяє стерти конвергентна методологія. Дійсно, поєднання нано-, біо-, інфо- і когнітивних технологій для вирішення найскладніших завдань сучасності дали поштовх стрімкому розвитку конвергентного підходу до навчання та розробки систем інтелектуальної підтримки рішень. Конвергенція не зводиться до простої інтеграції. Головна її ідея – у взаємному проникненні наук і технологій для отримання нових знань. Стирання меж та проникнення когнітивних та комунікаційних технологій надає нові можливості для інтелектуальної підтримки рішень. Основою систем інтелектуальної підтримки є нові технології, які широко використовують різноманіття паттернів (data mining та інші).

Нейрофізіологічні дослідження структури і механізмів роботи мозку сприяли розвитку когнітивної психології та нейропсихології, а потім і нових підходів до навчання. В ряді робіт [22 - 25] показано, як

міждисциплінарні взаємозв'язки психології, нейробіології і навчання призводять до змін в педагогічній сфері, а також розвивають нелінійне мислення. Тому міждисциплінарна «Інженерія людських чинників» сприятиме розвитку критичного (конвергентного) мислення, спираючись на уже розвинуте при навчанні креативне мислення. Дійсно, в основі ІЛЧ – взаємопроникнення когнітивної нейропсихології, інформаційних технологій, екстремальних фізичних принципів та принципів проектування. Це може надати синергетичний ефект – сприйняття функціонування складних динамічних систем через призму ризиків, що можливі на кожному етапі їх життєвого циклу. Адже, взаємозв'язки динамічних параметрів, взаємодоповнюваність показників і критеріїв спрощує комп'ютерне моделювання, аналіз результатів якого сприятиме розвитку критичного мислення.

В ІЛЧ висвітлюються динаміка взаємозв'язків між елементами динамічних систем. Для її аналізу застосовуються ергодинамічні закони взаємної адаптації та трансформації В. Венди [26]. Ці закони відображають взаємодоповнюваність і взаємопов'язаність нелінійних динамічних процесів різної природи (рис. 3). Тому для розвитку нелінійного мислення важливий баланс креативного і критичного мислення, який дозволяє оцінювати можливості й обмеження людини щодо машин, робочих місць, впливу середовища. Формуванню такого балансу сприяють індивідуалізація траєкторії навчання і розширення міждисциплінарних освітніх програм.

Ще одним важливим аргументом обґрунтування необхідності викладання дисципліни ІЛЧ є розкриття поняття «мотивація» для майбутніх спеціалістів. На сьогодні немає однозначної думки щодо механізмів та інструментів, що забезпечать мотивацію до навчання. В той же час, спеціалісти з високою мотивацією і збалансованою міждисциплінарною (фундаментальною) і спеціальною підготовкою є

найбільш затребуваним людським ресурсом. Саме він є передумовою створення життєздатних динамічних систем майбутнього. Сьогодні відбувається перехід від локальних мереж до комунікацій між фізичними об'єктами, людиною і кіберфізичними системами (промисловий Інтернет речей), а також розвиваються нанотехнології, біоінженерія тощо. Впровадження сучасних ІКТ стримують проблеми фізичної, функціональної і інформаційної безпеки. Вони обумовлюють дедалі жорсткіші вимоги до науково-технічних розробок. Безпека технологій та машин, а також безпека діяльності людини в цьому середовищі потребують прогнозу аналітики, для якої важливий перехід від креативного до критичного мислення людини. Саме його ефективність дозволяє запобігти ризикам, мінімізувати їх наслідки, що пов'язані із людським чинником.

Сучасні біотехнології, методи та засоби дослідження і діагностики самі по собі не гарантують безпеку без належного контролю функціонування людини, а також їх інформованості і адекватних знань. Адже людина має обмежені ресурси (фізичні, часові, просторові), а, значить, потрібні ідеї та засоби для їх оптимізації. Моніторинг стану здоров'я та стресу, інтелектуальна підтримка в прийнятті рішення та контроль виконання дій – все це безпосередньо пов'язано зі знаннями в сфері людського чинника.

Основними рисами сучасного етапу розвитку ІКТ можна вважати зміну парадигми (від аналізу до синтезу), зближення неорганіки і органічного світу живої природи. В її основі – ідея конвергенції інфо-, нано- і біотехнологій для створення динамічних систем і технологій нового покоління. Міждисциплінарна методологія є інструментом сучасної інтеграції, в основі якої природно подібні алгоритми [27-30]. Зокрема, застосування кіберфізичних систем (Індустрія 4.0) викликало необхідність приділити особливу увагу людино-машинній взаємодії [31].

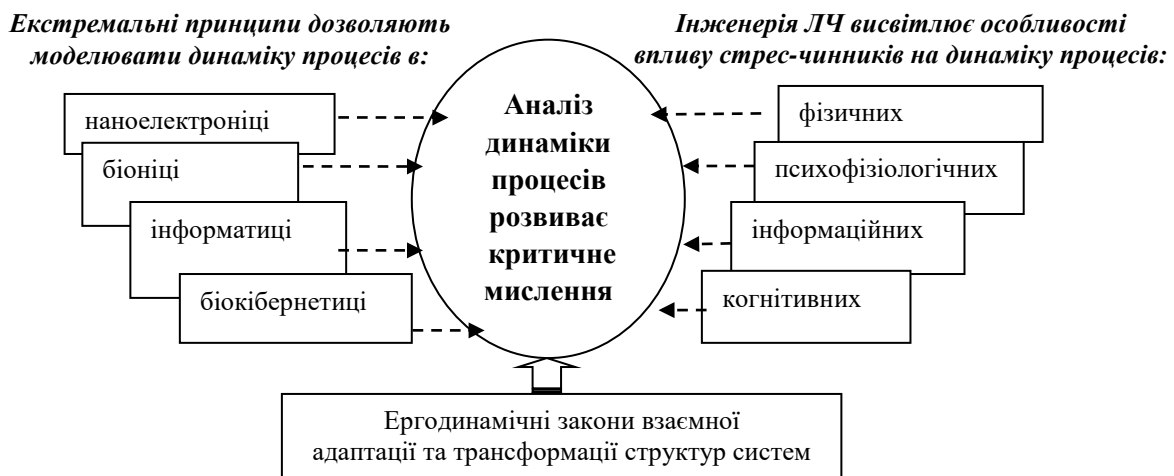


Рис. 3. Взаємодоповнюваність і взаємопов'язаність динаміки процесів різної природи

Поява коботів (Індустрія 5.0) і ускладнення сприйняття людиною нових ДС викликало увагу і інтерес до когнітивних можливостей людини [32, 33]. Сьогодні людський чинник пронизує наскрізь проблематику безпеки для транспортної галузі, для якої надзвичайно важливим є створення безпечних, надійних та ефективних ДС. Однак на усіх етапах життєвого циклу керованої ДС. Їх безпека напряму залежить від варіативності психофізіологічних можливостей та обмежень, а також когнітивного сприйняття інформаційних потоків людиною (пілотом, диспетчером, конструктором, проектувальником тощо), яка приймає системні рішення. Саме тому таким важливим є збільшення долі дисциплін, що використовують міждисциплінарні принципи, поняття, показники та критерії.

4. Когнітивні паттерни взаємодії в системі «студент – комп'ютер – середовище»

Когнітивні аспекти взаємодії проявляються тоді, коли магістри «добувають» знання за допомогою математичних моделей ДС і процесів, що досліджуються. При цьому процес формування знань спирається на інтуїтивний механізм мислення, який має особистий характер. Тому різноманіття видів інформації та її міри, а також видів показників і критеріїв сприяли розвитку когнітивної графіки. Її головною задачею є пошук закономірностей, що сховані в динаміці процесів різної природи. При їх образному поданні використовуються методи наукової візуалізації фізичних та інших процесів. Аналіз динаміки процесів розвиває нелінійне мислення та сприяє ефективному переходу від креативного до критичного мислення. Просторово-часові уявлення про динаміку процесів формуються при вивченні тих розділів фізики (теорія відносності, теорія поля і інші), появи яких сприяла геометризація фізики [34] і математики [35]. Саме використання когнітивної графіки в техніці (науці, бізнесі, медицині тощо) виявило, що вона дозволяє знайти такі рішення, які окремо не досяжні ні комп'ютеру, ні мозку людини. Дійсно, стикаючись з різноманітним типів візуалізації та великими обсягами незнайомих даних при навчанні магістри (оператори і т.п.) потребують їх цілісного опису, а також можливості переходу на більш детальний рівень.

Разом з тим, стрімке збільшення кількості джерел інформації в ДС призвело до широкого використання різних шаблонів (паттернів) (структурних, функціональних, програмування і т.п.). Однак збільшення їх різноманіття обмежує можливості людино-комп'ютерної (машинної) взаємодії. Зокрема, знижує ефективність відсутність ефективних критеріїв відбору релевантної інформації. На наш погляд,

об'єктивною причиною обмежень когнітивної графіки є багатоаспектність інформації і її міри (інформації: Хартлі, фон Неймана-Шеннона-Вінера, Фішера, ентропії Рен'є, взаємної інформації, зміни фізичної ентропії і інші). Саме багатоаспектність зумовила використання різноманіття методів обробки інформації, а також типів візуалізації інформаційних процесів різної природи (детерміновані залежності, статистичні розподіли, мережі і інші). Більшість інформації приймається сенсорами і біосенсорами, чутливими органами живих організмів, а також багатьма іншими системами. Вони також є динамічними системами, що використовують в процесі функціонування численні фізичні, хімічні та інші явища різної природи. Оскільки всі ці процеси містять в собі в тому чи іншому вигляді обробку інформації шляхом порівняння, то можна припустити, що саме порівняння є унікальною особливістю всіх інформаційних процесів.

В ІКТ важливу роль відіграє критичне мислення і інтуїція. Вони «чутливі» до психофізіологічного стану людини, що впливає на ефективність її взаємодії з комп'ютером. Для вирішення проблем, що пов'язані з безпекою і людським чинником, можна використати більш загальне розуміння графічної інформації як сукупності відмінностей, які можуть бути визначені спостерігачем або сенсорною системою в фундаментальному акті порівняння. Такий акт не вимагає необхідного використання поняття ймовірності або його комбінаторної інтерпретації [36]. Вочевидь тому у ІКТ ефективним є порівняння поточного паттерна ДС з попереднім. Це сприяє виявленню відмінностей і зв'язків, а також прихованим, тренди і аномалії в потенційно великих і слабо формалізованих даних. Важливо, що їх можна кількісно оцінити.

Порівняння паттернів також використовується в комп'ютерній аналітиці і в когнітивних обчисленнях. Зауважимо, що важливість когнітивної операції порівняння зумовлене її провідною роллю у процесах мислення людини. Широке використання операції порівняння паттернів дозволяє класифікувати та ідентифікувати функціональний стан елементів ДС, а також дослідити характер його зміни в часі. Отже використання паттернів полегшує пошук кореляцій, знаходження артефактів, емпіричних моделей і закономірностей, що пов'язані з динамічними системами. Порівняльний аналіз паттернів циклів функціонування спрощує когнітивне сприйняття інформаційних потоків різної природи, а також зменшує когнітивні упередження, що пов'язані з інформаційним пересиченням, або у випадках, коли не вистачає сенсу. Тому паттерни широко використовуються в проектуванні [37], технічному аналізі, прогнозній аналітиці, медичній діагностиці і інших областях.

Однак, різноманіття паттернів та їх визначень в різних предметних областях обмежують високий потенціал візуальної аналітики.

Для виявлення впливу стрес-чинників на структуру цифрованих сигналів сенсорів і біоелектричних сигналів найбільше підходить методологія міжdisciplinarnого підходу до виявлення індивідуальності функціонування об'єктів живої і неживої природи [20]. В основі підходу – екстремальні принципи фізики, що дозволяють геометризувати динаміку інформаційних процесів різної природи у вигляді статичних графічних образів. Вони є структурними паттернами джерел інформації, в яких одночасно проявляються динамічні і статистичні закономірності. Так, в просторі динамічних подій різні за природою інформаційні процеси перетворюються в топологічні 3D-моделі циклів функціонування, а також в 2D-моделі, які є топологічними сигнатурами джерела інформації 1-го і 2-го порядків [5, 8, 20].

Сигнатури інформаційних потоків, що породжені самоорганізованими об'єктами (характеристики розумних матеріалів, відгуки сенсорів, сигнали біосенсорів і інші), можуть слугувати природними паттернами їх функціонального стану. Так, функціональні паттерни спектральної чутливості напівпровідникових сенсорів наведено в роботі [38], а паттерни просторово-часової структури фотовідгуків сенсорів є в роботі [39]. Паттерни теплового випромінювання для аналізу теплообміну при вирощуванні кристалів наведено в роботі [40]. Найбільше різноманіття структурних паттернів характерно для електрофізіологічних сигналів і психологічних паттернів. Такі паттерни мають високий інноваційний потенціал. Зокрема, можна реалізувати когнітивну комп'ютерну графіку універсальними засобами за допомогою трансформації інформаційних потоків різної природи в структурні паттерни когнітивного простору ймовірних подій. В структурних паттернах зв'язок динамічних і статистичних закономірностей зменшує ймовірність когнітивних упереджень при прийнятті системних рішень.

В цілому, включення в базу знань систем інтелектуальної підтримки паттернів структури інформаційних потоків, що породжені самоорганізованими ДС, розширить можливості прогнозу аналітики.

Висновки

Труднощі створення безпечних, надійних і стійких до складних умов ДС, включаючи і комп'ютерні системи, обумовлені недостатньою поінформованістю студентів (розробників) з ергономічними і когнітивними аспектами людино-комп'ютерної (машинної) взаємодії. Багатогранність

проблематики людського чинника обумовлює необхідність актуалізації міждисциплінарних зв'язків. Їх виявленню сприяє універсальність екстремальних принципів динаміки, взаємозв'язані динамічні параметри, інтегративні показники просторово-часової збалансованості та упорядкованості інформаційних потоків в ДС, а також їх ентропійні критерії.

На функціональні можливості джерел інформації ДС, включаючи і людину, в складних умовах впливає різноманіття стрес-чинників середовища і діяльності. Їх поєднання може призводити до непрогнозованих фізичних відмов джерел інформації і до психофізіологічних зривів операторів. За допомогою принципів синергетики, системної динаміки і кіберфізики можна системно аналізувати взаємодію елементів ДС. Одним з основних інструментів, що є складовими процедурних знань, є системна динаміка. Її широке використання сприятиме розвитку нелінійного мислення при навчанні.

Розвиток критичного мислення і інтуїції тісно пов'язаний з індивідуальною траєкторією навчання. Для її побудови важлива актуалізація міждисциплінарних знань, що обумовлює необхідність ознайомлення з сучасними концепціями і системоутворюючими принципами, які застосовуються в інженерії людських чинників. Використання структурних паттернів джерел інформації і конвергентної методології дозволяє стерти міждисциплінарні межі між науковим і технологічним знанням. Однак, когнітивне упередження внаслідок когнітивного сприйняття різноманіття паттернів знижує ефективність людино-машинної взаємодії. Відсутність ефективних критеріїв відбору релевантної інформації утруднює оцінку ризиків функціонування динамічної системи в непрогнозованих умовах.

Для вирішення проблем прогнозу аналітики найбільше підходить міждисциплінарний підхід до виявлення індивідуальності функціонування об'єктів живої і неживої природи. В основі підходу – візуалізація динаміки інформаційних потоків в когнітивному просторі ймовірних подій у вигляді статичних графічних образів, які є структурними паттернами джерел інформації. В єдиному когнітивному просторі різні за природою цифровані інформаційні потоки перетворюються у відповідні топологічні сигнатури, при аналізі яких можна застосувати інтегративні показники збалансованості і упорядкованості циклів функціонування.

Міждисциплінарний погляд на можливості і обмеження людино-комп'ютерної (машинної) взаємодії при впливі стрес-чинників середовища і діяльності дуже важливий при проектуванні комп'ютерних систем. Їх фізична, інформаційна і функційна безпека повинні менше залежати від психофізіологічних і когнітивних можливостей людини.

Застосування сучасних концепцій і системоутворюючих принципів дозволяє оптимізувати людиномашинну взаємодію ще на стадії проектування ДС. Для цього в дисципліні «Інженерія людських чинників» реалізована унікальна комбінація трьох основних ергономічних характеристик: (1) вона використовує принципи системного підходу, (2) вона орієнтована на дизайн взаємодій і (3) вона фокусується на вирішенні трьох тісно пов'язаних проблем фізичної, функційної і інформаційної безпеки. Тому впровадження цієї дисципліни дозволить створити необхідне підґрунтя для підвищення якості підготовки спеціалістів інженерно-технологічного спрямування.

Розширення бази знань систем інтелектуальної підтримки шляхом трансформації динаміки функціонування самоорганізованих ДС різної природи в структурні паттерни когнітивного простору ймовірних подій дозволить: а) активізувати властиву людині здатність мислити просторово-часовими образами; б) спростити визначення просторово-часової узгодженості різних за природою інформаційних потоків; в) виявляти динамічно подібні цикли зворотного зв'язку в інформаційних потоках різної природи; г) розвинути образне мислення, яке досить часто називають одним терміном – «інтуїція», що підвищить ефективність навчання. В цілому впровадження дисципліни ІЛЧ сприятиме проектуванню ергономічно якісних ДС.

Література

1. Parasuraman, R. *Neuroergonomics: Research and practice [Text]* / R. Parasuraman // *Theoretical Issues in Ergonomics Science*. – 2003. – Vol. 4, Iss. 1–2. – P. 5–20. DOI: 10.1080/14639220210199753.
2. Баксанский, О. Е. *Конвергенция знаний, технологий и общества: за пределами конвергентных технологий [Текст]* / О. Е. Баксанский // *Философия и культура*. – 2014. – № 7 (79). – С. 1061–1068. DOI: 10.7256/1999-2793.2014.7.11995.
3. Александров, Ю. А. *Психофизиологические закономерности научения и методы обучения [Текст]* / Ю. А. Александров // *Психологический журнал*. – 2012. – № 6 – С. 5–19.
4. Винер, Н. *Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине [Текст]* / Н. Винер. – М.: Наука, 1983. – 344 с.
5. Mygal, V. *Problems of Digitized Information Flow Analysis: Cognitive Aspects [Text]* / V. Mygal, G. Mygal // *Information & Security: An International Journal*. – 2019. – Vol. 43, No. 2. – P. 134–144. DOI: 10.11610/isij.4312.
6. Gilbert, K. J. *Visualization in science education [Text]* / K. J. Gilbert. – Springer Science & Business Media, 2006. – 346 p. DOI: 10.1007/1-4020-3613-2.
7. Tempus Serein. *Modernization of postgraduate studies on security and resilience for human and industry related domains [Electronic resource]*. – Access mode: <https://serein.eu.org>. – 04.12.2019.
8. *Internet of Things: Emerging Curriculum for Industry and Human Applications [Electronic resource]*. – Access mode: <https://alioi.eu.org>. – 04.12.2019.
9. *An Introduction to Human Factors Engineering [Text]* / C. D. Wickens, J. D. Lee, Y. Liu, S. E. Gordon-Becker. – 2nd Edition. – Pearson, 2003. – 608 p.
10. *A strategy for human factors/ergonomics: developing the discipline and profession [Text]* / Jan Dul, Ralph Bruder and all. // *Ergonomics*. – 2012. – Vol. 55, No. 4. – P. 377–395. DOI: 10.1080/00140139.2012.661087.
11. *State of science: mental workload in ergonomics [Text]* / Mark S. Young, Karel A. Brookhuis, Christopher D. Wickens & Peter A. Hancock // *Ergonomics*. – 2015. – Vol. 58, Iss. 1. – P. 1–17. DOI: 10.1080/00140139.2014.956151.
12. Fedota, John R. *Neuroergonomics and human error [Text]* / John R. Fedota, R. Parasuraman // *Theoretical Issues in Ergonomics Science*. – 2010. – Vol. 11, Iss. 5. – P. 402–421. DOI: 10.1080/14639220902853104.
13. Hancock, P. A. *The future of neuroergonomics [Text]* / P. A. Hancock, J. L. Szalma // *Theoretical Issues in Ergonomics Science*. – 2003. – Vol. 3, Iss. 1–2. – P. 238–249. DOI: 10.1080/1463922021000020927.
14. *Neuroadaptive technologies: Applying neuroergonomics to the design of advanced interfaces [Text]* / L. J. Hettinger, P. Branco, L. M. Encarnacao & P. Bonato // *Theoretical Issues in Ergonomics Science*. – 2003. – Vol. 4, Iss. 1–2. – P. 220–237. DOI: 10.1080/1463922021000020918.
15. Форрестер, Дж. *Основы кибернетики предприятия: индустриальная динамика [Текст]* / Дж. Форрестер. – М.: Прогрес, 1971. – 340 с.
16. Forrester, J. *System dynamics - a personal view of the first fifty years [Text]* / J. Forrester. // *System Dynamics Review*. – 2007. – Vol. 23, Iss. 2–3. – P. 345–358. DOI: 10.1002/sdr.382.
17. Schwaninger, M. *System dynamics and cybernetics: A synergetic pair [Text]* / M. Schwaninger, J. Rios // *System Dynamics Review*. – 2008. – Vol. 24, No. 2. – P. 145–174. DOI: 10.1002/sdr.400.
18. Медоуз, Д. *Пределы роста. 30 лет спустя [Текст]* : пер. с англ. / Д. Медоуз, Й. Рандерс, Д. Медоуз. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 342 с.
19. Serman, J. *Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World [Electronic resource]* / J. Serman. – Access mode: https://www.researchgate.net/publication/44827001_Business_Dynamics_System_Thinking_and_Modeling_for_a_Complex_World. – 04.12.2019.
20. *An interdisciplinary approach to study individuality in biological and physical systems functioning [Text]* / V. P. Mygal, A. V. But, G. V. Mygal,

- I. A. Klimenko // *Scientific Reports, Nature Publishing Group*. – 2016. – No. 6. – P. 387–391. Article number: 29512. DOI: 10.1038/srep29512.
21. Mygal, V. P. Visualization of Signal Structure Showing Element Functioning in Complex Dynamic Systems – Cognitive Aspects [Text] / V. P. Mygal, G. V. Mygal, L. M. Balabanova // *Journal of Nano- and Electronic Physics*. – 2019. – Vol. 11, No. 2, Article number: 02013. DOI: 10.21272/jnep.11(2).02013.
22. Ceylan, C. Can the office environment stimulate a manager's creativity? [Text] / C. Ceylan, J. Dul, S. Aytac // *Human factors and ergonomics in manufacturing & Service Industries*. – 2008. – Vol. 18, Iss. 6. – P. 589-602. DOI: 10.1002/hfm.20128.
23. *Designing for People: An introduction to human factors engineering* [Text] / J. D. Lee, C. D. Wickens, Y. Liu, L. N. Boyle. – 3rd Edition. – Charleston, SC : CreateSpace, 2017. – 692 p.
24. Gevins, A. Neurophysiological measures of cognitive workload during human-computer interaction [Text] / A. Gevins, M. E. Smith // *Theoretical Issues in Ergonomics Science*. – 2003. – Vol. 4, Iss. 1-2. – P. 113-131. DOI: 10.1080/14639220210159717.
25. Newby, G. B. The Strong Cognitive Stance as a Conceptual Basis for the Role of Information in Informatics and Information System Design. Cognitive space and information space [Text] / G. B. Newby // *Journal of the American Society for Information Science and Technology*. – 2001. – Vol. 52, Iss. 12. – P. 1026-1048. DOI: 10.1002/asi.1172.
26. Venda, V. F. Dynamics in Ergonomics, Psychology, and Decisions: Introduction to Ergodynamics [Text] / V. F. Venda, Yuri V. Venda. – Norwood, NJ : Ablex Pub. Corp., 1995. – XV, 505 p.
27. Foundations for a new science of learning [Text] / A. N. Meltzoff, P. K. Kuhl, J. Movellan, T. J. Sejnowski // *Science*. – 2009. – V. 325. – P. 284–288. DOI: 10.1126/science.1175626.
28. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics [Text] / S. Freeman et al. // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2014. – Vol. 111, No. 23. – P. 8410–8415. DOI: 10.1073/pnas.1319030111.
29. Ковальчук, М. В. Конвергенция наук и технологий – прорыв в будущее [Текст] / М. В. Ковальчук // *Российские нанотехнологии*. – 2011. – Т. 6, № 1-2. – С. 13-23.
30. Roco, M. Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science [Electronic resource] / M. Roco, W. Bainbridge (eds). – Access mode: http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies/Report/NBIC_report.pdf. – 04.12.2019.
31. Nahavandi, Saeid. Industry 5.0 – A Human-Centric Solution [Text] / Saeid Nahavandi // *Sustainability*. – 2019. – Vol. 11, Iss. 16. – Art. 4371. DOI: 10.3390/su11164371.
32. Özdemir, Vural. Birth of Industry 5.0: Making Sense of Big Data with Artificial Intelligence, “The Internet of Things” and Next-Generation Technology Policy [Text] / Vural Özdemir, Nezh Hekim // *Omic: a journal of integrative biology*. – 2018. – Vol. 22, Iss. 1. DOI: 10.1089/omi.2017.0194.
33. Industry 5.0: Announcing the Era of Intelligent Automation [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.intellias.com/industry-5-0-announcing-the-era-of-intelligent-automation/> – 5.12.2019.
34. Лошак, Ж. Геометризация физики [Текст] / Ж. Лошак. – М. – Ижевск : РХД, 2005. – 279 с.
35. Пуанкаре, А. О науке. Последние мысли [Текст] / А. Пуанкаре. – М. : «Наука», 1983. – С. 405-620.
36. Встовский, Г. В. Элементы информационной физики [Текст] / Г. В. Встовский. – М. : МГИУ, 2002. – 260 с.
37. Шаллоуей, А. Шаблоны проектирования. Новый подход к объектно-ориентированному анализу и проектированию [Текст] / А. Шаллоуей, Д. Р. Трот. – М. : «Вильямс», 2002. – 288 с.
38. Geometrization of the dynamic structure of the transient photoresponse from zinc chalcogenides [Text] / V. P. Mygal, A. V. But, A. S. Phomin, I. A. Klimenko // *Semiconductors*. – 2015. – Vol. 49, Iss. 5. – P. 634–637. DOI: 10.1134/S1063782615050152.
39. But, A. V. Structure of a time variable photoresponse from semiconductor sensors [Text] / A. V. But, V. P. Migal, A. S. Fomin // *Technical Physics*. – 2012. – Vol. 57, Iss. 4. – P. 575–577. DOI: 10.1134/S1063784212040044.
40. Mygal, V. P. Influence of radiation heat transfer dynamics on crystal growth [Text] / V. P. Mygal, I. A. Klimenko, G. V. Mygal // *Functional Materials*. – 2018. – Vol. 25, Iss. 3. – P. 574-580. DOI: 10.15407/fm25.03.574.

References

1. Parasuraman, R. Neuroergonomics: research and practice. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 2003, vol. 4, iss. 1–2, pp. 5–20. DOI 10.1080/14639220210199753.
2. Baksanskij, O. E. Konvergencziya znaniy, tekhnologij i obshhestva: za predelami konvergentnykh tekhnologij [Convergence of Knowledge, Technology, and Society: Beyond Converged Technology]. *Filosofiya i kul'tura – Philosophy and Culture*, 2014, no. 7 (79), pp. 1061-1068. DOI: 10.7256/1999-2793.2014.7.11995.
3. Aleksandrov, Yu. A. Psikhofiziologicheskie zakonomernosti naucheniya i metody obucheniya [Psychophysiological laws of learning and teaching methods]. *Psikhologicheskij zhurnal – Psychological Journal*, 2012, no. 6, pp. 5–19.
4. Viner, N. *Kibernetika, ili Upravlenie i svyaz' v zhivotnom i mashine* [Cybernetics, or Control and communication in the animal and machine]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 344 p.
5. Mygal, V., Mygal, G. Problems of Digitized Information Flow Analysis: Cognitive Aspects.

- Information & Security: An International Journal*, 2019, vol. 43, no. 2, pp. 134-144. DOI: 10.11610/isij.4312.
6. Gilbert, K. J. *Visualization in science education*. Springer Science & Business Media Publ., 2006. 346 p. DOI: 10.1007/1-4020-3613-2.
7. *Tempus Serein. Modernization of postgraduate studies on security and resilience for human and industry related domains*. Available at: <https://serein.eu.org> (accessed 04.12.2019).
8. *Internet of Things: Emerging Curriculum for Industry and Human Applications*. Available at: <https://aliot.eu.org> (accessed 04.12.2019).
9. Wickens, C. D., Lee, J. D., Liu, Y., Gordon-Becker, S. E. *An Introduction to Human Factors Engineering*, 2nd Edition, Pearson Publ., 2003. 608 p.
10. Dul, Jan., Bruder, Ralph. and all. A strategy for human factors/ergonomics: developing the discipline and profession. *Ergonomics*, 2012, vol. 55, no. 4, pp. 377-395. DOI: 10.1080/00140139.2012.661087.
11. Young, Mark S., Brookhuis, Karel A., Wickens, Christopher D., Hancock, Peter A. State of science: mental workload in ergonomics. *Ergonomics*, 2015, vol. 58, iss. 1, pp. 1-17. DOI: 10.1080/00140139.2014.956151.
12. Fedota, John R., Parasuraman, R. Neuroergonomics and human error. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 2010, vol. 11, iss. 5, pp. 402-421. DOI: 10.1080/14639220902853104.
13. Hancock, P. A., Szalma J. L. The future of neuroergonomics. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 2003, vol. 3, iss. 1-2, pp. 238-249. DOI: 10.1080/1463922021000020927.
14. Hettinger, L. J., Branco P., Encarnacao, L. M., Bonato, P. Neuroadaptive technologies: Applying neuroergonomics to the design of advanced interfaces. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 2003, vol. 4, iss. 1-2, pp. 220-237. DOI: 10.1080/1463922021000020918.
15. Forrester, Dzh. *Osnovy kibernetiki predpriyatiya: industrial'naya dinamika* [Fundamentals of enterprise cybernetics: industrial dynamics]. Moscow, Progres Publ., 1971. 340 p.
16. Forrester, J. System dynamics - a personal view of the first fifty years. *System Dynamics Review*, 2007, vol. 23, iss. 3-4, pp. 345-358. DOI: 10.1002/sdr.382.
17. Schwaninger, M., Ríos, J. System dynamics and cybernetics: A synergetic pair. *System Dynamics Review*, 2008, vol. 24, no. 2, pp. 145-174. DOI: 10.1002/sdr.400.
18. Meadows, D., Randers J., Meadows, D. *Predely`rosta. 30 let spustya* [Limits to Growth. The 30-Years Update]. Moscow, IKCz «Akademkniga» Publ., 2007. 342 p.
19. Sorman, J. *Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World*. Available at: https://www.researchgate.net/publication/44827001_Business_Dynamics_System_Thinking_and_Modeling_for_a_Complex_World (accessed 04.12.2019).
20. Mygal, V. P., But, A. V., Mygal, G. V., Klimenko, I. A. An interdisciplinary approach to study individuality in biological and physical systems functioning. *Scientific Reports, Nature Publishing Group*, 2016, no. 6, pp. 387-391. Article number: 29512. DOI: 10.1038/srep29512.
21. Mygal, V. P., Mygal, G. V., Balabanova, L. M. Visualization of Signal Structure Showing Element Functioning in Complex Dynamic Systems – Cognitive Aspects. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 2019, vol. 11, no. 2, Article number: 02013. DOI: 10.21272/jnep.11(2).02013.
22. Ceylan, C., Dul, J., Aytac, S. Can the office environment stimulate a manager's creativity? *Human factors and ergonomics in manufacturing*, 2008, vol. 18, iss. 6, pp. 589-602. DOI: 10.1002/hfm.20128.
23. Lee, J. D., Wickens, C. D., Liu, Y., Boyle, L. N. *Designing for People: An introduction to human factors engineering*, 3rd Edition, Charleston, SC: CreateSpace Publ., 2017. 692 p.
24. Gevins, A., Smith, M. E. Neurophysiological measures of cognitive workload during human-computer interaction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 2003, vol. 4, iss. 1-2, pp. 113-131. DOI: 10.1080/14639220210159717.
25. Newby, G. B. The Strong Cognitive Stance as a Conceptual Basis for the Role of Information in Informatics and Information System Design. Cognitive space and information space. *Journal of the American Society for Information Science and Technology archive*, 2001, vol. 52, iss. 12, pp. 1026-1048. DOI: 10.1002/asi.1172.
26. Venda, V. F., Venda, Yuri V. *Dynamics in Ergonomics, Psychology, and Decisions: Introduction to Ergodynamics*. Norwood, NJ, Ablex Pub. Corp., 1995. XV, 505 p.
27. Meltzoff, A. N., Kuhl, P. K., Movellan, J., Sejnowski, T. J. Foundations for a new science of learning. *Science*, 2009, vol. 325, pp. 284-288. DOI: 10.1126/science.1175626.
28. Freeman, S. et al. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2014, vol. 111, no. 23, pp. 8410-8415. DOI: 10.1073/pnas.1319030111.
29. Koval`chuk, M. V. Konvergenciya nauk i tekhnologij – prory`v v budushhee [The convergence of science and technology - a breakthrough into the future]. *Rossijskie nanotehnologii*, 2011, vol. 6, no. 1-2, pp. 13-23.
30. Roco, M., Bainbridge W. (eds). *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*. Available at: http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies/Report/NBIC_report.pdf (accessed 04.12.2019).
31. Nahavandi, Saeid. Industry 5.0 – A Human-Centric Solution. *Sustainability*, 2019, vol. 11, iss. 16, Art. 4371. DOI: 10.3390/su11164371
32. Özdemir, Vural., Hekim, Nezh. Birth of Industry 5.0: Making Sense of Big Data with Artificial Intelligence, “The Internet of Things” and Next-

Generation Technology Policy. *Omic: a journal of integrative biology*, 2018, vol. 22, iss. 1. DOI: 10.1089/omi.2017.0194.

33. *Industry 5.0: Announcing the Era of Intelligent Automation*. Available at: <https://www.intellias.com/industry-5-0-announcing-the-era-of-intelligent-automation/> (accessed 04.12.2019).

34. Loshak, Zh. *Geometrizatsiya fiziki* [Geometrization of Physics]. Moscow - Izhevsk, RKhD, 2005. 279 p.

35. Puankare, A. *O nauke. Poslednie my'sli* [About science. Last thoughts]. Moscow, «Nauka» Publ., 1983, pp. 405-620.

36. Vstovskij, G. V. *E'lementy` informacziionnoj fiziki* [Elements of Information Physics]. Moscow, MGIU Publ., 2002. 260 p.

37. Shallouej, A., Trot, D. R. *Shablony` proektirovaniya. Novy`j podkhod k ob`ektno-*

orientirovannomu analizu i proektirovaniyu [Design Patterns Explained: A New Perspective on Object-Oriented Design]. Moscow, «Vil`yams» Publ., 2002. 288 p.

38. Mygal, V. P., But, A. V., Phomin, A. S., Klimenko, I. A. Geometrization of the dynamic structure of the transient photoresponse from zinc chalcogenides. *Semiconductors*, 2015, no. 49, iss. 5, pp. 634–637. DOI: 10.1134/S1063782615050152.

39. But, A. V., Migal, V. P., Fomin, A. S. Structure of a time variable photoresponse from semiconductor sensors. *Technical Physics*, 2012, no. 57, iss. 4, pp. 575-577. DOI: 10.1134/S1063784212040044.

40. Mygal, V. P., Klimenko, I. A., Mygal, G. V. Influence of radiation heat transfer dynamics on crystal growth. *Functional Materials*, 2018, vol. 25, iss. 3, pp. 574-580. DOI: 10.15407/fm25.03.574.

Надійшла до редакції 10.12.2019, розглянута на редколегії 20.01.2020

КОГНИТИВНЫЕ И ЭРГОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА С КОМПЬЮТЕРОМ

Г. В. Мигаль, В. П. Мигаль

Статья посвящена мало исследованным аспектам взаимодействия человека с компьютером, которая определяет живучесть сложной динамической системы в экстремальных условиях. На жизнеспособность ее элементов, включая человека, влияет многообразие стресс-факторов среды и деятельности. Их сочетание может привести к непрогнозируемым техническим отказам и психофизиологическим срывам, а также к системным проблемам управления. Главной целью этой работы является обоснование необходимости актуализации изучения экстремальных принципов физики и их использования в междисциплинарной «Инженерии человеческих факторов», а также в спецкурсах инженерно-технологического направления.

Анализ методов системной динамики, синергетики и когнитивной эргономики свидетельствует, что источником большинства проблем цифровизации динамических систем, с одной стороны, является увеличение разнообразия в методах обработки информационных потоков, типах их визуализации и способах их аналитики, а с другой - вариативность психофизиологических возможностей, ограничений и когнитивного восприятия человеком оператором, (проектировщиком и т.д.) многообразие информации, на основе которой принимаются системные решения. Предлагается расширить междисциплинарные связи, связанные с экстремальными принципами динамики (электродинамики, термодинамики, оптики и другие), интегративными показателями упорядоченности, энергетической сбалансированности и энтропийными критериями динамической устойчивости. Предлагается расширить базу знаний путем трансформации динамики оцифрованных информационных потоков различной природы в структурные паттерны когнитивного пространства вероятных событий. Ее использование в инженерии человеческих факторов позволяет: а) разработать систему интеллектуальной поддержки обучения; б) применить междисциплинарную конвергентную методологию при обучении. Все это будет способствовать более эффективному взаимодействию студента с компьютером и развитию его критического мышления и интуиции, повысит эргономическое качество динамических систем еще на этапе проектирования. Обращено внимание на влияние психофизиологического состояния человека на когнитивное восприятие информационных потоков различной природы, а также на когнитивную предвзятость при принятии системных решений. Поэтому междисциплинарный взгляд на возможности и ограничения человеко-компьютерного (машинного) взаимодействия при воздействии стресс-факторов среды и деятельности очень важен на всех этапах дипломного проектирования компьютерных систем.

Ключевые слова: человеко-компьютерное взаимодействие; когнитивная эргономика; структурные паттерны; когнитивная графика; системная динамика; человеческий фактор, критическое мышление.

COGNITIVE AND ERGONOMIC ASPECTS HUMAN INTERACTIONS WITH A COMPUTER

G. V. Mygal, V. P. Mygal

The article is devoted to little-studied aspects of human-computer interaction, which determines the behavior of a complex dynamic system in extreme conditions. The viability of its elements, including humans, is influenced by a variety of environmental stress factors and activities. Their combination can lead to unpredictable technical

failures and psychophysiological breakdowns, as well as to systemic management problems. The main goal of this work is to justify the need to actualize the study of the extreme principles of physics and their use in the interdisciplinary "Engineering of human factors", as well as in special courses in engineering and technology.

An analysis of the methods of system dynamics, synergetics, and cognitive ergonomics indicates that the source of most problems of digitalization of dynamic systems, on the one hand, is an increase in the diversity in the methods of processing information flows, types of visualization and methods of their analysis, and on the other, the variability of psychophysiological capabilities restrictions and cognitive perception by a human operator, (designer, etc.) the variety of information on the basis of which system decisions are made. It is proposed to expand interdisciplinary connections related to the extreme principles of dynamics (electrodynamics, thermodynamics, optics, and others), integrative indicators of orderliness, energy balance, and the entropy criteria of dynamic stability. It is proposed to expand the knowledge base by transforming the dynamics of digitizing information flows of various nature into structural patterns of the cognitive space of probable events. Its use in the engineering of human factors allows a) to develop an intellectual learning support system; b) apply an interdisciplinary convergent methodology in training. All this will contribute to a more effective interaction between the student and the computer and the development of his critical thinking and intuition, and will increase the ergonomic quality of dynamic systems even at the design stage. Attention is drawn to the influence of the psychophysiological state of a person on the cognitive perception of information flows of various nature, as well as on cognitive bias in making systemic decisions. Therefore, an interdisciplinary view of the possibilities and limitations of human-computer (machine) interaction under the influence of stress factors of the environment and activity is very important at all stages of the graduate design of computer systems.

Keywords: human-computer interaction; cognitive ergonomics; structural patterns; cognitive graphics; system dynamics; human factor, critical thinking.

Мигаль Галина Валеріївна – д-р техн. наук, доц., проф. каф. автомобілів та транспортної інфраструктури, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Мигаль Валерій Павлович – д-р техн. наук, проф., проф. кафедри фізики, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Mygal Galyna – doctor of technical sciences, professor of dept. of Automobile and Transport Infrastructure, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: mygal.galina@gmail.com, ORCID Author ID: 0000-0002-9862-9338, ResearcherID: V-8603-2019.

Mygal Valeriy – doctor of technical sciences, professor, professor of dept. of physics, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkov, Ukraine, e-mail: valeriymygal@gmail.com, ORCID Author ID: 0000-0003-3622-5423, ResearcherID: W-2190-2019.