

<https://doi.org/10.31891/2307-5740-2025-346-5-10>

УДК 331.005.95/.96: 519.8: 519.85

ОСТАПЧУК Ольга

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-4893-0659>ostapchuko@khmnu.edu.ua

ПОПЕРЕЧНИЙ Борис

Хмельницький національний університет

borpopper.kmp2@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ ЩОДО ЛЮДСЬКОГО КАПІТАЛУ ПІДПРИЄМСТВА

Метою статті є обґрунтування застосування економіко-математичних моделей, релевантних стадіям відтворення людського капіталу на підприємстві (формування, використання, розвиток, збереження або звільнення) для оптимізації узгоджених зі стратегічними цілями підприємства управлінських рішень щодо людського капіталу. Інтегруючи кілька напрямів застосування економіко-математичного моделювання в прийнятті рішень щодо людського капіталу, розглянутих у попередніх дослідженнях, у статті пропонуються чотири моделі до застосування. Для оптимізації управлінських рішень щодо використання людського капіталу рекомендується застосувати модель оптимального розподілу наявних людських ресурсів у вигляді моделі цілочисельного програмування максимізації чистого прибутку. З точки зору планування найму, звільнення, навчання доцільно застосувати модель мінімізації загальних витрат пов'язаних зі звільненням, рекрутингом і найманням персоналу, найманням позаштатних працівників та витрат на навчання. Під час розробки оптимальної стратегії управління людським капіталом для досягнення таких цілей, як максимізація чисельності кваліфікованих працівників за одночасної мінімізації витрат, пов'язаних із навчанням та матеріальною базою для недосвідчених працівників, доцільно застосувати модель динаміки трудового колективу, яка будується на засадах SIR-моделі епідемії і становитиме математичний базис клітинно-автоматної імітаційної моделі на підприємстві. Для розуміння й оцінювання ефекту практик управління людським капіталом на підприємстві доцільно застосувати модель у вигляді системи множинних регресій, що модеруються. Застосування описаних моделей сприятиме цілісному підходу до управління людським капіталом на підприємстві.

Ключові слова: людський капітал, управління, підприємство, оптимізаційна модель, модель динаміки, регресії, що модеруються, система.

OSTAPCHUK Olha, POPERETCHYI Borys

Khmelnitskyi National University

APPLICATION OF ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODELING TO OPTIMIZING MANAGEMENT DECISIONS ON HUMAN CAPITAL OF AN ENTERPRISE

The article aims to substantiate the application of economic and mathematical models relevant to the stages of reproduction of human capital in an enterprise (formation, utilization, development, retention or dismissal) to optimize management decisions on human capital consistent with the strategic goals of the enterprise. Integrating several areas of application of economic-mathematical modeling in human capital decision-making discussed in previous studies, the article proposes four models for application. To optimize management decisions on the human capital utilization, it is recommended to apply a model of optimal allocation of existing human resources in the form of an integer programming model for maximizing net profit. From the point of view of planning hiring, firing, and training, it is advisable to apply a model for minimizing the total costs associated with firing, recruitment and hiring, hiring non-staff personnel, and training costs. When developing an optimal human capital management strategy to achieve goals such as maximizing the number of skilled workers while minimizing the costs of training and material resources for unskilled workers, it is advisable to apply the team dynamics model, which is built on the basis of the SIR epidemic model and will form the mathematical basis of the cellular automaton simulation model. For a general understanding and assessment of the effect of human capital management practices at an enterprise, it is advisable to apply a model in the form of a system of multiple moderated regressions. The application of the described models at the enterprise will facilitate a holistic approach to human capital management.

Keywords: human capital, management, enterprise, optimization model, dynamics model, moderated regressions, system.

Стаття надійшла до редакції / Received 01.09.2025

Прийнята до друку / Accepted 28.09.2025

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

«Коли ми оточені невизначеністю, може виникнути спокуса сповільнити прийняття рішень та зайняти вибіжувальну позицію. Або повернутися до спрощених, старих способів мислення, які призводять до рішень, орієнтованих лише на кінцевий результат», – зазначається у звіті [1] щорічного міжнародного дослідження Deloitte «Глобальні тенденції розвитку людського капіталу у 2025 році». В Україні як стримуючий чинник додається безпекова невизначеність: «Сьогодні мені дуже хочеться розширювати бізнес Я справді над цим думаю і поступово планую, але війна та постійні «прильоти» в різні міста України змушують брати велику

паузу в розвитку», – сказав власник релокованого бізнесу [2, с.137]. Проте нерішучість та застаріле мислення обертаються втраченими можливостями. З цим фундаментальним протиріччям зараз стикаються керівники організацій у всьому світі [1]. Крім того, брак досвіду є найпоширенішою проблемою: 66% керівників і топ-менеджерів стверджують, що більшість нещодавно прийнятих на роботу працівників недостатньо підготовлені [1]. «Зібрати команду» вказують як головний виклик 31% релокованих бізнесів через відсутність у новій локації працівників із відповідною кваліфікацією [2].

Ці та інші сучасні проблеми щодо людського капіталу вимагають переходу від інтуїтивно ухвалених управлінських рішень до науково обґрунтованих, забезпечуючи більш ефективне та узгоджене зі стратегічними цілями підприємства управління людським капіталом. Наукове обґрунтування та оптимізація рішень згідно цілей підприємства передбачають застосування методів економіко-математичного моделювання у системі підтримки прийняття управлінських рішень щодо людського капіталу.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Значний пласт зарубіжної літератури з управління людським капіталом (Human Capital Management – HCM) або людськими ресурсами (Human Resource Management – HRM) фокусується на намаганні відповісти на запитання: Як методи HCM (HRM) можуть сприяти підвищенню ефективності діяльності підприємств? Це виявляється в емпіричному підтвердженні впливу HCM (HRM) на поведінку працівників, яка впливатиме на різні аспекти ефективності підприємства. Моделювання структурними рівняннями методом часткових найменших квадратів дозволило встановити, що HCM може виступати як медіатором [3], так і модератором [4]. В [3] виявлено, що зв'язок між стратегічними інноваціями та цифровізацією малих і середніх підприємств (МСП) опосередкований управлінням людським капіталом. Водночас автори [4] довели, що можливості працівника залежать від його навчання і розвитку, а також від рівня задоволеності роботою, яка своєю чергою, залежить від навчання і розвитку, задоволеності заробітною платою, задоволеності керівниками та відсутності гарантій зайнятості. Проте всі ці взаємозв'язки модеруються сприйняттям працівниками практики управління людським капіталом. Крім того, дослідження [5] виявило, що методи HRM, які стимулюють дискреційну поведінку працівників, обмін знаннями та організаційне навчання, позитивно пов'язані з ефективністю підприємницької діяльності. Причому застосування стратегічних методів HRM посилює позитивний зв'язок, що спостерігається, і цей зв'язок найбільш сильний для МСП, які працюють у високотехнологічних галузях. Дослідження [6] підтвердило, що стратегічне HRM має непрямої позитивний зв'язок з інноваціями через свій вплив на динамічні можливості МСП, як і попередні дослідження для великих підприємств.

Інший напрямок досліджень із застосування економіко-математичних методів в HCM – розробка моделей оптимального розподілу наявних людських ресурсів [7, 8]. Зокрема, автори [7] розробили модель розподілу співробітників, що максимізує чистий прибуток, а також відповідно до планування розвитку людських ресурсів на найближчі три роки, визначили оптимальну схему розподілу, що включає модель мінімального звільнення та модель мінімальних витрат.

Особливий інтерес в контексті даного дослідження, на погляд автора, представляє використання епідеміологічних моделей для опису еволюції трудових колективів (команд). У роботі [9] представлена математична модель управління людськими ресурсами у вигляді системи звичайних нелінійних диференціальних рівнянь, яка містить три змінні стани (чисельності новачків і експертів та кількість вакансій); модель описує динаміку цих груп і показує вплив програм навчання й переваги наданих можливостей для співробітників.

Що стосується досліджень українських науковців, то кількість робіт із застосування економіко-математичних методів в HCM обмежена. Дослідницький інтерес в аспекті застосування і подальшого розвитку представляють модифікації транспортної моделі лінійного програмування та моделі призначення [8], методичний підхід до моделювання підбору персоналу [10], інтегральний коефіцієнт ефективності людського капіталу та HRM-процесів для підприємства заснований на системі показників [11].

ВИДІЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ, КОТРИМ ПРИСВЯЧУЄТЬСЯ СТАТТЯ

Відаючи належне глибині і науковості існуючих досліджень, все ж слід зазначити, що питання застосування економіко-математичного моделювання для оптимізації управлінських рішень щодо людського капіталу підприємства залишаються недостатньо дослідженими. Крім того, дослідження українських вчених здебільшого стосуються ІТ-компаній (зокрема, [8], [10]), які мають певну специфіку. Очевидно, що є потреба в універсальних і легко адаптованих моделях, а також цілісного підходу до вибору й застосування економіко-математичних методів і моделей на різних стадіях управління людським капіталом.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою статті є обґрунтування застосування економіко-математичних моделей, релевантних стадіям відтворення людського капіталу на підприємстві (формування, використання, розвиток, збереження або звільнення) для оптимізації узгоджених зі стратегічними цілями підприємства управлінських рішень щодо людського капіталу.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Аналіз релевантної літератури показав, що науковці використовують терміни «управління людським капіталом» (HCM), «управління людськими ресурсами» (HRM), «стратегічне управління людськими ресурсами» (SHRM), тощо, не уточнюючи своє розуміння цих категорій. Дане дослідження не має на меті термінологічного аналізу цих категорій. Українські [12] і закордонні [13] науковці детально досліджують термінологічні суперечності у цій сфері та розрізняють еволюцію підходів науковців і менеджерів. Дане дослідження підтримує таке твердження: «У сучасних економічних умовах менеджери підприємств частіше розглядають трудові ресурси як людський капітал, здатний приносити реальний дохід і створювати прибуток. Водночас для трансформації трудових ресурсів у капітал, що функціонує, необхідні відповідні умови, які б забезпечили реалізацію людського потенціалу у практичних умовах конкретних підприємств та в суспільному виробництві в цілому» [14, с. 42].

Формування цілісного підходу до вибору й застосування економіко-математичних методів і моделей у системі HCM передбачає охоплення всіх напрямів HCM, які релевантні стадіям відтворення людського капіталу на підприємстві: формування, використання, розвиток, збереження або звільнення. Очевидно, що не всі напрями жорстко детерміновані, тому застосування економіко-математичних моделей буде перебувати на перетинах або об'єднаннях деяких з них. При цьому важливим є цілеспрямоване узгодження HCM зі стратегічними цілями підприємства, що дасть змогу направляти працівників з правильною мотивацією, заохочувати необхідні знання та навички, щоб працівники виконували свої ролі та вносили внесок у динамічні можливості підприємства [15].

Для оптимізації управлінських рішень щодо використання наявних людських ресурсів рекомендується застосовувати модель оптимального розподілу наявних людських ресурсів за робочими місцями. У цьому випадку доцільно за основу взяти класичну задачу математичного програмування про розподіл працівників та спиратися на дослідження [7]. Для побудови моделі вводяться такі гіпотези. Структура персоналу підприємства за професійно-кваліфікаційним рівнем й, відповідно, функціональними обов'язками складається з n груп, а підприємство має m підрозділів. Співробітник i -го типу зі щомісячною заробітною платою k_i призначений у j -й підрозділ створює для підприємства середній дохід r_{ij} . Перед особою, яка приймає рішення, постає задача, як розподілити співробітників i -го типу по j -м підрозділам (знайти x_{ij}), щоб отримати максимальний чистий прибуток від їхньої діяльності.

Отже, модель оптимального розподілу наявних людських ресурсів записується у вигляді моделі цілочисельного програмування максимізації чистого прибутку з цільовою функцією (3)

$$NP = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (r_{ij} - k_i) x_{ij} \rightarrow \max \quad (1)$$

та обмеженнями за загальною чисельністю наявних співробітників, структурними обмеженнями різного персоналу в кожному підрозділі, а також умовами цілочисельності та невід'ємності змінних x_{ij} .

Важливо зазначити, що ця модель є детермінованою та не враховує можливі невизначеності щодо заробітної плати, функціонування підрозділів і співробітників, тощо. Проте підприємства для досягнення своїх бізнес-цілей мають визначити оптимальну схему динамічного корегування структури персоналу шляхом набору, перепідготовки, пониження на посаді, звільнення, додаткового набору та набору позаштатного персоналу. При цьому, наприклад, «пониження на посаді призведе до звільнення 40% працівників, крім природного звільнення. Потреби компанії у кількості людей поступово зростають, попит на старших працівників та працівників середньої ланки поступово знижується, а попит на молодших працівників поступово зростає» [7, с. 8]. Тому у системі HCM підприємства доцільно застосувати модель мінімізації загальних витрат, спричинених таким коригуванням структури персоналу. Припущення моделі такі. Працівників можна поділити на три групи за рівнем кваліфікації: висококваліфіковані, кваліфіковані, малокваліфіковані. Загальні витрати C складаються із: плати (D_{tj}) за звільнення працівника j -ої категорії t -му році, додаткових витрат на рекрутинг і наймання персоналу (E_{tj}), витрат на наймання позаштатних працівників (F_{tj}), витрат на навчання (G_{tj}) відповідно для працівників j -ої категорії у t -му році. Ці значення прогнозуються на всі роки планового періоду T років. Перед особою, яка приймає рішення, постає задача, знайти набір значень кількостей відповідних працівників (x_{Dij} , x_{Eij} , x_{Fij} , x_{Gij}), де x_{Dij} – кількість робітників i -ої категорії, звільнених у t -му році і так далі, щоб отримати мінімальні загальні витрати C у плановому періоді.

Виходячи із наведених міркувань, модель мінімізації загальних витрат пов'язаних зі звільненням, рекрутингом і найманням персоналу, найманням позаштатних працівників та витрат на навчання для планового періоду складається з цільової функції (2)

$$C = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^3 (D_{tj} x_{Dij} + E_{tj} x_{Eij} + F_{tj} x_{Fij} + G_{tj} x_{Gij}) \rightarrow \min \quad (2)$$

та обмежень по всім факторам витрат і працівникам встановленим (прогнозованим) на підприємстві, а також умов цілочисельності та невід'ємності змінних.

Застосування моделі (2) в системі HCM дає змогу отримати: 1) план звільнення (наприклад, звільнити одного малокваліфікованого працівника, чия кваліфікація не відповідає посаді протягом 1-го року; у 2-й та 3-

й роки звільнення всіх категорій працівників не потрібне); 2) план набору; 3) план навчання персоналу; 4) план додаткового набору; 5) план пониження в категорії працівників; 6) план просування та працевлаштування співробітників після пониження в категорії. у системі HCM підприємства доцільно застосувати модель мінімізації загальних витрат, спричинених таким коригуванням структури персоналу.

Для аналізу та перспективної динаміки трудового колективу підприємства пропонується застосувати математичну модель, яка будуватиметься на засадах відомої SIR-моделі епідемії [16] та гіпотезах висунутих в [9] для банківського сектору. Отже, висувається гіпотеза, що трудовий колектив можна розбити на три групи: нові працівники, їхня кількість у момент t дорівнює $F(t)$, досвідчені працівники або фахівці – $E(t)$ та вакансії – $V(t)$. Наймання нових працівників залежить від загальної кількості вакансій, вони можуть бути прийняті на роботу з інтенсивністю k . Новачки можуть: перейти на іншу роботу з інтенсивністю β ; вийти на пенсію чи померти з інтенсивністю δ ; за відповідної кваліфікації стати досвідченими працівниками, але лише через навчання у досвідчених працівниках з інтенсивністю γ . Рівень навчання, що дозволяє новачкові стати кваліфікованим працівником, позначається τ .

Що стосується досвідчених працівників, то якщо на підприємстві багато вакансій, тиск на фахівців відчуватиметься тиск на них і через демотивацію вони прагнуть змінити роботу з інтенсивністю ξ . Крім того їхня кількість зменшиться за рахунок переходу на незадовільну роботу через брак можливостей з інтенсивністю ψ , а також через вихід на пенсію або смерть, рівень чого серед кваліфікованих працівників приймається таким же, як і серед нових – δ . Проте їхня кількість збільшиться завдяки навчанню нових робітників на $\gamma F(t)E(t) + \tau F(t)$ осіб.

Кількість вакансій збільшується за рахунок отримання новачками вищої кваліфікації, переходу новачків на іншу роботу, переходу досвідчених працівників на незадовільну роботу через брак можливостей. Водночас, кількість вакансій за наявності на підприємстві великої кількості фахівців зменшується з інтенсивністю φ та під час прийняття на роботу нових працівників.

Виходячи з наведених міркувань, модель динаміки трудового колективу записується як система нелінійних звичайних диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dF(t)}{dt} = kV(t) - \beta F(t) - \gamma F(t)E(t) - \delta F(t) - \tau F(t); \\ \frac{dE(t)}{dt} = -\xi V(t) + \gamma F(t)E(t) - \psi E(t) - \delta E(t) + \tau F(t); \\ \frac{dV(t)}{dt} = -\varphi E(t) + \gamma F(t)E(t) - kV(t) + \beta F(t) + \delta F(t) + \psi E(t) + \delta E(t) + \xi V(t). \end{cases} \quad (3)$$

За моделлю (3), використовуючи принцип максимуму Понтрягіна [9], визначаються оптимальні стратегії HCM для досягнення таких цілей, як максимізація чисельності кваліфікованих працівників за одночасної мінімізації витрат, пов'язаних із навчанням та матеріальною базою для недосвідчених працівників. Отже, реалізація моделі (3) на даних підприємства дає змогу кількісно оцінити і спрогнозувати, як взаємодії між новачками та фахівцями (програми навчання) сприяють скороченню кількості недосвідчених молодих працівників і збільшують загальну кількість працівників, розширюючи можливості підприємства; або, як невелика кількість таких взаємодій створює навантаження у вигляді великої кількості недосвідчених працівників, що негативно впливає на ефективність діяльності підприємства. Під час автоматизації процесу HCM модель (3) має стати математичним підґрунтям клітинно-автоматної імітаційної моделі. В [17], детально описано процес створення такої моделі, програмний код та результати імітаційних експериментів.

Для загального розуміння та оцінювання ефекту практик HCM на підприємстві доцільно розробити модель, запропоновану в [4]. На підставі цього дослідження висуваються такі гіпотези. На рівень можливостей (здібностей) працівника (*Employee Capabilities – EC*) надають прямий позитивний вплив навчання та розвиток (*Training and Development, T&D*) працівника та його задоволеність роботою (*Job Satisfaction – JS*). Зазначимо, що з концептуальної точки зору продуктивність праці тісно пов'язана з можливостями співробітника [4]. У свою чергу, на рівень задоволеності роботою (*JS*) здійснюють прямий позитивний вплив навчання та розвиток (*T&D*), задоволеність працівника заробітною платою (*Pay Satisfaction – PS*) і задоволеність керівником (*Supervisor Satisfaction – SS*), але невпевненість працівника у роботі (*Job Insecurity – JI*) здійснює прямий негативний вплив на його задоволеність роботою (*JS*). Однак описані впливи модеруються (регулюються) практиками управління людським капіталом (*HCM*), тому конструкції взаємодії утворюються як добутки змінної-модератора *HCM* на відповідні ендегенні змінні. Отже, теоретична модель, що пояснює можливості працівників з точки зору знань, являє собою дві множинні регресії, що модеруються:

$$\begin{cases} EC = f(T\&D, JS, HCM \times T\&D, HCM \times JS); \\ JS = f(T\&D, PS, SS, JI, HCM \times T\&D, HCM \times PS, HCM \times SS, HCM \times JI). \end{cases} \quad (4)$$

Очевидно, що регресії моделі (4) містять сильно корельовані змінні, данні не завжди будуть нормально розподіленими, а розміри вибірок не завжди будуть достатнього об'єму. Все це спричинює моделювання структурних рівнянь за методом часткових найменших квадратів (PLS-SEM). Проте в окремих випадках [4], інтерпретація результатів PLS може неточно відображати фактичний ефект модерації *HCM*. Для

вирішення цієї проблеми доцільно провести два тести на модуляцію: з використанням PLS і з використанням множинної регресії, що модулюється (MMR).

Отже, описані моделі складають математичний базис системи підтримки прийняття рішень щодо управління людським капіталом за визначеними його напрямками.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Інтегруючи кілька напрямів застосування економіко-математичного моделювання в прийнятті рішень щодо людського капіталу, розглянутих у попередніх дослідженнях, стаття пропонує положення і моделі, що заслуговують на подальше вивчення. Формування цілісного підходу до вибору й застосування економіко-математичних методів і моделей у системі HCM передбачає охоплення всіх напрямів HCM, які релевантні стадіям відтворення людського капіталу на підприємстві: формування, використання, розвиток, збереження або звільнення. Для оптимізації управлінських рішень щодо використання людського капіталу рекомендується застосувати модель оптимального розподілу наявних людських ресурсів у вигляді моделі цілочисельного програмування максимізації чистого прибутку (1). З точки зору планування найму, звільнення, навчання доцільно застосувати модель (2) мінімізації загальних витрат пов'язаних зі звільненням, рекрутигом і найманням персоналу, найманням позаштатних працівників та витрат на навчання для планового періоду. Під час розробки оптимальної стратегії HCM для досягнення таких цілей, як максимізація чисельності кваліфікованих працівників за одночасної мінімізації витрат, пов'язаних із навчанням та матеріальною базою для недовідчених працівників, доцільно застосувати модель динаміки трудового колективу (3) яка будується на засадах SIR-моделі епідемії у вигляді системи нелінійних звичайних диференціальних рівнянь, яка має стати математичним підґрунтям для клітинно-автоматної імітаційної моделі на підприємстві. Для загального розуміння та оцінювання ефекту практик HCM на підприємстві доцільно застосувати модель (4), у вигляді системи множинних регресій, що модулюються.

Подальші дослідження мають спрямовуватися на розвиток цих моделей з точки зору врахування чинників невизначеності та емпіричної наповнюваності. Крім того, враховуючи той незаперечний факт, що стрімкий розвиток штучного інтелекту змінює методи роботи, виникає нагальна потреба у розробці методичного забезпечення для допомоги керівникам вибудовувати довірчі відносини та підготувати свої команди до роботи зі штучним інтелектом.

Література

1. Deloitte. 2025. *Global Human Capital Trends*. 2025. URL: <https://www.deloitte.com/us/en/insights/topics/talent/human-capital-trends.html>
2. Yakymova L. *Business Relocation in Wartime: Stories of an Unfinished War*. Chernivtsi, Ukraine: Tehnodruk, 2025. 180 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/388328105_BUSINESS_RELOCATION_IN_WARTIME_Stories_of_an_Unfinished_War
3. Hossain M.B., Rahman M.U., Čater T., Vasa L. Determinants of SMEs' strategic entrepreneurial innovative digitalization: examining the mediation role of human capital. *European Journal of Innovation Management*, 2025. №28(7), P. 2733–2760. <https://doi.org/10.1108/EJIM-02-2024-0176>.
4. Bontis N., Serenko A. The moderating role of human capital management practices on employee capabilities. *Journal of Knowledge Management*, 2007. №11(3). P. 31–51. <https://doi.org/10.1108/13673270710752090>.
5. Hayton C. J. Strategic Human Capital Management in SMEs: An Empirical Study of Entrepreneurial Performance. *Human Resource Management*, 2004. №42(4). P. 375 – 391. <https://doi.org/10.1002/hrm.10096>.
6. Ho M., Soo C., Tian A., Teo S. T. Influence of strategic HRM and entrepreneurial orientation on dynamic capabilities and innovation in small- and medium-sized enterprises. *International Small Business Journal: Researching Entrepreneurship*, 2024. №42(5). P. 611-640. <https://doi.org/10.1177/02662426231201761>.
7. Shen L., Liu K., Chai, J., Ma W., Guo X., Li Y., Zhao P., Liu B. Research on the Mathematical Model for Optimal Allocation of Human Resources in the Operation and Maintenance Units of a Heavy Haul Railway. *Mathematics*, 2022. №10(19). P. 3707. <https://doi.org/10.3390/math10193707>.
8. Chornous G., Anisimova L., Didenko I., Bilous K. Mathematical Support for Human Resource Management in IT Projects. *11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*, Deggendorf, Germany, 2021. P. 265-269. <https://doi.org/10.1109/ACIT52158.2021.9548622>.
9. Mallick U. K., Biswas M. H. A. Mathematical modeling for optimal management of human resources in banking sector of Bangladesh. *Journal of Applied Mathematics*, 2023. P. 1–21. <https://doi.org/10.1155/2023/1321365>.
10. Івченко, І.Ю., Лінгур, Л.М., Філатова, Т.В. Моделювання управління кадрами на ІТ-ринку праці. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна серія «Економічна»*, 2021. №101. С. 101-112. <https://doi.org/10.26565/2311-2379-2021-101-10>.

11. Грішнова О. Ефективні моделі управління людським капіталом на основі цифрових технологій. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Економіка*, 2025. №1(226). С. 39–47. <https://doi.org/10.17721/1728-2667.2025/226-1/5>.
12. Мельничук Д.П. *Людський капітал: пріоритети модернізації суспільства у контексті поліпшення якості життя населення*: монографія. Житомир: Полісся, 2015. 564 с. URL: https://idss.org.ua/monografii/2015_Melnichuk.pdf
13. Afiouni F. Human capital management: a new name for HRM? *International Journal Learning and Intellectual Capital*, 2013. №10(1), P.18–34. <https://doi.org/10.1504/IJLIC.2013.052081>
14. Швец І.Б., Позднякова С.В. *Оцінка нагромадження людського капіталу на промислових підприємствах*. Донецьк: Норд-Пресс, 2010. 172 с.
15. Verona G, Zollo M. The human side of dynamic capabilities: A holistic learning model. In: M. Easterby-Smith, M. A. Lyles (Eds.), *Handbook of Organizational Learning and Knowledge Management*. Wiley, 2012. P. 535–550. <https://doi.org/10.1002/9781119207245.ch24>.
16. Kermack W.O., McKendrick A.G. A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 1927. №115(772). P. 700–721. URL: http://alun.math.ncsu.edu/wp-content/uploads/sites/2/2017/01/kermack_27.pdf
17. Якимова Л. П. *Еволюція пенсійних систем: аналіз, моделювання, прогноз*: монографія. Алчевськ: ДонДТУ, 2013. 358 с. URL: <https://archer.chnu.edu.ua/xmlui/handle/123456789/462>
18. Чобіток В. І., Морозова О. О. Формування системи управління людським капіталом на підприємствах торгівлі в цифровому середовищі: теоретичні аспекти. *Вчені записки*. 2024. № 35(2). С. 165–176. DOI 10.33111/vz_kneu.35.24.02.15.103.109

References

1. Deloitte (2025). 2025 Global Human Capital Trends. Available at URL: <https://www.deloitte.com/us/en/insights/topics/talent/human-capital-trends.html>
2. Yakymova L. (2025). *Business Relocation in Wartime: Stories of an Unfinished War*. Chernivtsi, Ukraine: Tehnodruk. Available at URL: https://www.researchgate.net/publication/388328105_BUSINESS_RELOCATION_IN_WARTIME_Stories_of_an_Unfinished_War
3. Hossain M.B., Rahman M.U., Čater T., Vasa L. (2025). Determinants of SMEs' strategic entrepreneurial innovative digitalization: examining the mediation role of human capital. *European Journal of Innovation Management*, 28(7), 2733–2760. <https://doi.org/10.1108/EJIM-02-2024-0176>.
4. Bontis N., Serenko A. (2007). The moderating role of human capital management practices on employee capabilities. *Journal of Knowledge Management*, 11(3), 31–51. <https://doi.org/10.1108/13673270710752090>.
5. Hayton C. J. (2004). Strategic Human Capital Management in SMEs: An Empirical Study of Entrepreneurial Performance. *Human Resource Management*, 42(4), 375 – 391. <https://doi.org/10.1002/hrm.10096>.
6. Ho, M., Soo, C., Tian, A., & Teo, S. T. (2024). Influence of strategic HRM and entrepreneurial orientation on dynamic capabilities and innovation in small- and medium-sized enterprises. *International Small Business Journal: Researching Entrepreneurship*, 42(5), 611–640. <https://doi.org/10.1177/02662426231201761>.
7. Shen, L., Liu, K., Chai, J., Ma, W., Guo, X., Li, Y., Zhao, P., & Liu, B. (2022). Research on the Mathematical Model for Optimal Allocation of Human Resources in the Operation and Maintenance Units of a Heavy Haul Railway. *Mathematics*, 10(19), 3707. <https://doi.org/10.3390/math10193707>.
8. Chornous G., Anisimova L., Didenko I. & Bilous K. (2021). Mathematical Support for Human Resource Management in IT Projects. *11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*. Deggendorf, Germany, 265–269. <https://doi.org/10.1109/ACIT52158.2021.9548622>.
9. Mallick, U. K., & Biswas, M. H. A. (2023). Mathematical modeling for optimal management of human resources in banking sector of Bangladesh. *Journal of Applied Mathematics*, 2023, 1–21. <https://doi.org/10.1155/2023/1321365>
10. Ivchenko, I., Lingur, L., Filatova, T. (2021). Human resources management simulation in the IT-labor market. *Bulletin of V. N. Karazin Kharkiv National University Economic Series*, 101, 101–112. <https://doi.org/10.26565/2311-2379-2021-101-10> (in Ukrainian)
11. Grishnova, O. (2025). Effective models of human capital management based on digital technologies. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Economics*, 1(226). 39–47. <https://doi.org/10.17721/1728-2667.2025/226-1/5> (in Ukrainian)
12. Melnychuk, D.P. (2015). *Human capital: priorities of modernization of society in the context of improving the quality of life of the population*. Zhytomyr, Ukraine: Polissya. Available at URL: https://idss.org.ua/monografii/2015_Melnichuk.pdf (in Ukrainian).
13. Afiouni, F. (2013). Human capital management: a new name for HRM? *International Journal Learning and Intellectual Capital*, 10(1), 18–34. <https://doi.org/10.1504/IJLIC.2013.052081>
14. Shvets I.B., Pozdnyakova S.V. (2010). *Assessment of human capital accumulation in industrial enterprises*. Donetsk, Ukraine: Nord-Press (in Ukrainian).
15. Verona G, Zollo M (2012) The human side of dynamic capabilities: A holistic learning model. In: M. Easterby-Smith, M. A. Lyles (Eds.), *Handbook of Organizational Learning and Knowledge Management*. Wiley, pp.535–550. <https://doi.org/10.1002/9781119207245.ch24>
16. Kermack W.O., McKendrick A.G. (1927). A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 115(772). 700–721. Available at URL: http://alun.math.ncsu.edu/wp-content/uploads/sites/2/2017/01/kermack_27.pdf
17. Yakymova L.P. (2013). *Evolution of pension systems: analysis, modeling, forecast*. Alchevsk, Ukraine: DonSTU. Available at URL: <https://archer.chnu.edu.ua/xmlui/handle/123456789/462> (in Ukrainian).
18. Chobitok V. I., Morozova O. O. Formuvannia systemy upravlinnia liudskym kapitalom na pidpriemstvakh torhivli v tsyfrovomu sere dovys hchi: teoretychni aspekty. *Vcheni zapysky*. 2024. № 35(2). S. 165–176. (in Ukrainian). DOI 10.33111/vz_kneu.35.24.02.15.103.109