

# Розрахунково-модельний підхід до визначення кількості засобів цифрового виробництва у навчальній лабораторії

## A Computational and Modelling Approach to Determining the Number of Digital Production Resources in a Teaching Laboratory

Станіслав Марченко <sup>1</sup>  
Stanislav Marchenko

<sup>1</sup> *Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv National Pedagogical University*  
24 Kyiv street, Hlukhiv, Ukraine, 41400

DOI: [10.22178/pos.130-2](https://doi.org/10.22178/pos.130-2)

LCC Subject Category: PE1001-1693

Received 06.03.2026  
Accepted 28.05.2026  
Published online 31.05.2026

Corresponding Author:  
[Stanislav Marchenko](#)

© 2026 The Author. This article is licensed  
under a [Creative Commons Attribution 4.0](#)  
License 

**Анотація.** У статті розглянуто проблему визначення кількості засобів цифрового виробництва в навчальній лабораторії як важливу складову її матеріально-технічного забезпечення. Актуальність дослідження зумовлена поширенням 3D-принтерів, лазерних різаків і верстатів із числовим програмним керуванням у закладах освіти та відсутністю обґрунтованого підходу до визначення їх оптимальної кількості для організації повноцінного освітнього процесу. Наголошено, що на практиці оснащення лабораторій часто здійснюється або відповідно до бюджетних можливостей закладу, або на підставі формальних переліків обладнання без належного педагогічного й організаційного обґрунтування, що може призводити як до дефіциту обладнання, так і до його надлишку.

Метою статті є обґрунтування розрахунково-модельного підходу до визначення потреби в засобах цифрового виробництва в навчальній лабораторії з урахуванням педагогічних і нормативних чинників. Для досягнення мети використано аналіз нормативних документів, порівняльний аналіз наукових публікацій і метод теоретичного моделювання. Встановлено, що засоби цифрового виробництва мають дві принципові особливості, які визначають специфіку їх використання в освітньому процесі: автономний режим роботи після запуску завдання та нероздільність виконуваної операції. У зв'язку з цим обґрунтовано, що для таких засобів неприйнятною є ротаційна модель організації роботи, а базовим педагогічно доцільним співвідношенням слід вважати двох здобувачів на одну одиницю обладнання.

Запропоновано двоетапний розрахунково-модельний підхід, що передбачає визначення базової кількості обладнання з урахуванням резерву та її подальше коригування відповідно до реальних умов освітнього процесу. Підхід орієнтовано на обґрунтування такої кількості засобів цифрового виробництва, яка забезпечує їх повноцінне використання як інструменту практичної підготовки, а не епізодичне чи демонстраційне застосування. Зроблено висновок, що запропонований підхід може бути використаний як стартова модель для планування оснащення навчальних лабораторій.

**Ключові слова:** засоби цифрового виробництва; 3D-принтер; лазерних різак; верстат із ЧПК; навчальна лабораторія; технологічна освіта; розрахунково-модельний підхід.

**Abstract.** This article examines the issue of determining the number of digital production tools in a teaching laboratory as a key component of its material and technical support. The relevance of this research stems from the widespread use of 3D printers, laser cutters, and CNC machines in educational institutions, and the lack of a well-founded approach to determining the optimal number of these machines for the organisation of a comprehensive educational process. It is emphasised that, in practice, laboratories are often equipped either in accordance with the institution's budgetary capabilities or on the basis of formal lists of equipment, without proper pedagogical and organisational justification, which can lead to both shortages and surpluses of equipment.

The article aims to justify a computational modelling approach for determining the need for digital production resources in a teaching laboratory, taking into account pedagogical and regulatory factors. To achieve this aim, regulatory documents were analysed, scientific publications were comparatively analysed, and theoretical modelling was employed. It has been established that digital production tools have two fundamental characteristics that determine their use in the educational process: autonomous operation after a task is launched and the indivisibility of the operation. In this regard, it is argued that a rotational model of work organisation is unsuitable for such tools, and the basic, pedagogically appropriate ratio should be 2 students per unit of equipment.

A two-stage calculation and modelling approach is proposed that involves determining the basic quantity of equipment, accounting for a reserve, and subsequently adjusting it to reflect the actual conditions of the educational process. The approach aims to justify a set of digital production tools that ensure their full utilisation as practical training tools, rather than sporadic or demonstrative use. It is concluded that the proposed approach can serve as a starting point for planning the equipment of educational laboratories.

**Keywords:** digital production tools; 3D printer; laser cutter; CNC machine; educational laboratory; technological education; calculation and modelling approach.

## ВСТУП

Стрімкий розвиток технологічної освіти та поширення STEM-підходу в закладах загальної середньої і професійної освіти зумовили масове впровадження засобів цифрового виробництва (ЗЦВ): 3D-принтерів, лазерних різаків, верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК). Такі засоби навчання стають невід'ємними компонентами сучасних навчальних лабораторій, фаблабів і STEM-просторів, забезпечуючи здобувачам освіти можливість реалізувати повний цикл проектно-технологічної діяльності – від цифрового моделювання до виготовлення реального виробу.

Водночас практика оснащення освітніх закладів виявляє суттєву прогалину: придбання засобів цифрового виробництва здійснюється або «на підставі бюджетних можливостей», або орієнтуючись на формальні переліки обладнання, затверджені відомчими документами, без науково обґрунтованого підходу до визначення їх оптимальної кількості. Наслідком такого підходу є дві протилежні, але однаково небажані ситуації. По-перше, нестача обладнання: здобувачі тривалий час пасивно очікують своєї черги, що суттєво знижує ефективність освітнього процесу та рівень мотивації. По-друге, надлишок: значна частина дорогого обладнання виявляється незадіяною, що означає нераціональне використання освітніх ресурсів.

Така ситуація зумовлює потребу в розробці методично обґрунтованого підходу до розрахунку кількості ЗЦВ у навчальній лабораторії – підходу, що спирається водночас на педагогічні вимоги до організації практичних занять і на чинні нормативні документи у сфері освіти [1, 2].

Питання впровадження засобів цифрового виробництва в освітній процес перебуває в полі зору зарубіжних дослідників упродовж останніх десяти років. Найбільш повний огляд використання 3D-друку та інших ЗЦВ в освіті здійснили Ford і Minshall [4], які систематизували понад сто досліджень і виявили шість основних напрямів застосування цих технологій у освітньому процесі. Проте питання кількісного забезпечення обладнанням залишилося поза увагою авторів.

Автори [7] провели систематичний огляд досліджень шкільних макерспейсів у США, зосередившись на результатах навчання та форматах діяльності здобувачів. Дослідники Soomro, Nanjappan, Casakin та Georgiev [5] дослідили механізми формування практичних навичок і творчого мислення у просторах цифрового виробництва, показавши ключову роль практично-орієнтованого підходу. Автор [8] вивчав мотиваційні аспекти участі здобувачів у «мейкер»-активностях, підкресливши залежність залученості від організації освітнього процесу. Попри цінність отриманих результатів, жодне з цих досліджень не ставить завдання обґрунтування кількості обладнання.

Серед досліджень організації практичної роботи з ЗЦВ особливий інтерес становить робота Pijls та ін. [6], присвячена аналізу занять у макерспейсах публічних бібліотек. Автори описують практику організації груп до п'ятнадцяти учасників при роботі з лазерним різакон і 3D-принтером, однак не формулюють загальних принципів розрахунку необхідної кількості обладнання. Стандарти оснащення фаблабів, опубліковані Fab Foundation [10], також обмежуються переліком рекомендованих типів обладнання без педагогічного обґрунтування їх кількості.

Нормативний вимір проблеми представлений, з одного боку, українським законодавством. Наказ Міністерства освіти і науки України № 574 від 29 квітня 2020 року [1] визначає типовий перелік засобів навчання та обладнання для STEM-лабораторій, проте не вста-

новлює методики визначення їх кількості. Санітарний регламент для закладів загальної середньої освіти [2] задає нормативні рамки організації освітнього середовища та практичної роботи, однак без прямого співвіднесення цих вимог із кількістю одиниць конкретного цифрового обладнання. З іншого боку, британський стандарт [3] та рекомендації Association [9] фіксують граничну наповнюваність простору для дизайну і технологій на рівні двадцяти здобувачів на одного викладача і наголошують на необхідності оцінки ризиків для обладнання підвищеної небезпеки, що в окремих випадках може зумовлювати зниження цього показника.

Таким чином, незважаючи на широке вивчення тематики засобів цифрового виробництва в освіті, у наявній науковій і нормативній літературі відсутня методика визначення оптимальної кількості ЗЦВ у навчальній лабораторії, що спирається на педагогічно обґрунтовані критерії. Ця прогалина визначає актуальність і мету пропонованого дослідження.

*Метою статті є обґрунтування розрахунково-модельного підходу до визначення орієнтовної кількості засобів цифрового виробництва в навчальній лабораторії, що може бути використана для планування її оснащення з урахуванням педагогічних і нормативних чинників.*

Для досягнення мети визначено такі завдання: 1) виявити специфіку засобів цифрового виробництва як навчального обладнання, що впливає на організацію роботи здобувачів; 2) обґрунтувати оптимальне співвідношення кількості здобувачів на одиницю обладнання; 3) розробити двоетапну розрахункову модель визначення кількості ЗЦВ з урахуванням нормативних обмежень, коефіцієнта резервування та коригуючого коефіцієнта реальних умов освітнього процесу; 4) проілюструвати практичне застосування запропонованого підходу.

Для досягнення поставленої мети використано комплекс взаємодоповнювальних методів дослідження. Аналіз нормативних документів – українського санітарного регламенту та британського стандарту BS 4163:2021 – дозволив визначити нормативні межі наповнюваності навчальної майстерні як вхідний параметр розрахунку. Порівняльний аналіз вітчизняних і зарубіжних наукових публіка-

цій уможливив виявлення специфіки засобів цифрового виробництва як навчального обладнання та визначення оптимального педагогічного співвідношення здобувачів на одиницю обладнання. Метод теоретичного моделювання застосовано для побудови двоетапної розрахункової моделі та обґрунтування значень коефіцієнтів  $R$  і  $K$ . Запропонована модель має теоретичний характер і потребує подальшої емпіричної верифікації в умовах реального освітнього процесу, що визначає перспективи подальших досліджень.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для обґрунтованого розрахунку кількості ЗЦВ принципово важливо розуміти, чим ці засоби навчання відрізняються від традиційного майстернього обладнання – токарних, фрезерних, деревообробних верстатів тощо.

Традиційний верстат у навчальній майстерні вимагає постійної активної участі оператора: здобувач весь час підтримує безпосередній фізичний контакт із заготовкою та інструментом, приймає рішення в режимі реального часу. Відповідно, кожен верстат прив'язаний до одного здобувача на весь час виконання операції.

Засоби цифрового виробництва функціонують принципово інакше. Ключова особливість ЗЦВ – автономний режим роботи: після підготовки цифрового файлу, налаштування машини та запуску завдання обладнання виконує роботу самостійно, без безперервної участі оператора. Активна взаємодія здобувача з обладнанням зводиться до відносно коротких фаз: підготовка файлу → налаштування і калібрування машини → завантаження завдання → контроль початку роботи → знімання готового виробу та оцінювання якості. Сам процес виготовлення – нерідко тривалий (від кількох хвилин до кількох годин для 3D-друку) – відбувається без постійної присутності здобувача безпосередньо біля машини [4; 5].

Друга принципова особливість – нероздільність виконуваного завдання. На відміну від токарної операції, яку теоретично можна зупинити і передати іншому здобувачу, завдання цифрового виробництва не може бути перервано і передано: 3D-принтер, що друкує виріб, або лазерний різак, що виконує розкрій, зайняті до повного завершення роботи.

Спроба перервати процес на половині зазвичай означає втрату матеріалу і часу [10].

Показовим у цьому контексті є приклад токарного верстата по дереву в традиційній шкільній майстерні. Такі верстати, як правило, були присутні в меншій кількості, ніж учнів у підгрупі, однак це не створювало педагогічної проблеми: токарна робота тривала кілька хвилин, здобувачі по чергово змінювали один одного, і верстат практично не простоював. Ротаційна модель організації була можливою саме тому, що завдання було подільним – його можна було перервати і передати іншому без втрати результату. Засоби цифрового виробництва позбавлені цієї властивості: завдання, розпочате на 3D-принтері, лазерному різаку чи ЧПК-верстаті, не може бути передане іншому здобувачу в процесі виконання – зупинка означає втрату матеріалу і часу. Саме нероздільність завдання унеможливорює ротаційну модель і вимагає, щоб кожна пара здобувачів мала гарантований доступ до окремої одиниці обладнання впродовж усього заняття.

Ці дві особливості – автономність і нероздільність – у сукупності визначають принципово інший підхід до організації навчальної роботи з ЗЦВ порівняно з традиційними верстатами. Зокрема, вони відкривають педагогічно виправдану можливість паралельної роботи одного здобувача з обладнанням та іншого здобувача на підготовчому або аналітичному етапі – при тому, що обидва залучені до одного завдання.

Перш ніж формулювати розрахункову формулу, необхідно визначити нормативні межі кількості здобувачів, що одночасно перебувають у навчальній лабораторії ЗЦВ, оскільки саме ця величина є вхідним параметром розрахунку.

Водночас слід наголосити, що запропонований підхід орієнтований не просто на формальну наявність засобів цифрового виробництва в освітньому середовищі, а на їх повноцінне використання в освітньому процесі. Теоретично окремі навчальні завдання можуть виконуватися і за наявності однієї одиниці обладнання, однак у такому разі ЗЦВ здебільшого виконуватиме демонстраційну або епізодичну функцію і не забезпечуватиме систематичної практичної діяльності всіх здобувачів підгрупи. Тому розрахунок кількості обладнання в межах цього дослідження спрямова-

ний на визначення таких параметрів оснащення лабораторії, які дають змогу використовувати засоби цифрового виробництва як повноцінний інструмент навчання, а не як поодинокий технічний додаток до освітнього процесу.

За українським Санітарним регламентом для закладів загальної середньої освіти [2], організація практичної роботи в освітньому середовищі має здійснюватися з урахуванням установлених санітарно-безпекових вимог. Для потреб цього дослідження як базове граничне значення навчальної підгрупи приймаємо 15 здобувачів, що відповідає поширеній організації роботи в майстернях і не суперечить чинним нормативним обмеженням.

Британський стандарт BS 4163:2021+A1:2022 [3] та рекомендації Design and Technology Association [9] встановлюють більш ліберальний орієнтир – до двадцяти здобувачів при одному педагогові в просторі для дизайну і технологій. Водночас ці документи підкреслюють, що остаточне рішення має залежати від оцінки ризиків, специфіки обладнання, планування приміщення та рівня підготовки здобувачів.

Практика організації занять у макерспейсах, описана Pijls та ін. [6], також свідчить про доцільність роботи з відносно невеликими групами при використанні 3D-принтера і лазерного різача: за таких умов легше забезпечити безпеку, індивідуальну підтримку та педагогічний супровід учасників.

Таким чином, для подальшого розрахунку доцільно прийняти  $n = 15$  здобувачів як базове максимальне значення навчальної підгрупи. Воно узгоджується з українськими нормативними вимогами до організації безпечного освітнього середовища і водночас відповідає практиці роботи в сучасних просторах цифрового виробництва.

Центральним питанням пропонованого підходу є визначення оптимального співвідношення кількості здобувачів на одну одиницю обладнання. Розглянемо можливі варіанти.

Індивідуальний режим (1 здобувач : 1 одиниця обладнання) забезпечує максимальну залученість кожного здобувача до роботи з обладнанням. Проте для групи з п'ятнадцяти здобувачів це означає необхідність п'ятнадцяти одиниць ЗЦВ – що є економічно недоцільним і, з огляду на типові площі нав-

чальних приміщень, просторово нереалістичним. Крім того, враховуючи автономний характер роботи ЗЦВ, значна частина часу здобувача в індивідуальному режимі все одно проходить у пасивному очікуванні завершення роботи машини.

Парна робота (2 здобувачі : 1 одиниця обладнання) є педагогічно виправданою з кількох позицій. По-перше, вона спирається на принципи кооперативного навчання: під час роботи з обладнанням відбувається природний розподіл ролей – один здобувач безпосередньо керує машиною, другий спостерігає, фіксує результати, аналізує та готується до наступного кроку; потім ролі змінюються. Така структура відповідає моделі взаємного навчання (peer learning), ефективність якої підтверджена в дослідженнях Nikou [8]. По-друге, парний формат природно узгоджується зі специфікою ЗЦВ: поки обладнання автономно виконує завдання, обидва здобувачі можуть спільно здійснювати підготовчі або аналітичні дії. По-третє, практика фаблабів і макерспейсів свідчить, що робота в парах є найбільш поширеним і ефективним форматом при роботі з засобами цифрового виробництва [5; 6].

Групи з трьох і більше здобувачів на одну одиницю обладнання перетинають критичну педагогічну межу: третій і всі наступні здобувачі неминуче переходять у пасивну роль спостерігачів, що суперечить принципам активного навчання та унеможливорює набуття практичних умінь в умовах обмеженого навчального часу.

На підставі наведеного аналізу парну модель роботи доцільно розглядати як базове педагогічно виправдане співвідношення – 2 здобувачі на 1 одиницю обладнання. Це співвідношення не претендує на статус універсальної норми для всіх умов, однак може бути використане як вихідне для розрахунку матеріально-технічного забезпечення лабораторії.

У межах пропонованого розрахунково-модельного підходу визначення кількості засобів цифрового виробництва здійснюється у два послідовні етапи. Така структура розрахунку зумовлена необхідністю розмежувати два типи коригування: на першому етапі враховується резерв на випадок технічної недоступності обладнання, на другому – реальні організаційно-педагогічні умови освітнього процесу. На першому етапі визначається ба-

зова кількість обладнання з урахуванням резерву:  $N_{base} = (n / 2) \times R$ , де  $N_{base}$  – базова кількість одиниць обладнання;  $n$  – кількість здобувачів у підгрупі; 2 – базове співвідношення здобувачів на одиницю обладнання;  $R$  – коефіцієнт резервування. У цій статті як робоче значення запропоновано  $R = 1,1$ , що передбачає приблизно десятивідсотковий резерв. Результат округлюється до більшого цілого числа.

На другому етапі базова кількість коригується з урахуванням реальних умов освітнього процесу:  $N = N_{base} \times K$ , де  $N$  – остаточна розрахункова кількість одиниць обладнання;  $K$  – коригуючий коефіцієнт ( $0 < K \leq 1$ ). На відміну від базового розрахунку, цей етап має варіативний характер, тому його результат інтерпретується як орієнтовне значення для планування оснащення, а не як жорстко фіксована норма.

Введення коригуючого коефіцієнта  $K$  зумовлене тим, що в реальних умовах освітнього процесу фактична одночасна потреба в одиницях обладнання зазвичай є дещо меншою за базову розрахункову величину. У межах запропонованого підходу значення  $K$  доцільно визначати з урахуванням принаймні трьох чинників.

Перший чинник – реальна явка здобувачів. Заняття в лабораторії засобів цифрового виробництва є практично орієнтованими і зазвичай викликають підвищену мотивацію, тому явка на них часто є високою. Разом із тим навіть незначне відхилення від повного складу підгрупи зменшує пікову одночасну потребу в обладнанні.

Другий чинник – готовність до роботи з обладнанням. Навіть за умови повної явки не всі здобувачі одночасно готові запустити машину. Причинами можуть бути різний рівень підготовки, неповне виконання підготовчого завдання, відсутність допуску до роботи через неготовність цифрової моделі або недостатнє опанування прийомів безпечної роботи. Відповідно, в певний момент заняття частина пар ще перебуває на підготовчому етапі і фактично не задіює обладнання.

Третій чинник – специфіка навчального завдання. Окремі види занять не передбачають одночасної самостійної роботи всіх пар на окремих машинах. Зокрема, на етапі первинного ознайомлення з обладнанням або колек-

тивної демонстрації прийомів роботи педагогом кілька пар здобувачів можуть спостерігати за роботою однієї машини – не розриваючи при цьому парного складу. У таких випадках фактична потреба в одиницях обладнання є нижчою за розрахункову норму.

З урахуванням двох перших чинників значення коефіцієнта  $K$  може бути подано як добуток двох складових:  $K = K_1 \times K_2$ , де  $K_1$  – коефіцієнт явки,  $K_2$  – коефіцієнт готовності до роботи. У межах авторської моделі як робочі орієнтири пропонуються значення  $K_1 = 0,95$  та  $K_2 = 0,85$ – $0,95$  залежно від рівня підготовки групи.

Відповідно, орієнтовний діапазон  $K$  становить:  $K = 0,95 \times 0,85$ – $0,95 \approx 0,8$ – $0,9$ .

Третій чинник – специфіка навчального завдання – свідомо не включається до базової формули визначення  $K$ , оскільки, на відміну від перших двох, він не є відносно сталою характеристикою освітнього процесу, а має ситуативний характер. На ознайомлювальних або демонстраційних заняттях педагог може додатково знижувати фактичну потребу в окремих машинах порівняно з розрахунковою.

Практичне застосування формули унаочнимо на прикладі розрахунку для навчальної підгрупи максимальної прийнятої чисельності. У межах запропонованої моделі беремо  $n = 15$  здобувачів, коефіцієнт резервування  $R = 1,1$  та коригуючий коефіцієнт  $K = 0,85$  як середнє значення обґрунтованого діапазону  $0,8$ – $0,9$ .

Крок 1 – базовий розрахунок:  $N_{base} = (15 / 2) \times 1,1 = 8,25 \approx 9$  одиниць.

Результат округлюється до більшого цілого числа, оскільки на цьому етапі визначається нормативна потреба з резервом – будь-яке зменшення означало б втрату резервної одиниці та зниження надійності забезпечення освітнього процесу.

Крок 2 – коригування на реальні умови:  $N = 9 \times 0,85 = 7,65 \approx 8$  одиниць.

Результат доцільно округлювати до більшого цілого числа, оскільки навіть за модельного характеру розрахунку йдеться про планування матеріально-технічного забезпечення освітнього процесу, де недостатність обладнання є більш критичною, ніж його незначний резерв. Отримане значення слід розглядати як орієнтовну розрахункову кількість

засобів цифрового виробництва одного типу за типових умов функціонування лабораторії.

Отже, для навчальної підгрупи чисельністю п'ятнадцять здобувачів базова кількість засобів цифрового виробництва одного типу з урахуванням резерву становить 9 одиниць, а орієнтовна розрахункова кількість за типових умов функціонування лабораторії – 8 одиниць. Співвідношення між цими значеннями відображає вплив організаційно-педагогічних чинників на фактичну потребу в обладнанні й може слугувати орієнтиром при плануванні оснащення лабораторії.

Важливо підкреслити, що запропонований підхід має модельний характер. Його можна використовувати як базову схему для розрахунку потрібної кількості 3D-принтерів, лазерних різаків і ЧПК-верстатів окремо, однак конкретні значення коефіцієнтів і підсумкові результати мають уточнюватися з урахуванням тривалості технологічного циклу, вимог безпеки, площі приміщення та особливостей навчальної програми.

## ВИСНОВКИ

У статті запропоновано розрахунково-модельний підхід до визначення кількості засобів цифрового виробництва в навчальній лабораторії, що ґрунтується на чотирьох взаємопов'язаних складових: нормативно заданій або організаційно прийнятій наповнюваності майстерні, оптимальному педагогічному співвідношенні здобувачів на одиницю обладнання, коефіцієнті резервування на випадок виходу обладнання з ладу та коригуючому коефіцієнті реальних умов освітнього процесу.

Виявлено, що ключова специфіка засобів цифрового виробництва – автономний режим роботи машини та нероздільність виконуваного завдання – принципово відрізняє їх від традиційного майстерного обладнання і унеможливорює застосування ротаційної моделі організації роботи, що використовувала-

ся, зокрема, для токарних верстатів у класичній навчальній майстерні. Це вимагає особливого підходу до планування матеріально-технічного забезпечення лабораторії.

Обґрунтовано, що з педагогічної точки зору базовим співвідношенням для розрахунку доцільно вважати двох здобувачів на одну одиницю обладнання, оскільки такий формат створює умови для кооперативного навчання, взаємного обміну досвідом і водночас узгоджується з автономним характером роботи засобів цифрового виробництва.

Запропонований двоетапний розрахунок передбачає визначення базової кількості обладнання за формулою  $N_{base} = (n / 2) \times R$  з наступним коригуванням за формулою  $N = N_{base} \times K$ . У межах авторської моделі як робочі значення запропоновано  $R = 1,1$  та  $K = 0,8-0,9$ , де  $K$  виводиться як добуток коефіцієнта явки ( $K_1 = 0,95$ ) та коефіцієнта готовності здобувачів до роботи ( $K_2 = 0,85-0,95$ ). Для підгрупи чисельністю п'ятнадцять здобувачів базова кількість засобів цифрового виробництва одного типу становить 9 одиниць, а орієнтовна розрахункова – 8 одиниць.

Практична цінність підходу полягає в його доступності та придатності для попереднього планування оснащення лабораторії. Розрахунок може бути використаний для різних типів засобів цифрового виробництва і різних рівнів освіти як стартова модель прийняття управлінських рішень. При цьому модель орієнтована саме на таке оснащення лабораторії, за якого засоби цифрового виробництва можуть використовуватися не епізодично або демонстраційно, а як повноцінний компонент практичної підготовки здобувачів освіти.

Перспективами подальших досліджень є емпірична верифікація значень коефіцієнтів  $K_1$  і  $K_2$  на основі педагогічного експерименту, а також дослідження впливу типу засобів цифрового виробництва і середньої тривалості навчального завдання на оптимальне значення коригуючого коефіцієнта.

## REFERENCES

1. Pro zatverdzhennia Typovoho pereliku zasobiv navchannia ta obladnannia dlia navchalnykh kabinetiv i STEM-laboratorii [On the approval of the Standard List of Teaching Aids and Equipment for Classrooms and STEM Laboratories] (Ukraine), 29.04.2020, No 574. Retrieved March 01, 2026, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0410-20#Text> (in Ukrainian).

2. Pro zatverdzhennia Sanitarnoho rehlamentu dlia zakladiv zahalnoi serednoi osvity [On the Approval of the Health Regulations for General Secondary Education Institutions] (Ukraine), 25.09.2020, No 2205. Retrieved March 01, 2026, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1111-20#Text> (in Ukrainian).
3. British Standards Institution. (2022). BS 4163:2021+A1:2022. *Health and safety for design and technology in educational and similar establishments – Code of practice*. London.
4. Ford, S., & Minshall, T. (2019). Invited review article: Where and how 3D printing is used in teaching and education. *Additive Manufacturing*, 25, 131–150. doi: [10.1016/j.addma.2018.10.028](https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.028)
5. Soomro, S. A., Nanjappan, V., Casakin, H., & Georgiev, G. V. (2025). Fostering technical skills and creativity in the digital fabrication spaces: an open-ended prototyping approach. *International Journal of Technology and Design Education*, 35(3), 1081–1102. doi: [10.1007/s10798-024-09940-3](https://doi.org/10.1007/s10798-024-09940-3)
6. Pijls, M., et al. (2022). Activities and experiences of children and makerspace coaches during after-school and school programs in a public library makerspace. *Frontiers in Education*, 7. doi: [10.1007/s41979-022-00070-w](https://doi.org/10.1007/s41979-022-00070-w)
7. Rouse, R., & Rouse, A. G. (2022). Taking the maker movement to school: A systematic review of PreK–12 school-based makerspace research. *Educational Research Review*, 35, 100413. doi: [10.1016/j.edurev.2021.100413](https://doi.org/10.1016/j.edurev.2021.100413)
8. Nikou, S. A. (2023). Student motivation and engagement in maker activities under the lens of the Activity Theory: A case study in a primary school. *Journal of Computers in Education*, 11(2), 347–365. doi: [10.1007/s40692-023-00258-y](https://doi.org/10.1007/s40692-023-00258-y)
9. Design and Technology Association. (n.d.). *Maximum number of pupils taught within D&T workshops and studios*. Retrieved March 1, 2026, from <https://www.designtechnology.org.uk/for-education/health-and-safety/maximum-number-of-pupils-taught-within-dt-workshops-and-studios/>
10. Fab Foundation. (n.d.). *Getting started with Fab Labs*. Retrieved March 1, 2026, from <https://fabfoundation.org/getting-started/>