

доцент **Щеглов С. П.**,  
shchehlov.sp@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-9586-4538  
д. т. н. професор **Ботвіновська С. І.**,  
botvinovska.si@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-1832-1342

Київський національний університет будівництва і архітектури

## **ІНДУКТИВНА МОДЕЛЬ ОБ'ЄДНАННЯ МІКРО-, МЕЗО- ТА МАКРОЕРГОНОМІКИ У ПРОСТОРОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ ДЛЯ ЛЮДЕЙ З ІНВАЛІДНІСТЮ**

*У сучасному світі зростає необхідність у створенні інклюзивного середовища, яке б відповідало потребам людей з інвалідністю (disabled person (DP)). Це стосується не лише архітектури та громадських просторів, а й робочих місць. Для того, щоб DP могли комфортно та продуктивно працювати, стає доволі актуальний прогнозований розвиток взаємопроникнення з подальшим об'єднанням в єдину соціотехнічну систему (STS) всіх напрямків ергономіки. Традиційно ергономіка поділяється на три рівні: мікро-, мезо- та макроергономіку.*

*Мікроергономіка фокусується на аналізі та проектуванні робочих місць, інструментів та завдань з урахуванням антропометричних, фізіологічних та психологічних характеристик працівника. Методи дослідження: антропометрія, біомеханіка, психофізіологія.*

*Мезоергономіка розглядає взаємозв'язки між робочими місцями та загальною робочою системою з урахуванням потреб працівників. Методи дослідження: системний аналіз, аналіз робочих процесів.*

*Макроергономіка аналізує взаємодію працівників з навколишнім середовищем та враховує соціотехнічні чинники, такі як політика, культура та доступність. Методи дослідження: соціологічний підхід, ергономічна експертиза, антропологічний підхід та інші.*

*Однак ці підходи, застосовані окремо один від іншого, не завжди враховують специфічні потреби людей із різними типами інвалідності, тому з'явилась необхідність в індуктивній моделі, яка пропонує новий принцип об'єднання мікро-, мезо- та макроергономіки. Вона може стати перспективним підходом до розробки соціотехнічних рішень, та яка ґрунтується на аналізі усіх аспектів життя та проблем, з якими стикаються DP. Також ця модель, на засадах доступного середовища, дозволить розробити комплексні проєктні рішення, які покращать мобільність, самостійність та рівноправ'я для людей з інвалідністю. А її практична реалізація може допомогти створити більш справедливе та інклюзивне суспільство.*

*Ключові слова: індуктивна модель; мікроергономіка; мезоергономіка; макроергономіка; соціотехнічні системи; інклюзивний простір для людей з інвалідністю.*

**Постановка проблеми.** Ергономіка відіграє важливу роль у забезпеченні комфорту, продуктивності та безпеки людей в їхньому оточенні. Традиційно ергономіку поділяють на три рівні: мікро-, мезо- та макроергономіка. Проте, для людей з інвалідністю, які мають специфічні потреби, традиційні ергономічні підходи не завжди є досить ефективними. Розробка інтегрованої ергономічної моделі, яка враховує взаємозв'язок мікро-, мезо- та макроергономіки, є актуальною науковою проблемою, що має значний практичний потенціал. Для цього необхідно провести аналіз факторів, які впливають на ергономіку для людей з інвалідністю на кожному з трьох рівнів: мікро-, мезо- та макроергономіки, у розрізі індуктивного підходу до дизайну інклюзивної середовища. Даному питанню присвячено цю статтю.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У виданні [1] автори зосереджуються на проектуванні робочих систем в контексті макроергономіки, базуючи свої дослідження на людських факторах. Мета - оптимізувати дизайн системи з урахуванням соціальних та технічних аспектів, що призводить до кращої роботи організації. Макроергономіка використовує комплексний підхід до втручання, що включає участь працівників на всіх рівнях та ітерації на основі даних. Необхідність її впровадження при проектуванні нових робочих систем, обумовлена значними технологічними змінами та необхідністю у вирішенні хронічних проблем. Макрорівень ергономіки відрізняється від мікро- та мезо-, які зосереджені на підборі людей для роботи з існуючими системами, проектуванням структур з більшим акцентом на соціотехнічну сумісність просторового середовища. Автори [2] пропонують в якості методології дослідження використовувати метод аналізу концепцій для вивчення того, як трактуються, описуються, пояснюються та застосовуються три рівні ергономіки у науковій літературі. Подальші дослідження можуть детальніше вивчити межі та взаємозв'язки між різними типами ергономіки, що дасть можливість впровадження інтегрованих ергономічних рішень, та сприятиме кращому розумінню та застосуванню ергономічних принципів у різних галузях.

**Цілі та завдання статті** полягають в описі концепції індукційної моделі об'єднання мікро-, мезо- та макроергономіки, для створення соціотехнічної системи просторового середовища, максимально зручного для людей з різними типами інвалідності.

**Основна частина.** Індуктивна модель об'єднання просторів від мікроергономіки до макро- (і навіть мега-) рівня є підходом до розуміння взаємозв'язку між різними масштабами аналізу та дизайну робочих та житлових середовищ з точки зору ергономіки (рис. 1). Ця модель

передбачає, що ефективні та зручні робочі та житлові середовища формуються шляхом врахування потреб та характеристик користувачів на кожному рівні. Мікро-ергономіка у найменшому масштабі аналізує взаємодію людини з конкретними об'єктами та інструментами, що має вплив на мезо-ергономіку вже на середньому рівні, досліджуючи взаємодію між користувачами та різними об'єктами в окремому просторі. Це призводить до більш ширшого розгляду аспектів взаємозв'язку між різними середовищами та їх вплив на користувачів у великому масштабі, на найвищому рівні, якими займається макроергономіка. Це дозволяє організувати життєвий простір людини з інвалідністю таким чином - де доступність до сервісів, транспортних мереж та інфраструктури буде такою ж простою - як і до пульта керування на кріслі-колясці.

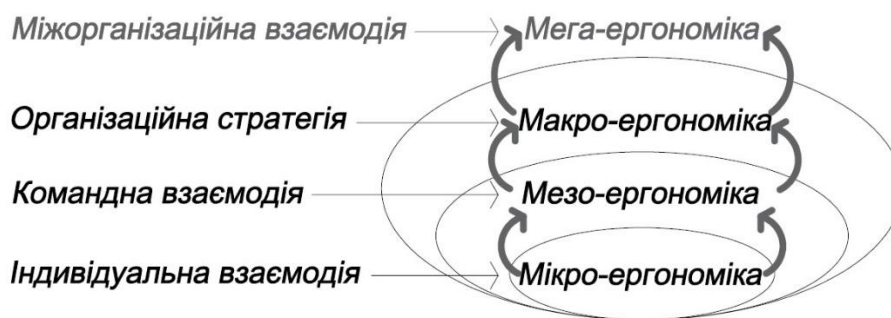


Рис. 1. Індуктивна модель ергономіки

Індуктивна модель дозволяє сприймати середовище як систему взаємопов'язаних компонентів на різних рівнях масштабу, які взаємодіють між собою та впливають на здатність та комфорт користувачів. Врахування потреб та характеристик користувачів на кожному рівні дозволяє створити таке середовище, яке буде сприяти підвищенню продуктивності та здоров'я.

Також поєднання всіх рівнів ергономіки створює синергетичні можливості глибшого розуміння комплексної оптимізації робочих та жилих середовищ для людей з інвалідністю в кріслах-колясках та дозволяє розглядати ці середовища на різних рівнях масштабу, яке може сприяти підвищенню благополуччя соціума в цілому.

Якщо піти далі - можна дослідити взаємний вплив всіх рівнів один на одного. Зрозуміло, що кожен рівень не може існувати окремо, бо мають багато зв'язків на різних рівнях, які ґрунтуються на принципах системного підходу та інклюзивного дизайну.

Наприклад, мікроергономічний рівень фокусується на адаптації взаємодії людини в кріслі колясці з предметами безпосереднього оточення:

- Розміри та форма меблів, обладнання, дверних прорізів тощо.
- Розташування елементів керування, зручність доступу при використанні.
- Відповідність анатомічним та біомеханічним характеристикам людини в кріслі колясці всіх елементів інтер'єру.

- Обґрунтований вибір матеріалів, з яких виготовлені елементи.

Вже на мезоергономічному рівні предмети безпосереднього оточення впливають на:

- Розміри та організацію робочого простору, його відповідність потребам та можливостям користувачів в інвалідному кріслі.
- Розташування обладнання, меблів та інших елементів, для більшої зручності їх використання.
- Організація робочого процесу, його вплив на фізичне навантаження для людей з обмеженим опорно-руховим апаратом.
- Освітлення, акустика, мікроклімат та інші фактори зовнішнього середовища, які впливають на самопочуття людини з інвалідністю.

А це безпосередньо впливає на макрорівень, де вже модулюються взаємодії людей з обмеженими опорно-руховими функціями із системою в цілому, враховуючи такі аспекти:

- Доступність інформаційних та комунікаційних каналів.
- Наявність та доступність технічної та соціальної підтримки для людей з обмеженими можливостями.
- Можливість навчання, працевлаштування та соціальної інтеграції.
- Формування інклюзивної культури та толерантного ставлення до людей з інвалідністю.

Індуктивна модель пропонує наступний процес проектування, який включає наступні етапи:

Збір даних. А саме: потреби користувачів, їх фізичні та психологічні особливості, вік, обмеження та можливості. Зазвичай, на цьому етапі проводять опитування, інтерв'ю, спостереження, збір статистичних даних.

Аналіз даних. На цьому етапі зібрані дані систематизуються, аналізуються та інтерпретуються для виявлення проблем і потреб користувачів. Методи аналізу даних: статистичний аналіз, факторний аналіз, кластерний аналіз.

Розробка рішень. Пропонуються ергономічні розробки, які враховують потреби та можливості користувачів у кріслах-колясках. Рішення повинні бути комплексними, інтегрованими на всіх рівнях ергономіки.

Впровадження та оцінка. На цьому етапі розроблені ергономічні рішення впроваджуються в практику. Після впровадження оцінки їх ефективності вноситься корективи, при необхідності.

Індуктивна модель об'єднання мікро, мезо та макроергономіки в просторовому середовищі для інвалідів має цілісний підхід, при якому враховуються всі аспекти взаємодії людини з середовищем, та забезпечує більш комплексне вирішення проблем.

Схема, що показує широту та глибину взаємовпливу факторів які охоплюють все, від того, як ви натискаєте кнопки, до вимірів культури та того, як люди думають (рис. 2). Всі ці рівні дуже впливають на інтеграцію інвазій у динамічне і неоднозначне середовище. Тому перспективні рішення повинні прийматися з урахуванням обізнаності всіх цих зв'язків.

Соціотехнічні системи (STS) – це комплексні інтегровані системи, що

поєднують соціальні, технічні та організаційні компоненти, які пропонують інноваційні рішення для подолання чисельних бар'єрів у доступі до освіти, роботи, соціальних послуг та інших сфер життя для людей у кріслі-колясці. Індуктивна модель, заснована на засадах наукової методології, вже стає ефективним інструментом для розробки та впровадження STS.



Рис. 2. Схема взаємовпливів факторів

Прикладом соціотехнічної системи ергономіки можуть служити: Системи доступного транспорту, які включають в собі автобуси, метро, потяги та літаки, а також інформаційні та навігаційні системи, які враховують потреби людей з обмеженою мобільністю.

Доступні будівлі, які облаштовані пандусами, ліфтами, широкими дверима та туалетами.

Інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ). Це веб-сайти та програмне забезпечення, які полегшують інтегрування в усі аспекти суспільства людей з обмеженою мобільністю.

Робототехніка та асистивні технології (АТ), включають в себе роботизовані протези, екзоскелети та інші пристрої, які допомагають людям з обмеженою мобільністю виконувати повсякденні завдання. АТ - це широкий спектр пристроїв, які допомагають людям з інвалідністю виконувати повсякденні завдання та жити більш самостійно. Можуть використовуватися людьми з різними фізичними обмеженнями: порушення рухової активності, м'язова слабкість, параліч, втрата кінцівок, артрит тощо.

Освітні та навчальні програми, які навчають людей з обмеженими можливостями навичкам, необхідним для життя та роботи.

Розробка STS відбувається ітеративно (багаторазово), з постійним удосконаленням на основі результатів тестування та відгуків користувачів. Індуктивна модель має низку суттєвих переваг при розробці STS для людей з обмеженим опорно-руховим апаратом:

- Завдяки ґрунтовному дослідженню потреб та досвіду користувачів, STS розробляється з урахуванням їх реальних потреб, очікувань та обмежень.
- Використання наукових методів дослідження та аналізу даних гарантує обґрунтованість висновків, що робить STS більш ефективною та надійною.
- Ітеративний характер розробки дозволяє гнучко адаптувати STS до мінливих потреб та умов, забезпечуючи їй постійну актуальність.
- Дослідження та практичні застосування індуктивної моделі повинні повисити ефективність розробки STS, та покращити життя людей з інвалідністю у кріслах-колясках.

Ці системи можуть допомогти людям з обмеженими можливостями знайти роботу, збільшуючи власну економічну участь у робочих процесах. Зменшують соціальну ізоляцію, допомагаючи людям з обмеженими можливостями спілкуватися з іншими людьми та брати участь у соціальних заходах. А це підтримує гідність та самоповагу, та дає можливість відчувати себе шанованими членами суспільства. (рис. 3).

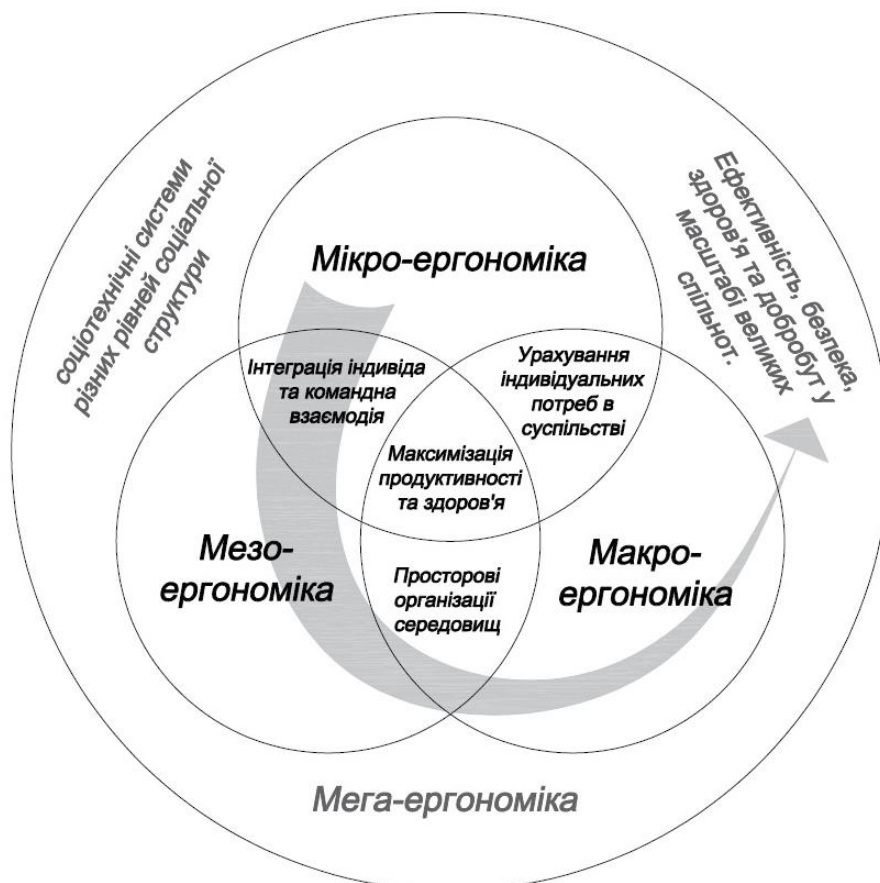


Рис. 3. Модель взаємопроникнення різних рівнів ергономік

Індуктивна модель для розробки різноманітних STS вже мають приклади успішного застосування, значно збагачуючи життя людей

прикутих до крісла-коляски, наприклад:

- Системи навігації на основі GPS, які використовує супутникову технологію та інші засоби орієнтування, допомагаючи користувачам у кріслі-колясці легко пересуватися незнайомими місцями.
- Система дистанційного навчання дозволяє їм отримувати освіту та підвищувати кваліфікацію онлайн, долаючи фізичні бар'єри навчальних закладів.
- Система "робоча рука" розширює можливості працевлаштування, дозволяючи людині з обмеженою рухомістю виконувати різні роботи віддалено, використовуючи маніпулятори та системи керування на відстані.
- Система "розумний дім" забезпечує автоматизоване управління освітленням, побутовою технікою, дверима та іншими елементами будинку за допомогою голосових команд або спеціальних інтерфейсів, підвищуючи рівень самостійності та комфорту життя.

**Висновки та перспективи досліджень.** Дану публікацію присвячено важливій на сучасному етапі розвитку української держави проблемі інтеграції людей з інвалідністю. Впровадження індуктивної моделі, що базується на наукових підходах, відкриває широкі можливості для розробки ефективних соціотехнічних систем, спрямованих на інклюзивність суспільства. Ця модель сприяє забезпеченню рівних прав та можливостей для людей з інвалідністю, підвищує їх мобільність, самостійність, продуктивність та соціальну інтеграцію. Подальший збір даних та аналіз в цьому напрямку дозволять створити ще більш досконалі STS, що сприятимуть повноцінному включенню інвалідів у всі сфери життя. В перспективі теоретичні дослідження можуть призвести до розробки методів ергономічного прогнозування: *аналітичних* – на математичних моделях та розрахунках; експериментальних – з залученням людей та моделей; експертних - на знаннях до досвіду експертів різних галузей.

Не дивлячись на складності впровадження соціотехнічних систем ергономіки для людей з інвалідністю, а це в першу чергу - вартість, ці системи достатньо дороги у розробці, але дослідження, проведене Національною радою з досліджень, розробок та інновацій [10], показало, що інвестиції в соціотехнічні системи ергономіки для людей з інвалідністю можуть призвести до значної економії коштів у довгостроковій перспективі, завдяки зменшенню потреби в державній допомозі на 20% та медичних послугах на 30% [11]; по друге – складність, бо є більш складними для проектування, але вже існують доступні методи та ресурси, які можуть допомогти розробникам створити ефективні та доступні системи, які запропоновані Міжнародною організацією праці (International Labour Organization) ; в третє - відсутність обізнаності, бо більшість людей не знають про переваги цих систем, але є рішення - це можна зробити за допомогою інформаційних кампаній, навчальних програм та заходів з підвищення обізнаності за допомогою інформаційних кампаній, наприклад Світового банку (The World Bank) який вже фінансує ряд проектів; в

четверте – може знадобитися змінити політику та законодавство, щоб підтримати впровадження цих систем. Підставою може служити Конвенція Організації Об'єднаних Націй прийнята про права людей з інвалідністю, яка зобов'язує держави-члени вживати заходів для забезпечення доступності товарів і послуг для людей з інвалідністю. STS об'єднання ергономіки є важливим інструментом для створення більш інклюзивного та доступного світу, а наукові дослідження повинні допомогти стимулювати впровадження цих систем.

## Література

1. Macroergonomics: theory, methods, and applications / *edited by Hal W. Hendrick, Brian M. Kleiner. Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers 10 Industrial Avenue Mahwah, New Jersey 07430. Includes bibliographical references and index. ISBN 0-8058-3191-6, 2002. 412 с.*
2. Classification of ergonomics levels for research / *Nismah Panjaitan and Amir Yazid bin Ali 2019 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 505 12040, 2008. 5 с.*
3. The ongoing journey to commitment and transformation: digital health in the WHO European Region, 2023. *Copenhagen: WHO Regional Office for Europe*; License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. ISBN: 978-92-890-6022-6
4. Principles and Guidelines for Human Factors/Ergonomics (HF/E) Design and Management of Work Systems. May, 2021. *International Ergonomics Association (IEA) & International Labour Organization (ILO). 60 с.*
5. *Ronald L. Mace, Graeme J. Hardie, Jaine P. Place. Accessible Environments: Toward Universal Design. Center Accessible Housing. North Carolina State University. Box 8613. Raleigh, NC 27695-8613. USA. 919.737.3082*
6. *Michael A. Greig, Judy Village, Filippo A. Salustri & W. Patrick Neumann (2023): Examining human factors and ergonomics aspects in a manufacturing organisation's metrics system: measuring up to stakeholder needs, Ergonomics, DOI: 10.1080/00140139.2023.216806*
7. *Nismah Panjaitan, Amir Yazid Bin Ali. Clasification of ergonomics levels for research. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 505 (2019) 012040. doi:10.1088/1757-899X/505/1/012040*
8. *Benedikt G. Mark, Sarah Hofmayer, Erwin Rauch and Dominik T. Matt. Inclusion of Workers with Disabilities in Production 4.0: Legal Foundations in Europe and Potentials Through. Worker Assistance Systems. Sustainability 2019, 11, 5978; doi:10.3390/su11215978. www.mdpi.com/journal/sustainability*
9. *Peter M. Bednar, Christine Welch. Socio-Technical Perspectives on Smart Working: Creating Meaningful and Sustainable Systems. Open access / Published: 03 May 2019. Volume 22, pages 281-298, (2020)*
10. <https://www.nationalacademies.org/>
11. <https://digitalpromise.org/inclusive-innovation/>

## References

1. Macroergonomics: theory, methods, and applications / *edited by Hal W. Hendrick,*



*Brian M. Kleiner. Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers 10 Industrial Avenue Mahwah, New Jersey 07430. Includes bibliographical references and index. ISBN 0-8058-3191-6, 2002. 412 c.*

2. Classification of ergonomics levels for research / *Nismah Panjaitan and Amir Yazid bin Ali* 2019 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 505 12040, 2008. 5 c.

3. The ongoing journey to commitment and transformation: digital health in the WHO European Region, 2023. *Copenhagen: WHO Regional Office for Europe*; License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. ISBN: 978-92-890-6022-6

4. Principles and Guidelines for Human Factors/Ergonomics (HF/E) Design and Management of Work Systems. May, 2021. *International Ergonomics Association (IEA) & International Labour Organization (ILO)*. 60 c.

5. *Ronald L. Mace, Graeme J. Hardie, Jaine P. Place*. Accessible Environments: Toward Universal Design. *Center Accessible Housing*. North Carolina State University. Box 8613. Raleigh, NC 27695-8613. USA. 919.737.3082

6. *Michael A. Greig, Judy Village, Filippo A. Salustri & W. Patrick Neumann* (2023): Examining human factors and ergonomics aspects in a manufacturing organization's metrics system: measuring up to stakeholder needs, *Ergonomics*, DOI: 10.1080/00140139.2023.216806

7. *Nismah Panjaitan, Amir Yazid Bin Ali*. Classification of ergonomics levels for research. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 505* (2019) 012040. doi:10.1088/1757-899X/505/1/012040

8. *Benedikt G. Mark, Sarah Hofmayer, Erwin Rauch and Dominik T. Matt*. Inclusion of Workers with Disabilities in Production 4.0: Legal Foundations in Europe and Potentials Through. *Worker Assistance Systems. Sustainability* 2019, 11, 5978; doi:10.3390/su11215978. www.mdpi.com/journal/sustainability

9. *Peter M. Bednar, Christine Welch*. Socio-Technical Perspectives on Smart Working: Creating Meaningful and Sustainable Systems. *Open access | Published: 03 May 2019*. Volume 22, pages 281-298, (2020)

10. <https://www.nationalacademies.org/>

11. <https://digitalpromise.org/inclusive-innovation/>

Doctor of Technical Sciences, Professor **Botvynovska Svitlana**,  
botvinovska.si@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-1832-1342  
Associate Professor **Serhii Shcheglov**,  
shcheglov.sp@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-9586-4538  
Kyiv National University of Construction and Architecture

## **INDUCTIVE MODEL OF COMBINATION OF MICRO-, MESO- AND MACROERGONOMICS IN A SPATIAL ENVIRONMENT FOR PEOPLE WITH DISABILITIES**

*In today's world, there is a growing need to create an inclusive environment that meets the needs of people with disabilities (disabled person (DP)). This applies not only to architecture and public spaces, but also to workplaces. In order for DPs*

*to be able to work comfortably and productively, the predicted development of interpenetration with the subsequent unification of all areas of ergonomics into a single sociotechnical system (STS) becomes quite relevant. Traditionally, ergonomics is divided into three levels: micro-, meso- and macro-ergonomics.*

*Microergonomics focuses on the analysis and design of workplaces, tools and tasks taking into account the anthropometric, physiological and psychological characteristics of the worker. Research methods: anthropometry, biomechanics, psychophysiology.*

*Mesoergonomics considers the relationships between workplaces and the overall work system, taking into account the needs of employees. Research methods: system analysis, work process analysis.*

*Macroergonomics analyzes the interaction of workers with the environment and takes into account socio-technical factors such as politics, culture and accessibility. Research methods: sociological approach, ergonomic expertise, anthropological approach and others.*

*Despite the complexity of implementing sociotechnical systems of ergonomics for people with disabilities, and this is primarily the cost, these systems are quite expensive to develop, but a study conducted by the National Council for Research, Development and Innovation [10] showed that investments in sociotechnical ergonomics systems for people with disabilities can lead to significant cost savings in the long term, by reducing the need for public assistance by 20% and medical services by 30% [11]; secondly - complexity, because they are more difficult to design, but there are already available methods and resources that can help developers create effective and accessible systems, which are proposed by the International Labor Organization; third - lack of awareness, because most people do not know about the benefits of these systems, but there is a solution - this can be done with the help of information campaigns, training programs and awareness-raising activities with the help of information campaigns, for example, the World Bank (The World Bank) which already finances a number of projects; and fourth, policy and legislation may need to change to support the implementation of these systems. The basis may be the United Nations Convention on the Rights of Persons with Disabilities, which obliges member states to take measures to ensure accessibility of goods and services for persons with disabilities. STS combining ergonomics is an important tool for creating a more inclusive and accessible world, and scientific research should help stimulate the implementation of these systems.*

*Keywords: automated design; geometric modeling; computer information technologies; mechanical engineering; modular approach; structural-parametric methodology.*