
ADAPTIVE FRAMEWORK FOR I-STEM EDUCATION: CHARACTERISTICS AND MECHANISMS AS AN ANALYSIS AND DESIGN TOOL⁸²

Daniela Todorova, PhD student

“Angel Kanchev” University of Ruse

Mobile phone: +359 889 306 438

E-mail: dtodorova@uni-ruse.bg

Abstract: *This study presents an adaptive theoretical framework for integrated STEM (i-STEM) education, developed through comparative analysis of European educational practices. The framework identifies five adaptive characteristics - contextual adaptability, interdisciplinary synchronization, technological integration, modular flexibility, and adaptability of pedagogical strategies - which are operationalized through five functional mechanisms that create dynamic feedback loops. This approach offers an alternative to existing i-STEM models by introducing adaptive mechanisms that enable continuous adaptation to changing educational conditions. The developed framework serves both as an analytical tool for evaluating STEM practices and as a design template for creating contextually adapted STEM modules aligned with the Bulgarian educational context and the UN Sustainable Development Goals.*

Keywords: *integrated STEM education, adaptive framework, STEM education models, educational adaptation, European educational practices, comparative analysis*

ВЪВЕДЕНИЕ

През последното десетилетие интегрираният STEM (i-STEM) подход се утвърждава като стратегическа посока в образованието. Това се отразява както в политиките на Европейската комисия и отделни европейски държави (European Commission, 2015; Freeman et al., 2015), така и в нарастващия обем изследвания и педагогически дискусии относно неговото прилагане на училищно ниво (Margot & Kettler, 2019). Разнообразието от модели, проекти и педагогически практики обогатява областта, но създава предизвикателства пред системния анализ и адаптирането им към конкретни образователни контексти. Сред основните трудности при прилагането на i-STEM в Европа са: недостатъчната подготовка на учителите, структурните бариери в учебните програми, липсата на време за съвместно планиране между различни дисциплини, неравномерните постижения и мотивация на учениците, както и отсъствието на стандартизирани инструменти за оценяване на интегрираните умения.

Засиленият фокус върху дигиталната трансформация и образованието за устойчиво развитие (European Commission, 2020) ясно подчертава необходимостта от адаптивни рамки, способни да отговорят на променящите се образователни изисквания. Като отговор на тези предизвикателства настоящото изследване има за цел да предложи адаптивна теоретична рамка, разработена въз основа на систематичен анализ на европейски изследователски, обучителни и смесени i-STEM практики. Рамката интегрира критерии за подбор и класификация, като служи едновременно като аналитичен инструмент и модел за проектиране на нови инициативи. Рамката интегрира критерии за подбор и класификация, като служи едновременно като аналитичен инструмент и модел за проектиране на нови инициативи. За разлика от статичните модели, които описват интеграцията предимно като структурен или учебен процес (Bybee, 2013; English, 2016), предлаганата рамка концептуализира i-STEM като саморегулираща се система с динамични механизми за обратна връзка.

Интегрирано STEM образование (i-STEM): същност, ползи и предизвикателства в европейския контекст

⁸² Докладът е представен пред секция „Природо-математически и технически науки“ на 64-тата научна конференция на Русенския университет „Ангел Кънчев“ и Съюза на учените-Русе на 17 октомври 2025 година с оригинално заглавие на български език: АДАПТИВНА РАМКА ЗА I-STEM ОБУЧЕНИЕ: ХАРАКТЕРИСТИКИ И МЕХАНИЗМИ КАТО ИНСТРУМЕНТ ЗА АНАЛИЗ

Интегрираното STEM образование (i-STEM) се определя като педагогически подход, при който науките, технологиите, инженерството и математиката се преподават не като изолирани дисциплини, а като взаимосвързана система, фокусирана върху решаването на сложни, реални проблеми (Kelley & Knowles, 2016; Vasquez et al., 2013).

За разлика от традиционното STEM, което представя областите паралелно, i-STEM целенасочено търси и укрепва концептуалните и методологичните връзки между тях, симулирайки изискванията на съвременната работна сила и насърчавайки развитието на дълбоко концептуално разбиране (English, 2016).

Основната цел на i-STEM се измества от фрагментарно усвояване на знания към развитието на способности за решаване на комплексни проблеми, критично мислене, креативност и екипна работа (Bybee, 2013; Honey et al., 2014; Vasquez et al., 2013).

Въпреки широко признатите ползи, прилагането на i-STEM в европейския образователен контекст се сблъсква със сериозни предизвикателства. Доклад на European Commission/EACEA/Eurydice (2022) посочва, че една от основните трудности е недостатъчната подготовка на учителите за междудисциплинарно преподаване и интеграция на дигитални инструменти. Много педагози се чувстват неуверени да надхвърлят границите на своите предметни специалности и да ръководят сложни проекти, изискващи синтез на знания. Освен това, съществуват структурни бариери в образователните системи, като строго фиксирани учебни програми, ориентирани към предметни граници, и липса на време за съвместно планиране между учители от различни дисциплини (Thibaut et al., 2018).

Допълнително предизвикателство, идентифицирано от изследванията на OECD (2019), е неравномерността в постиженията и мотивацията на учениците по математика и науки, която може да се влоши при неправилно приложени интегративни практики, които не отчитат различните нива на подготовка. Също така, въпреки политическите призови за насърчаване на STEM, често липсват ясни рамки за оценяване на интегрираните умения и компетентности, което затруднява валидирането на ефективността на i-STEM подходите (ATS STEM Project, 2022).

Тези предизвикателства подчертават необходимостта от адаптивни и гъвкави теоретични рамки, които да подпомагат учители и изследователи в преодоляването на структурните и педагогическите бариери. В отговор на тези предизвикателства, настоящото изследване предлага рамка, базирана на систематичен анализ на различни европейски практики.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Изследването се основава на качествен сравнителен анализ на европейски проекти и научни публикации, включително ATS STEM Project (2022); STE(A)M IT Project (2021); Learn STEM Project (2020). Аналитичният процес включва четири последователни етапа: (1) идентифициране на ключови характеристики; (2) кодиране и категоризация; (3) систематизиране в критерийна система; (4) проектиране на интегративна теоретична рамка, които заедно позволяват комплексен сравнителен анализ. Анализът обхваща 12 ключови европейски проекта и над 30 научни публикации, подбрани въз основа на доказана ефективност, ориентация към реални проблеми, степен на интеграция и контекстуална адаптивност. Този подход позволява систематичното идентифициране и категоризиране на водещи i-STEM практики по вид дейност и предмет на изследване.

Критерии за подбор на i-STEM практики

Дефинирани са критерии за подбор, гарантиращи качеството и ефективността на анализираните практики (Honey et al., 2014; ATS STEM, 2022; STE(A)M IT, 2021). Те включват:

1. **Доказана ефективност** (Honey, Pearson, & Schweingruber, 2014) - наличие на емпирични данни за положително въздействие върху развитието на ключови компетентности на учениците или учителите, валидирани чрез количествени или качествени методи.

2. **Ориентация към реални проблеми** - свързаност на съдържанието с автентични социални, екологични или икономически предизвикателства, които стимулират приложимост на знанията в реални контексти.

3. **Степен на интеграция** - наличие на механизми за междудисциплинарно обединяване на концепции и методи от различни STEM области, отразяващи холистичен подход към ученето.

4. **Фокус върху учебния процес** - акцент върху развитието на метакогнитивни и рефлексивни умения, които насърчават активно, изследователско и саморегулирано учене.

5. **Контекстуална адаптивност** - възможност практиката да бъде прилагана в различни образователни системи и културни среди чрез адаптиране към локални политики и учебни контексти.

На базата на тези критерии и анализа европейските практики са систематизирани по два основни признака:

По вид дейност:

1. Изследователски практики - насочени към емпирични или теоретични изследвания, които генерират модели и доказателства за ефективност.

2. Обучителни практики - свързани с реализиране на учебни процеси, включващи ученици, учители и експерти.

3. Смесени практики - съчетават елементи на обучение и изследване в обща рамка.

По предмет на изследване:

1. Разработване и прилагане на модели за i-STEM образование.

2. Подходи и стратегии за преподаване.

3. Учебна среда.

4. Учебни програми и ресурси.

5. Сътрудничество между учители и професионални общности.

Теоретична рамка

На основата на системния анализ на европейски i-STEM практики (Priemer et al., 2019; Wells, 2016; STE(A)M IT Project, 2021; ATS STEM Project, 2022; Learn STEM Project, 2020), бяха идентифицирани и интегрирани пет адаптивни характеристики и пет съответстващи им функционални механизма. Характеристиките представляват статичен състав, докато механизмите осигуряват динамични процеси за тяхната реализация и усъвършенстване.

Адаптивни характеристики (състав):

1. **Контекстуална адаптивност** (Kelley & Knowles, 2016; Wells (2016) - свързване с локални предизвикателства и цели за устойчиво развитие, ключово за практиките, документиран в проекти като ATS STEM и STE(A)M IT.

2. **Междудисциплинарна синхронизация** - интеграция от различни STEM области в зависимост от учебните цели, съгласно принципите за универсални рамки (Priemer et al., 2019) и подходите за интегриране на учебни програми в контекста на проект STE(A)M IT.

3. **Технологична интеграция** - използване на дигитални инструменти, които трансформират обучението в интерактивен процес, идентифицирано като ключов елемент в анализирания проект Learn STEM и ATS STEM.

4. **Модулна обособеност и структурна гъвкавост** - възможност за пренареждане на учебни контексти според условията на образователната среда, базирана на рамки, позволяващи пропускане или промяна на етапи (Priemer et al., 2019; Wells, 2016), което се илюстрира и от гъвкавия цикъл на учене в модела на 7-те стъпки (Nuutila et al., 2005).

5. **Адаптивност на педагогическите стратегии** - прилагане на диференцирани преподавателски подходи. Този принцип е подкрепен от резултатите от обучения на учители в проекти като ATS STEM (ATS STEM Project, 2022), както и от структурирани обучителни модели като IDEARR (Aguilera et al., 2024), прилагани в Испания, и от разнообразието от методи, прилагани в европейския контекст.

Функционални механизми (структура):

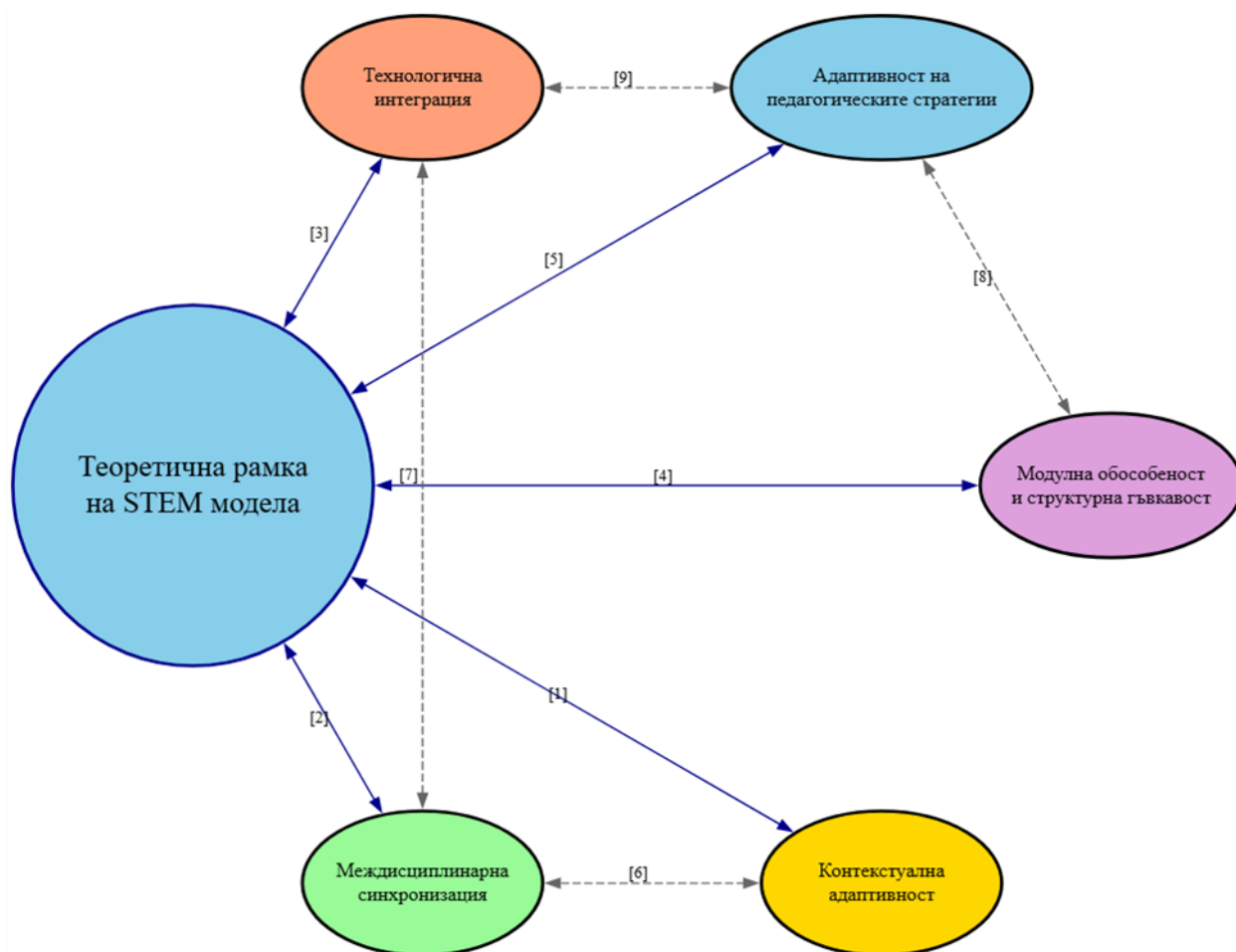
1. **Механизъм за контекстуална адаптация** - дефинира процеса на адаптиране към условията в българската среда.

2. **Механизъм за междудисциплинарна синхронизация** - осигурява координация между различни STEM области.

3. **Механизъм за технологична интеграция** - гарантира използването и координацията на дигитални инструменти.

4. **Механизъм за синергия между технологиите и педагогиката** - осъществява взаимодействието между дигиталните инструменти и преподавателските стратегии.

5. **Механизъм за структурна гъвкавост** - позволява пренареждане на компонентите при запазване на функционалната им връзка.



Фигура 1. Схема на състава и структурата на теоретичната рамка

Двупосочните стрелки в схемата илюстрират взаимната връзка между характеристиките и механизмите, при която механизмите не само прилагат, но и допринасят за усъвършенстването на характеристиките чрез процес на обратна връзка. На оперативното ниво всеки механизъм се реализира чрез конкретни педагогически действия, чието подробно описание и примери за прилагане надхвърлят обхвата на настоящата статия и ще бъдат разгледани в отделна публикация.

Аналитични възможности на рамката

Теоретичната рамка предоставя инструмент за системен анализ и оценка на i-STEM практики. Чрез петте взаимно свързани измерения могат да се идентифицират силните страни и степента на интеграция на дадена практика. Рамката позволява сравнение между различни европейски подходи по отношение на степента им на адаптивност и интегративност.

Възможности за качествен анализ:

- Рамката позволява диагностика на силните страни на дадена практика чрез определяне кои от петте адаптивни характеристики са най-изразени;
- чрез анализ на функционалните механизми може да се установи нивото на интегрираност и наличието на функционални връзки между компонентите на подхода;

- обратните връзки в модела дават възможност за проследяване на причинно-следствените взаимоотношения между отделните компоненти.

Възможности за сравнителен анализ:

- инструментът предоставя обща основа за сравнение на различни подходи, независимо от техния специфичен фокус;
- моделът позволява класификация по множество параметри едновременно;
- теоретичната рамка дава възможност за по-точно идентифициране на пропуски и несъответствия в образователните практики.

Освен като аналитичен инструмент, рамката има и пряка практическа приложимост.

Практическа приложимост

Разработената рамка може да служи като шаблон за проектиране на адаптивни STEM модули, съобразени с национални образователни контексти и Целите за устойчиво развитие на ООН. Тя може да подпомага учители и изследователи при оценката, адаптацията и създаването на иновативни практики, основани на интегрираното STEM образование. Практическата ѝ стойност се проявява в насочването на процеса на планиране на междудисциплинарни проекти, които адресират локални проблеми и интегрират дигитални инструменти и диференцирани педагогически стратегии.

Дискусия и сравнение със съществуващи модели

Адаптивната теоретична рамка, представена в това проучване, разширява съществуващите концептуални модели на интегрирано STEM (i-STEM) образование чрез въвеждането на динамични механизми, които операционализират адаптивността. За разлика от статичните рамки, които описват интеграцията като структурен или учебен процес (Bybee, 2013; English, 2016; Kelley & Knowles, 2016), предложеният модел концептуализира i-STEM като саморегулираща се система. Всяка от петте адаптивни характеристики взаимодейства със съответния функционален механизъм чрез обратна връзка, осигурявайки непрекъснато съгласуване между контекста, технологията и педагогиката.

В сравнение с рамката на Kelley & Knowles (2016), която се фокусира върху структурните компоненти на интеграцията, нашият модел подчертава динамичните процеси, които позволяват адаптация към променящите се образователни контексти. По подобен начин, докато подходът на Bybee (2013) приоритизира последователността на учебното съдържание, нашата рамка адресира необходимостта от гъвкавост при прилагането в разнородни образователни среди. Освен това предложената рамка надгражда STEL (Standards for Technological and Engineering Literacy) (ITEEA, 2020), която се фокусира предимно върху технологичната и инженерна грамотност. Докато STEL предоставя ценни стандарти за съдържание, нашият модел въвежда механизми за контекстуална и педагогическа адаптация, които го правят по-гъвкав и приложим в различни национални образователни системи, включително българската.

От педагогическа гледна точка рамката отговаря на нарастващото търсене на гъвкави модели на обучение, способни да интегрират дигитални инструменти и интердисциплинарно сътрудничество. Тя подчертава прехода от обучение, фокусирано върху предмета, към обучение, фокусирано върху проблема, като изтъква ролята на автентичните контексти, социалната значимост и активността на учениците. Механизмите за контекстуална адаптивност и технологична интеграция позволяват на учителите да персонализират обучението, като същевременно поддържат съгласуваност с по-широките образователни цели. Тази гъвкавост е от решаващо значение за преодоляване на различията между националните учебни програми и местните училищни контекст.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящото изследване подчертава необходимостта от систематизиран и адаптивен подход към разнообразните i-STEM практики в европейското образование. В резултат е разработена рамка, която съчетава аналитични и дизайнерски функции чрез интегриране на критерии за подбор и класификация с адаптивни характеристики и функционални механизми. Тази рамка не само

подпомага анализа на съществуващи практики, но и предоставя инструменти за проектиране на нови, контекстуално адаптирани STEM решения.

Динамичните механизми превръщат рамката от статичен описателен инструмент в оперативна система, способна да насочва разработването, прилагането и оценяването на i-STEM инициативи. Този подход надгражда съществуващите модели, предлагайки структуриран метод за системно адресиране на предизвикателствата пред съвременното STEM образование.

Резултатите от прилагането на модела в дидактическият експеримент и подробният им статистически анализ ще бъдат представени в следваща научна публикация. Настоящата теоретична рамка предоставя основата за провеждането на експеримент, целящ валидиране на ефективността на идентифицираните адаптивни характеристики и механизми в реална българска учебна среда с ученици от 5. и 6. клас, като се осигурява методологично обоснован преход от теорията към практическата ѝ реализация.

REFERENCES:

Aguilera, D., Lupiáñez, J. L., Perales-Palacios, F. J., & Vilchez-González, J. M. (2024). IDEARR Model for STEM Education-A Framework Proposal. *Education Sciences*, 14(6), 638. <https://doi.org/10.3390/educsci14060638>

ATS STEM Project. (2022) [Online]. *Assessment of Transversal Skills in STEM*. Erasmus+ Project No. 2019-1-IE01-KA201-05155. Available at: <https://atsstem.eu/>

Bybee, R. W. (2013). *The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities*. Arlington, VA: National Science Teachers Association.

English, L. D. (2016). STEM education K-12: Perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>

European Commission. (2015). Science education for responsible citizenship. *Publications Office of the European Union*. <https://doi.org/10.2777/13004>

European Commission. (2020). Digital Education Action Plan 2021-2027. *Publications Office of the EU*. Available at: <https://education.ec.europa.eu/focus-topics/digital-education/plan>

European Commission/EACEA/Eurydice. (2022). Increasing achievement and motivation in mathematics and science learning in schools. *Eurydice report. Luxembourg: Publications Office of the European Union*

Freeman, B., Marginson, S. & Tytler, R. (2019) 'An international view of STEM education'. In: Khine, M.S. & Areepattamannil, S. (eds.) *STEM Education 2.0: Myths and Truths - What Has K-12 STEM Education Research Taught Us?* Leiden: Brill | Sense, pp. 340-361. Available at: https://doi.org/10.1163/9789004405400_019

Costello, E. & Hartell, E. (2023). Technology and Engineering Education Standards in an Innovative European Collaborative STEM Project: Lessons from Ireland and Sweden. Available at: <https://doras.dcu.ie/29679>

Honey, M., Pearson, G. & Schweingruber, H. (eds.) (2014) *STEM Integration in K-12 Education: Status, Prospects, and an Agenda for Research*. Washington, DC: National Academies Press. ISBN 978-0-309-29796-7.

ITEEA (2020) *Standards for Technological and Engineering Literacy: The Role of Technology and Engineering in STEM Education*. Available at: <https://www.iteea.org/stel> . ISBN 978-1-887101-11-0.

Kelley, T.R. & Knowles, J.G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3, 11. Available at: <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>

Learn STEM (2022) *Innovative Model of Learning STEM in Secondary Schools*. Erasmus+ KA220-SCH - Cooperation Partnerships in School Education. Available at: <https://www.learnstem.eu>

Margot, K.C. & Kettler, T. (2019) Teachers' perception of STEM integration and education: A systematic literature review, *International Journal of STEM Education*, 6(2). Available at: <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0151-2>

National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. National Academies Press.

Nuutila, E., Törmä, S. & Malmi, L. (2005). PBL and Computer Programming - The Seven Steps Method with Adaptations, *Computer Science Education*, 15(2), pp. 123-142.

OECD. (2019). PISA 2018 assessment and analytical framework. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/19963777>

Priemer, B., Eilerts, K., Filler, A., Pinkwart, N., Rösken-Winter, B., Tiemann, R. & Upmeyer, A. (2019) 'A framework to foster problem-solving in STEM and computing education', *Research in Science & Technological Education*, 38(1), pp. 105–130. doi: 10.1080/02635143.2019.1600490.

Sanders, M. (2008). STEM, STEM education, STEMmania. *The Technology Teacher*, 68(4), 20-26.

Schmidt, H. G. (1983). Problem-based learning: Rationale and description. *Medical Education*, 17(1), 11-16. doi: 10.1111/j.1365-2923.1983.tb01086.x.

STE(A)M IT Project. (2021). *Integrated STEM Teaching Framework*. European Schoolnet. URL: <https://steamit.eun.org/>

Thibaut, L., Knipprath, H., Dehaene, W. & Depaepe, F. (2018). How school context and personal factors relate to teachers' attitudes toward teaching integrated STEM. *International Journal of Technology and Design Education*, 28(3), pp. 631–651. doi: 10.1007/s10798-017-9416-1

Vasquez, J., Comer, M. & Sneider, C. (2013). *STEM Lesson Essentials, Grades 3-8: Integrating Science, Technology, Engineering, and Mathematics*. Portsmouth, NH: Heinemann. ISBN 978-0-325-04358-6

Wells, J. G. (2016). PIRPOSAL Model of Integrative STEM Education: Conceptual and Pedagogical Framework for Classroom Implementation. *Technology and Engineering Teacher*, 75(6), pp. 12-19