УДК 372.853
МРНТИ 14.25.09
DOI 10.56525/CAJP9317

ИНЖЕНЕРНОЕ МЫШЛЕНИЕ ШКОЛЬНИКОВ НА УРОКАХ ФИЗИКИ ЧЕРЕЗ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Атабаева Б. Х.
Нукусский государственный педагогический институт имени Ажинияза,
Нукус, Узбекистан
e-mail: hasanhasan65424@gmail.com

Аннотация. В статье рассматривается методическая задача развития инженерного мышления школьников на уроках физики через проектно-конструкторскую деятельность. Работа имеет теоретико-методический характер и не содержит непроверенных экспериментальных показателей. Цель статьи состоит в уточнении содержания инженерного мышления применительно к школьному курсу физики и в описании модели урока, в которой физическое знание используется не только для решения типовых задач, но и для проектирования, испытания и улучшения простых технических объектов. Методологическую основу составили анализ публикаций по проектному обучению, интегрированному STEM-образованию, инженерному дизайн-процессу и методике обучения физике. Показано, что проект становится образовательным средством только при наличии реальной проблемы, физических расчетов, измерений, ограничений, проверки прототипа и последующей рефлексии. Предложены этапы организации проектно-конструкторской деятельности: постановка проблемы, формулирование технического задания, актуализация физических понятий, разработка идеи, изготовление прототипа, испытание, улучшение и защита. Выделены четыре компонента инженерного мышления: мотивационно-ценностный, когнитивный, операционально-деятельностный и рефлексивно-оценочный. Практическая значимость статьи заключается в том, что описанная модель может быть использована учителями физики при разработке уроков, малых проектов, STEM-кружков и методических рекомендаций без подмены учебного содержания декоративным изготовлением моделей.

Ключевые слова: инженерное мышление; физика; проектно-конструкторская деятельность; STEM-образование; проектное обучение; прототипирование; инженерный дизайн-процесс; рефлексия.

Введение

Школьный курс физики традиционно связан с объяснением законов природы, решением расчетных задач и выполнением лабораторных работ. Эти элементы остаются обязательной основой обучения, однако современная образовательная практика все чаще требует, чтобы учащийся умел применять физические знания в ситуациях, приближенных к технической и жизненной реальности. Ученик должен не только знать формулу, но и понимать, как с ее помощью выбрать материал, оценить прочность конструкции, рассчитать электрическую цепь, объяснить потерю энергии или улучшить работу простого устройства.

В этом контексте особое значение приобретает инженерное мышление. В рамках школьной физики его можно понимать как способность видеть техническую проблему, переводить ее на язык физических величин, строить упрощенную модель, учитывать ограничения, изготавливать и испытывать прототип, анализировать полученные данные и предлагать обоснованное улучшение. Такое понимание не сводит урок физики к ремесленному

изготовлению моделей: главным остается осознанная связь между физическим законом и проектным решением.

В международных исследованиях проектное обучение в физике рассматривается как подход, способный повысить интерес учащихся, развить научно-практические навыки и сделать усвоение физических понятий более осмысленным [1]. Обзоры STEM-образования также показывают, что интеграция науки, технологии, инженерии и математики становится важным направлением обновления физического образования [2], [6]. При этом авторы подчеркивают: эффективность проектного обучения зависит не от самого факта выполнения проекта, а от качества педагогического дизайна, связи задания с учебным содержанием и наличия рефлексивной оценки.

Проблема состоит в том, что в школьной практике проект иногда превращается в изготовление внешне привлекательного макета без достаточного физического объяснения. Учащиеся могут построить мост из бумаги, собрать модель электромагнита или солнечной сушилки, но при этом не всегда проводят расчет, не фиксируют измерения и не объясняют, почему выбранное конструктивное решение оказалось удачным или неудачным. В исследованиях инженерно-дизайнерских заданий эта трудность описывается как разрыв между проектированием и научным объяснением [3]. Следовательно, методическая задача заключается не в простом добавлении проектов, а в такой организации урока, при которой проектирование становится способом изучения и применения физики.

Цель статьи - теоретически обосновать и описать дидактическую модель развития инженерного мышления школьников на уроках физики через проектно-конструкторскую деятельность. Для достижения цели решаются следующие задачи: уточнить структуру инженерного мышления в школьном курсе физики; определить этапы организации проектно-конструкторского задания; выделить методические условия, при которых проект сохраняет физическое содержание; предложить критерии наблюдения и оценивания деятельности учащихся.

Материалы и методы исследования

Статья подготовлена как теоретико-методическое исследование. В качестве материала использованы современные публикации по проектному обучению, STEM-образованию, инженерному дизайн-процессу и образовательным практикам в физике. Анализировались работы, в которых рассматриваются проектные задания в школьной физике, интеграция STEM-подхода, связь инженерного дизайна с научным объяснением, а также применение цифровых и простых конструкторских средств в учебном процессе [1]-[10].

Методами исследования выступили сравнительный анализ научно-методической литературы, обобщение педагогических подходов, моделирование структуры проектно-конструкторской деятельности и методическая интерпретация примеров заданий по школьной физике. Эмпирические данные в статье не заявляются, поэтому в тексте не приводятся проценты роста, статистические показатели или результаты конкретного класса. Такой подход выбран сознательно, чтобы не заменять научную аргументацию неподтвержденными числовыми данными.

В основу модели положены несколько принципов. Первый принцип - связь проекта с конкретной темой курса физики. Второй - обязательное наличие измерений или расчетов, позволяющих проверить качество решения. Третий - учет ограничений: времени, материалов, безопасности, стоимости и размеров конструкции. Четвертый - итерационность, то есть возможность испытать прототип и внести улучшение. Пятый - рефлексия, при которой учащийся объясняет не только результат, но и ход рассуждения. Эти принципы согласуются с выводами исследований о проектном обучении и интегрированном STEM-образовании [4], [8].

При разработке модели учитывалось, что школьный проект должен быть посильным для учащихся и одновременно содержательно связанным с физикой. Поэтому предпочтение отдается заданиям, где можно использовать доступные материалы и простые измерительные средства: бумагу, картон, провода, светодиоды, батарейки, термометры, мультиметры, линейки, секундомеры, простые датчики или микроконтроллеры при наличии условий. Arduino и другие цифровые средства могут усилить практическую часть обучения, однако они не должны подменять понимание физических величин и причинно-следственных связей [7].

Результаты исследования

Результатом проведенного теоретико-методического анализа является дидактическая модель проектно-конструкторской деятельности на уроках физики. Модель включает восемь взаимосвязанных этапов: постановка проблемной ситуации; формулирование технического задания; актуализация физических понятий; разработка и обоснование идеи; изготовление прототипа; испытание и измерение; улучшение конструкции; защита и рефлексия.

На первом этапе учитель предлагает не готовую инструкцию, а проблему. Например: как сделать бумажный мост более прочным при ограниченном количестве материала; как собрать экономичную схему освещения; как уменьшить теплопотери в контейнере; как повысить устойчивость модели башни. Такая постановка вопроса помогает учащимся увидеть, что физика нужна не только для решения задач в тетради, но и для принятия технических решений.

На втором этапе формулируется техническое задание. Оно должно содержать цель, ограничения и критерий успешности. Если учащиеся проектируют мост, указываются длина пролета, количество бумаги, допустимые материалы и способ проверки нагрузки. Если проектируется электрическая схема, задаются источник питания, количество элементов, требование безопасности и измеряемые параметры. Наличие ограничений принципиально важно, потому что инженерное мышление формируется именно в ситуации выбора: нельзя одновременно сделать устройство любого размера, из любых материалов и за неограниченное время.

Третий этап связан с актуализацией физических понятий. Перед конструированием учащиеся должны назвать законы и величины, которые будут использоваться. Для моста это сила, равновесие, деформация, центр масс и распределение нагрузки; для электрической цепи - сила тока, напряжение, сопротивление и мощность; для теплоизоляции - теплопроводность, конвекция, излучение и изменение температуры. Если этот этап пропущен, проект легко превращается в работу методом случайных проб.

Четвертый и пятый этапы связаны с разработкой идеи и изготовлением прототипа. Здесь важно сохранить баланс между самостоятельностью учащихся и педагогическим сопровождением. Учитель не должен сразу давать готовую схему, но может задавать уточняющие вопросы: какие величины вы будете измерять; почему выбран именно этот материал; как вы узнаете, что конструкция стала лучше; какие ошибки могут возникнуть при испытании? Такой тип вопросов переводит проектную активность в плоскость физического рассуждения.

Шестой и седьмой этапы - испытание, измерение и улучшение. Именно здесь проектно-конструкторская деятельность отличается от декоративного моделирования. Учащиеся должны получить данные: максимальную нагрузку, время остывания, силу тока, напряжение, дальность движения, изменение температуры или другой измеряемый показатель. После этого они обсуждают причины результата и предлагают улучшение. Исследования инженерного дизайна в физическом образовании показывают, что связь между проектным действием и научным объяснением требует специальной поддержки; иначе учащиеся могут ограничиться подбором вариантов без осознанного применения физики [3], [5].

Восьмой этап - защита и рефлексия. На этом этапе группа объясняет, какую проблему решала, какие физические законы использовала, какие данные получила и что изменила после испытания. Рефлексия особенно важна, потому что в инженерной деятельности неудачный прототип не является только ошибкой. Он дает информацию о слабом месте конструкции, неточности расчета или неверно выбранном материале. Такая позиция помогает формировать спокойное и аналитическое отношение к ошибке.

Таблица 1 - Компоненты инженерного мышления школьников на уроках физики

Компонент	**Содержание компонента**	**Наблюдаемые проявления**
Мотивационно-ценностный	Интерес к практическому применению физики, готовность искать решение и принимать ошибку как часть работы.	Учащийся задает вопросы, предлагает варианты, проявляет инициативу, связывает задачу с реальной ситуацией.
Когнитивный	Понимание физических понятий и способность перевести техническую ситуацию в физическую модель.	Выделяет величины, использует формулы осмысленно, объясняет влияние формы, материала или схемы.
Операционально-деятельностный	Умение конструировать, измерять, работать с инструментами, оформлять данные и проверять прототип.	Собирает устройство, фиксирует результаты, сравнивает варианты, использует таблицу или график.
Рефлексивно-оценочный	Анализ результата, ошибок, ограничений и командного вклада.	Объясняет причину неудачи, предлагает улучшение, аргументирует решение физическими данными.

Как видно из таблицы 1, инженерное мышление не ограничивается умением изготовить изделие. Оно включает мотивацию, понимание физики, практические действия и рефлексию. Поэтому оценивание проекта должно быть комплексным. Недостаточно поставить высокую оценку только за красивый внешний вид модели; необходимо учитывать физическое обоснование, качество измерений, использование данных для вывода и способность учащихся объяснить процесс улучшения.

Для уроков физики можно предложить несколько типов проектно-конструкторских заданий. Объяснительно-конструкторские задания направлены на демонстрацию явления: модель электромагнита, перископ, гидравлический пресс, простая оптическая система. Оптимизационные задания требуют улучшить показатель: увеличить прочность моста, уменьшить теплопотери, повысить яркость схемы при ограниченном источнике питания. Социально-прикладные задания связаны с реальными условиями школы или региона: энергосбережение, освещение кабинета, использование солнечной энергии, измерение температуры или влажности.

Например, при изучении электрических цепей учащиеся могут разработать модель освещения кабинета с двумя режимами яркости. Такое задание требует не только соединить элементы, но и объяснить выбор схемы, измерить силу тока и напряжение, рассчитать мощность и сделать вывод о рациональности решения. При изучении теплопередачи можно предложить изготовить теплоизолирующий контейнер и сравнить изменение температуры воды во времени. При изучении механики полезно задание на бумажный мост, где учащиеся сопоставляют массу

конструкции и выдерживаемую нагрузку. Во всех этих примерах физический закон становится критерием качества проекта.

Предложенная модель не требует полной замены обычного урока проектами. Более реалистичным является включение малых проектно-конструкторских заданий в ключевые темы курса. Один проект может занимать часть урока, один-два урока или выполняться как внеурочное продолжение. Важно, чтобы каждый проект завершался обсуждением данных и выводом. Такой подход согласуется с представлением о STEM как об интеграции дисциплин вокруг проблемы, а не как о механическом объединении разных предметов [8], [9].

Ограничением предложенной модели является то, что она описывает методическую основу и нуждается в дальнейшей апробации в конкретных классах. Для эмпирического исследования необходимо заранее определить выборку, диагностические инструменты, критерии оценивания, сроки проведения и способы обработки данных. Только после этого можно говорить о количественном влиянии проектно-конструкторской деятельности на компоненты инженерного мышления. В данной статье такие данные намеренно не приводятся, чтобы избежать недостоверных выводов.

Практическая ценность модели состоит в ее применимости для обычного школьного кабинета физики. Большинство предложенных заданий может выполняться с доступными материалами. Цифровые инструменты, датчики и микроконтроллеры могут использоваться как расширение, но не являются обязательным условием. Более важными являются грамотная постановка проблемы, требование физического объяснения, фиксация измерений и культура рефлексии. Именно эти элементы делают проект учебным, а не только внешне занимательным.

Заключение

Развитие инженерного мышления школьников на уроках физики возможно при условии, что проектно-конструкторская деятельность строится вокруг содержания самого предмета. Физика обладает для этого большим потенциалом: ее темы связаны с движением, энергией, электричеством, теплом, светом, давлением, материалами и измерениями. Однако этот потенциал раскрывается только тогда, когда учащиеся не просто изготавливают модель, а объясняют ее работу через физические понятия и проверяют свои решения данными.

Предложенная дидактическая модель включает постановку проблемы, техническое задание, актуализацию физических знаний, разработку идеи, изготовление прототипа, испытание, улучшение и защиту. Она направлена на развитие мотивационно-ценностного, когнитивного, операционально-деятельностного и рефлексивно-оценочного компонентов инженерного мышления. Модель может быть использована учителями физики при проектировании уроков, элективных занятий, STEM-кружков и школьных исследовательских работ.

Главный методический вывод заключается в следующем: проектно-конструкторская деятельность эффективна не сама по себе, а при наличии физической насыщенности, измерений, ограничений, рефлексии и понятных критериев оценивания. При таких условиях урок физики становится пространством осмысленного инженерного поиска, в котором школьник учится применять знания для решения практических задач без потери фундаментального содержания предмета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Al-Kamzari F., Alias N. A systematic literature review of project-based learning in secondary school physics: theoretical foundations, design principles, and implementation strategies // Humanities and Social Sciences Communications. - 2025. - Vol. 12. - Article 286. DOI: 10.1057/s41599-025-04579-4.

2. Putri R.A., Kuswanto H., Rahmi R., I'liyatunnisa I., Saputri M., Padli M.S., Tugirin, Masak, Hamdi M.N., Aziza N. Trends in STEM-based physics education research (2016-2025): A systematic literature review // European Journal of STEM Education. - 2026. - Vol. 11, No. 1. - Article 28. DOI: 10.20897/ejsteme/18497.

3. Subramaniam R.C., Borse N., Bralin A., Morphew J.W., Rebello C.M., Rebello N.S. Investigating the design-science connection in a multiweek engineering design-based introductory physics laboratory task // Physical Review Physics Education Research. - 2025. - Vol. 21. - Article 010118. DOI: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.21.010118.

4. Subramaniam R.C., Morphew J.W., Rebello C.M., Rebello N.S. Presenting a STEM Ways of Thinking framework for engineering design-based physics problems // Physical Review Physics Education Research. - 2025. - Vol. 21. - Article 010122. DOI: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.21.010122.

5. Lavado-Anguera S., Velasco-Quintana P.J., Terrón-López M.J., Espinosa-Elvira M.C. Project-Based Learning as an experiential pedagogical methodology in engineering education: A review of the literature // Education Sciences. - 2024. - Vol. 14, No. 6. - Article 617. DOI: 10.3390/educsci14060617.

6. Syukri M., Halim L., Meerah T.S.M., Saminan, Nurmaliah C. STEM-based engineering design process models in physics learning: Systematic literature review // European Journal of STEM Education. - 2026. - Vol. 11, No. 1. - Article 4. DOI: 10.20897/ejsteme/17784.

7. Çoban A., Erol M. Impact of Arduino based STEM education on cognitive domain level of mechanics and scientific creativity // LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education. - 2025. - Vol. 12, No. 4. - Article 16. DOI: 10.31129/LUMAT.12.4.2231.

8. Thibaut L., Ceuppens S., De Loof H., De Meester J., Goovaerts L., Struyf A., Boeve-de Pauw J., Dehaene W., Deprez J., De Cock M., Hellinckx L., Knipprath H., Langie G., Struyven K., Van de Velde D., Van Petegem P., Depaepe F. Integrated STEM education: A systematic review of instructional practices in secondary education // European Journal of STEM Education. - 2018. - Vol. 3, No. 1. - Article 2. DOI: 10.20897/ejsteme/85525.

9. English L.D. STEM education K-12: Perspectives on integration // International Journal of STEM Education. - 2016. - Vol. 3. - Article 3. DOI: 10.1186/s40594-016-0036-1.

10. Ananda L.R., Rahmawati Y., Khairi F. Critical thinking skills of chemistry students by integrating design thinking with STEAM-PjBL // Journal of Technology and Science Education. - 2023. - Vol. 13, No. 1. - P. 352-367. DOI: 10.3926/jotse.1938.

REFERENCES

1. Al-Kamzari, F., & Alias, N. (2025). A systematic literature review of project-based learning in secondary school physics: Theoretical foundations, design principles, and implementation strategies. Humanities and Social Sciences Communications, 12, 286. https://doi.org/10.1057/s41599-025-04579-4

2. Putri, R. A., Kuswanto, H., Rahmi, R., I'liyatunnisa, I., Saputri, M., Padli, M. S., Tugirin, Masak, Hamdi, M. N., & Aziza, N. (2026). Trends in STEM-based physics education research (2016-2025): A systematic literature review. European Journal of STEM Education, 11(1), 28. https://doi.org/10.20897/ejsteme/18497

3. Subramaniam, R. C., Borse, N., Bralin, A., Morphew, J. W., Rebello, C. M., & Rebello, N. S. (2025). Investigating the design-science connection in a multiweek engineering design-based introductory physics laboratory task. Physical Review Physics Education Research, 21, 010118. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.21.010118

4. Subramaniam, R. C., Morphew, J. W., Rebello, C. M., & Rebello, N. S. (2025). Presenting a STEM Ways of Thinking framework for engineering design-based physics problems. Physical Review Physics Education Research, 21, 010122. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.21.010122

5. Lavado-Anguera, S., Velasco-Quintana, P. J., Terrón-López, M. J., & Espinosa-Elvira, M. C. (2024). Project-Based Learning as an experiential pedagogical methodology in engineering education: A review of the literature. Education Sciences, 14(6), 617. https://doi.org/10.3390/educsci14060617

6. Syukri, M., Halim, L., Meerah, T. S. M., Saminan, & Nurmaliah, C. (2026). STEM-based engineering design process models in physics learning: Systematic literature review. European Journal of STEM Education, 11(1), 4. https://doi.org/10.20897/ejsteme/17784

7. Çoban, A., & Erol, M. (2025). Impact of Arduino based STEM education on cognitive domain level of mechanics and scientific creativity. LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education, 12(4), 16. https://doi.org/10.31129/LUMAT.12.4.2231

8. Thibaut, L., Ceuppens, S., De Loof, H., De Meester, J., Goovaerts, L., Struyf, A., Boeve-de Pauw, J., Dehaene, W., Deprez, J., De Cock, M., Hellinckx, L., Knipprath, H., Langie, G., Struyven, K., Van de Velde, D., Van Petegem, P., & Depaepe, F. (2018). Integrated STEM education: A systematic review of instructional practices in secondary education. European Journal of STEM Education, 3(1), 2. https://doi.org/10.20897/ejsteme/85525

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

10. Ananda, L. R., Rahmawati, Y., & Khairi, F. (2023). Critical thinking skills of chemistry students by integrating design thinking with STEAM-PjBL. Journal of Technology and Science Education, 13(1), 352-367. https://doi.org/10.3926/jotse.1938

МЕКТЕП ОҚУШЫЛАРЫНЫҢ ФИЗИКА САБАҒЫНДА ЖОБАЛАУ АРҚЫЛЫ ИНЖЕНЕРЛІК ОЙЛАУЫН ДАМЫТУ

Атабаева Барчиной Хасановна
Әжинияз атындағы Нөкіс мемлекеттік педагогикалық институты, Нөкіс, Өзбекстан
e-mail: hasanhasan65424@gmail.com

Аннотация. Мақалада физика сабақтарында жобалық-конструкторлық іс-әрекет арқылы оқушылардың инженерлік ойлауын дамыту мәселесі қарастырылады. Жұмыс теориялық-әдістемелік сипатта жазылған және нақты педагогикалық эксперимент жүргізілмегендіктен, онда тексерілмеген сандық көрсеткіштер берілмейді. Мақаланың мақсаты - мектеп физикасы мазмұнына сәйкес инженерлік ойлау құрылымын нақтылау және физикалық білімді қарапайым техникалық объектілерді жобалау, сынау және жетілдіру барысында қолдануға мүмкіндік беретін дидактикалық модельді сипаттау. Зерттеу материалдары ретінде жобалық оқыту, STEM-білім беру, инженерлік дизайн үдерісі және физиканы оқыту әдістемесі бойынша ғылыми еңбектер пайдаланылды. Модель мәселені қою, техникалық тапсырманы анықтау, физикалық ұғымдарды өзектендіру, идеяны негіздеу, прототип жасау, өлшеу, жетілдіру және қорғау кезеңдерін қамтиды. Инженерлік ойлаудың мотивациялық-құндылықтық, когнитивтік, операциялық-іс-әрекеттік және рефлексивтік-бағалау компоненттері бөлінді. Мақалада жобаның оқу құралына айналуы үшін физикалық есептеу, өлшеу, шектеулер, қауіпсіздік және рефлексия міндетті түрде ескерілуі қажет екені көрсетіледі.

Түйін сөздер: инженерлік ойлау; физика; жобалық-конструкторлық іс-әрекет; STEM-білім беру; жобалық оқыту; прототиптеу; инженерлік дизайн үдерісі; рефлексия.

DEVELOPING ENGINEERING THINKING IN SCHOOL PHYSICS THROUGH DESIGN ACTIVITIES

Atabayeva Barchinoy Khasanovna
Ajiniyoz Nukus State Pedagogical Institute, Nukus, Uzbekistan
e-mail: hasanhasan65424@gmail.com

Abstract. The article examines the methodological issue of developing students' engineering thinking in physics lessons through project-based design activities. The study is theoretical and methodological in nature; therefore, it does not present unverified experimental percentages or statistical claims. The aim is to clarify the structure of engineering thinking in relation to school physics and to describe a didactic model in which physical knowledge is applied to the design, testing and improvement of simple technical objects. The study is based on the analysis of publications on project-based learning, integrated STEM education, the engineering design process and physics teaching methodology. The proposed model includes problem setting, formulation of a technical task, activation of relevant physical concepts, development and justification of an idea, prototype construction, testing, measurement, improvement, presentation and reflection. Four components of engineering thinking are identified: motivational-value, cognitive, operational-activity and reflective-evaluative. The article argues that a school project becomes an educational tool only when it includes physical reasoning, measurement, constraints, safety requirements and reflection. The model can be used by physics teachers in lessons, elective courses, STEM clubs and methodological work.

Keywords: engineering thinking; physics; project-based design activity; STEM education; project-based learning; prototyping; engineering design process; reflection.