

Разработка междисциплинарного STEM-модуля для учителей средней школы: поисковое исследование

Шихуань Сюй, Чиа-Чи Сунг, Хорн-Чжун Шин

Статья поступила
в редакцию
в ноябре 2019 г.

Шихуань Сюй (Shihkuan Hsu)

PhD, профессор Национального университета Тайваня. E-mail: skhsu@ntu.edu.tw

Чиа-Чи Сунг (Chia-Chi Sung)

PhD, профессор Национального университета Тайваня. E-mail: ccsung@ntu.edu.tw

Хорн-Чжун Шин (Horn-Jiunn Sheen)

PhD, профессор Национального университета Тайваня. E-mail: sheenh@ntu.edu.tw

Адрес: No 1, Sec. 4, Roosevelt Road, Taipei, Taiwan 10617, ROC.

Аннотация. Теоретики образования полагают, что современный человек в результате получения образования должен приобрести способность самостоятельно проводить исследования и решать проблемы. Реформа, которая идет сейчас в школах Тайваня, имеет целью развитие именно таких ключевых компетенций. Один из способов решить эту задачу — STEM-образование. STEM-модули, объединяющие естественные науки, математику, технологии и инженерию, становятся главным ускорителем перехода к междисциплинарному, основанному на исследовании преподаванию и обучению. О преимуществах STEM-модулей и потребности в них написано много, а вот трудности, с которыми связаны разработка и внедрение такого междисциплинарного модуля, обсуждаются реже. В данной статье описан процесс разработки биосенсора, предназначенного для определения концентрации глюкозы

в растворе. Этот междисциплинарный модуль объединяет физику, химию, биологию, математику, электронику и программирование. Цель программы в том, чтобы школьники сконструировали устройство, похожее на глюкометр, имеющийся в продаже. Для ознакомления педагогов с необходимыми для создания такого устройства теоретическими знаниями и операциями были проведены тренинги. Анализ анкет, заполненных участниками тренинга (21 педагог), показал, что учителя столкнулись с существенными трудностями: им было сложно и понять, и модифицировать STEM-модуль, и подготовить учеников к работе с модулем. В ходе группового интервью, проведенного после тренинга, выяснилось: внедрить такой модуль педагогам сложно, потому что для этого требуется и серьезная техническая подготовка, и новейшее оборудование и материалы. Возник вопрос о практической пользе модуля для школьников, а потом и новая задача, отличная от первоначальной. Помимо техноконцентрированной модели разработки STEM-материала, предложена и рассмотрена более подробно альтернативная, наукоцентрированная модель.

Ключевые слова: модели разработки STEM-материала, средняя школа, биосенсор глюкозы (STEM-модуль), преподавание естественных и технических наук.

DOI: 10.17323/1814-9545-2020-2-230-251

Shihkuan Hsu, Chia-Chi Sung, Horn-Jiunn Sheen. Developing an Interdisciplinary Bio-Sensor STEM Module for Secondary School Teachers: An Exploratory Study (пер. с англ. Л. Тронин).
Финансовую поддержку этого проекта обеспечило Министерство науки и технологий Тайваня, грант MOST 106-2514-S-002-003.

Прикладная деятельность признана важным инструментом освоения школьниками естественных наук [Holstermann, Grube, Vögeholz, 2010]. Практические занятия под руководством педагога не только помогают учащимся лучше разобраться в научных концепциях, но и усиливают их интерес к изучению естественных наук. Внедрение в обучение технологического компонента, как, например, в модели STEM-образования¹, которое интегрирует естественные науки, технологии, инженерию и математику, дополняет узкодисциплинарную модель изучения прикладных наук [English, 2016]. Особенность STEM-образования — это не только междисциплинарное предметное содержание, но и исследование как метод обучения, а также проблемно ориентированный подход [Holmlund, Lesseig, Slavik, 2018]. Педагоги, привлекая школьников к решению реальных задач, создают им благоприятные условия для проявления способностей и интересов в сфере STEM-дисциплин, в том числе в инженерно-технической области [Moore, Smith, 2014].

Недавно прошедшая на Тайване реформа учебной программы предполагает внедрение в практику преподавания исследовательского подхода и прикладных моделей обучения [Ministry of Education, 2014]. Для формирования у школьников ключевых компетенций, среди которых и освоение научных дисциплин, школам рекомендуют вводить в учебные планы больше междисциплинарных курсов — как обязательных, так и факультативных. В сочетании с новыми направлениями научно-технического знания («умными» технологиями, информационной наукой) STEM-уроки являются механизмом создания междисциплинарных учебных программ. Однако с разработкой и подготовкой STEM-уроков есть проблемы. Связаны они, в частности, с источниками материала для таких уроков, со способами разработки STEM-уроков и STEM-модулей. Ниже мы опишем несколько моделей, а также представим для обсуждения вариант разработки STEM-материала.

Разработка учебно-методических материалов принципиально важна для построения эффективного STEM-урока, но она же и представляет основную трудность. Поскольку такой урок чаще всего по сути своей междисциплинарен, разработка материалов для него требует кооперации нескольких специалистов, в том числе сотрудников университетов или образовательных ведомств [Pinnell et al., 2013]. В создании таких материалов могут принимать участие компании, занимающиеся научными исследованиями и разработками и выпускающие соответствующие

1. Миссия STEM-образования

2. Существующие модели разработки STEM-модулей

¹ STEM — Science, Technology, Engineering and Mathematics.

Таблица 1. **Существующие модели разработки STEM-материалов и STEM-уроков**

	Модели		
	I	II	III
Основные медиаторы	Компания	Университет/ образовательное ведомство	Педагог
Подготовка научной и технологической информации	КУ	У	УП
Интегральная концепция, педагогические методы	КП	У	П
Разработка материала для STEM-урока	К	КУП	УП
Профессиональная подготовка педагога	КП	КУП	УП
Проведение STEM-урока	П	П	П

Примечание: К = компания; У = университет/образовательное ведомство; П = педагог.

щую продукцию [Crowley, 2017]. Здесь возможны как минимум три вида кооперации (табл. 1).

Первая модель: педагоги используют существующие материалы или инструментарий (например, конструктор *LEGO* и роботов), предоставленные научно-производственными компаниями [Afari, Khine, 2017; Leonard et al., 2016]. Коммерческие разработки часто используются в STEM-обучении, поскольку создать хороший инструментарий — дело трудоемкое. У коммерческих разработок много преимуществ: они надежны и привлекательны, могут быть приспособлены для пользователей с разным уровнем подготовки, а также помогают овладевать дополнительными навыками, например программированием. А самое главное, учителя без особого труда могут спроектировать и построить вокруг них урок [Kim et al., 2019]. Основные проблемы здесь — платформы, среды и затраты. В большинстве своем такие материалы и инструменты слишком дороги, и учителя не способны обеспечить ими каждого ученика.

Вторая модель — вероятно, наиболее распространенная — предполагает разработки на основе инженерных технологий, которыми занимаются в вузах, и здесь обычно в фокусе оказывается какая-либо отдельная научная дисциплина или техническая область [Ernst, Busby, 2009; Stohlmann, Moore, Cramer, 2013]. Специалисты в технических областях могут отдельно или в сотрудничестве со специалистами в области образования разрабатывать материалы для STEM-обучения. Школьные учителя могут привлекаться или не привлекаться к этой работе. Такие

материалы в содержательной и методической части чаще всего разрабатывают и выпускают университеты (профессура), государственные образовательные ведомства, иногда — представители бизнеса, сотрудники предприятий. В этом случае предполагается, что учителя проходят обучение на тренингах, приобретая навыки «преобразования» и адаптации новых педагогических идей, предложенных разработчиками.

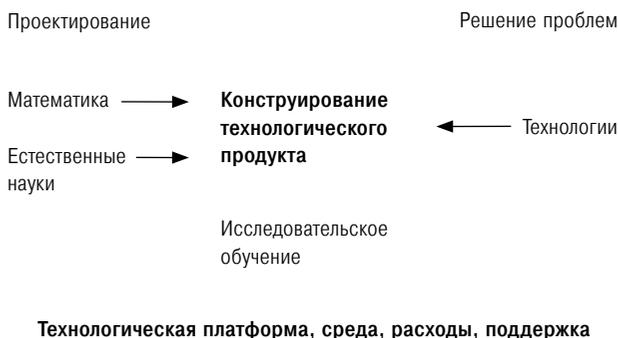
Третья модель — разработка материалов и уроков преимущественно самими учителями. Реализацию такой модели можно считать ключевой целью STEM-образования, так как именно учитель, воспринявший проблемно ориентированную, основанную на исследовательском подходе педагогику, способен разработать и внедрить STEM-урок [O'Neill et al., 2012]. Прибегая к помощи тех или иных источников, он достигает своих педагогических целей, которые могут соответствовать целям правительственных реформ, но не обязательно полностью совпадают с ними. Учителя могут посещать тренинги, организованные вузом или государственным образовательным ведомством, после чего они адаптируют преподанный материал, педагогическую методику и сами уроки к условиям собственной педагогической деятельности.

Каждая из описанных моделей имеет преимущества и недостатки. Для внедрения уже готового STEM-модуля в рамках первой модели предусмотрены и наиболее подходящее оборудование, и простые и понятные учебные действия, однако ее применение бывает непросто согласовать с образовательной программой и педагогическими интересами, да и с нормами разумного бюджетирования тоже. В рамках третьей модели STEM-модули наилучшим образом адаптируются под конкретный предмет, учебную программу и предпочтения педагогов, но в этом случае учитель должен иметь познания и навыки в различных дисциплинах и желание разрабатывать прикладные учебные материалы. Более того, в условиях ограниченного финансирования и недостатка материальных ресурсов учителю нелегко в одиночку разработать и интегрировать материал для STEM-урока. Вторая модель, построенная на сотрудничестве вузов и педагогов, обеспечивает и поддержку, и гибкость, необходимые при разработке учебно-методических материалов для STEM-урока. Поэтому она заслуживает более подробного рассмотрения.

В рамках второй модели, когда университет и учитель сотрудничают, инициатором или ведущим автором разрабатываемой совместно STEM-программы часто выступает преподаватель вуза — специалист в инженерно-технической области и в области образования, имеющий необходимые ресурсы. Помощь, ко-

3. Поддержка и ограничения при совместной разработке STEM-материалов

Рис. 1. **Разработка STEM-урока, в результате которого должен быть сконструирован технологический продукт**



торую оказывает университет на предварительном этапе разработки STEM-модуля, обычно предполагает формирование интегральной концепции, выбор педагогической направленности, а также определение процедуры проектирования и разработки учебно-методических материалов.

Что касается интегральной концепции и педагогической направленности, в большинстве своем STEM-уроки имеют целью расширить компетенции школьников, связанные с исследовательской деятельностью и решением проблем. Бельгийские исследователи на основе анализа девяти публикаций, посвященных STEM-образованию, выделили пять общих элементов STEM-урока: межпредметная (в рамках STEM) интеграция учебного содержания, проблемно центрированное обучение, исследовательское обучение, проектное обучение и совместное обучение [Thibaut et al., 2018]. Одна из распространенных интегративных стратегий — используя существующую технологию как некий ускоритель, сформулировать технические понятия и определить план действий в процессе исследовательского и проблемного обучения. Конечным результатом STEM-урока обычно бывает конструирование технологического продукта в миниатюре или его симулятора (рис. 1). Такой интегративный подход эффективен, поскольку увязывает обучение в ходе STEM-уроков с реальными практическими задачами и окружающими школьников технологиями. Объясняют ли учащимся, какие факторы необходимо учитывать при строительстве сейсмоустойчивых зданий [English, King, Smeed, 2017], предлагают ли им, работая в группах, обдумать, какие абиотические факторы важны и какие нужны материалы для создания модели теплицы [Moore, Guzey, Brown, 2014], — так или иначе в рамках подобных проектов междисциплинарные STEM-знания и пе-

дагогические стратегии объединяются в одном цельном уроке. Однако такой тип урока занимает, как правило, больше времени, чем стандартный, и требует глубоких знаний от педагогов. Недостаток таких знаний и жесткий учебный план часто ограничивают возможности воплощения подобных проектов [Moore, Smith, 2014].

Один из способов преодоления проблем, связанных с внедрением STEM-уроков, — расширить участие учителей в их проектировании. Исследователи предлагают следующий вариант: профессора вузов формируют техническую концепцию, а учителя разрабатывают уроки, подбирают материал. Американские авторы [Billiar et al., 2014], взяв за основу процесс технического проектирования, предложили восьмиступенчатую методику разработки STEM-уроков: обозначить проблему, изучить и ранжировать задачи и ограничения, выработать возможные решения, выбрать лучшие решения с учетом ограничений, на их основе сконструировать прототип (модель), протестировать и оценить его, обсудить результаты и, наконец, оценить решение повторно и пересмотреть. Схема оказалась полезной, и многие учителя в ходе тренингов освоили навыки разработки STEM-уроков с использованием наличного материала. Авторы приводят в качестве примера случай, когда школьники, разбившись на группы, под руководством педагога-технолога спроектировали заменитель поврежденной передней крестообразной связки. Школьники работали вместе: сначала уточнили задачу, используя подручные средства — бумагу и тесьму, затем выбрали лучшую конструкцию, разработали физический прототип недорогого персонализированного механического устройства и оценили найденные решения. В данном случае согласно интегральной концепции урока учитель сам планирует занятие и гибко управляет им, не разрабатывая для него, однако, новый материал.

Совместная разработка интегрированных STEM-уроков, в которой принимают участие университеты и учителя, потенциально обогащает содержание таких уроков. Однако педагоги, которые внедряют в конечном итоге STEM-уроки, не всегда принимают участие в проектировании и разработке модуля и материалов. Поэтому между замыслом и воплощением могут быть расхождения. В процессе проектирования и разработки STEM-уроков часто возникают проблемы, связанные с необходимостью включить в урок содержание того или иного предмета, с недостаточной гибкостью учебного плана, несоответствием между поставленной задачей и педагогическими целями урока и трудностями в адаптации материала. Вопрос, как определить границы, в которых должен действовать университет, чтобы обеспечить учителю определенную свободу действий, остается открытым.

4. Исследовательский проект по созданию биосенсора

Недавно прошедшая на Тайване реформа учебной программы нацелена на формирование у школьников навыков исследования и решения проблем в сфере науки и технологий. Интегрированный STEM-урок — важное средство в достижении этой цели. Изучив варианты разработки STEM-модулей и материала для них, мы предпочли вторую модель. В первой модели используется уже существующее оборудование, например роботы, но здесь упор сделан в основном на технологическое содержание, в частности программирование, научный же компонент сравнительно невелик. Для разработки уроков по третьей модели требуются учителя с обширным опытом, компетентные в самых разных дисциплинах, а они до сих пор редкость.

Выбирая материал для STEM-урока, особое внимание мы обратили на учителей-естественников. Естественнонаучная подготовка в тайваньской средней и старшей школе ведется традиционными методами, а результаты тестирования по предметам этого цикла очень важны. Повышенное внимание к этой области знания и практика тестирований поставили естественнонаучную учебную программу в центр реформы. Из четырех дисциплин, входящих в STEM, STEM-проекты реализуются в основном в области математики или физики, проекты в области химии и биологии встречаются реже. Поэтому для разработки STEM-модуля и материала для него в рамках проекта, поддержанного тайваньским Министерством науки и технологий, мы выбрали биосенсорику, связанную и с биологией, и с химией.

В ходе подготовки мы выделили необходимые теоретические знания по биосенсорике, создали протокол биосенсора. По совету сотрудничавших с нами учителей-естественников мы выбрали в качестве задачи разработку биосенсора глюкозы, поскольку глюкозу можно легко найти в школьных научных лабораториях. Чтобы облегчить разработку доступных STEM-материалов и STEM-модуля для учителей, воспользовались открытым ресурсом *Arduino*. Наконец, провели тренинги для учителей и изучили возможность внедрения модуля в естественнонаучную учебную программу.

5. Цели исследования

Модуль биосенсора глюкозы создавался, чтобы помочь учителям в разработке материалов для STEM-уроков. В рамках модуля, объединившего естествознание, математику, биологию, физику, электронику и программирование, стояла задача сконструировать сенсор, способный зарегистрировать трудно поддающийся фиксации ток, возникающий при окислении глюкозы. Ситуационное исследование проводилось с целью проанализировать, что учителя, посетившие тренинги профессионального развития, посвященные биосенсору, сочли полезным, а что — проблематичным.

Метод ситуационного исследования применяется для тщательного изучения конкретной ситуации. Данные могут быть получены аналитическим или комплексным путем, а также с применением качественных и количественных методов [Stake, 2005]. Центральный вопрос исследования: что мы можем узнать о данном конкретном случае?

Конструирование биосенсора глюкозы — частный случай разработки интегрированного STEM-модуля по второй модели (см. рис. 1). На первом этапе был создан протокол биосенсора (этим занимался университет), а затем мы вместе с учителями, принявшими участие в профессиональном тренинге, оценили возможность его применения в учебных целях.

Мы использовали несколько источников данных, в том числе анкетирование на тренинге и групповые интервью, чтобы выяснить, каковы фоновые знания педагогов, насколько хорошо они изучили модуль в ходе тренинга, как оценивают возможность его применения в классе и с какими проблемами могут столкнуться, применяя его.

Модуль глюкометра *Arduino*, использованный в нашем исследовании, был разработан командой профессоров университета — специалистов в инженерно-технической сфере и в сфере образования. Теоретической основой для создания глюкометра стала биосенсорика. На биосенсорике основан принцип действия различных технических средств, например фермент-детекторов или переносных устройств для обнаружения признаков жизни. Модуль позволяет рассмотреть различные биологические, химические и физические понятия, в том числе выявление глюкозы, окислительная реакция, электрический ток и сопротивление (табл. 2). Эти понятия входят в учебную программу средней и старшей школы. Такой биосенсор глюкозы можно сконструировать самостоятельно из самых простых, доступных электронных деталей — а значит, он может стать конечным продуктом STEM-модуля.

В процессе разработки этого STEM-протокола возникли некоторые трудности, которые и подсказали нам, на что может быть нацелена прикладная исследовательская деятельность учащихся и какие проблемы они будут решать. Во-первых, электрический ток, возникающий при окислении глюкозы при комнатной температуре, исключительно слабый — всего около 10^{-6} ампер. Чтобы зафиксировать настолько слабый ток, необходимо предусмотреть усиление в схеме электрической цепи. Во-вторых, слабый ток, даже при должном усилении, крайне чувствителен. Электронные детали — фильтр, резисторы — должны быть откалиброваны, чтобы минимизировать воздействие шумов и других видов помех. В-третьих, окисление глюкозы происходит в доли секунды. Необходимы очень высокая частота

6. Дизайн исследования

6.1. Метод и данные

6.2. Материал

2. Глюкосенсор *Arduino* и кривая концентрации глюкозы в растворе, построенная на основе данных, сгенерированных модулем

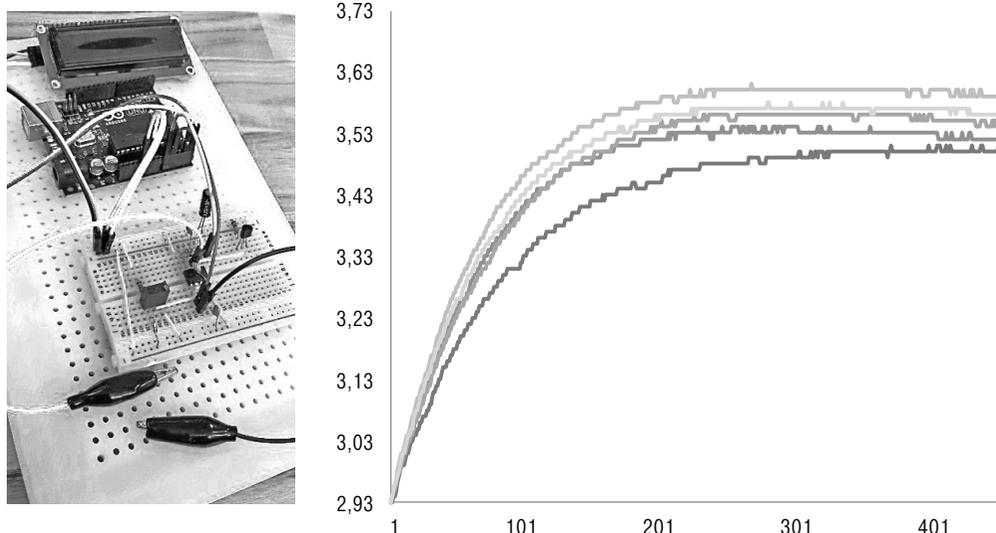


Таблица 2. Предметные разделы, связанные с модулем глюкосенсора *Arduino*

Предмет	Раздел	Уровень учебной программы
Биология	Глюкоза и диабет	10-й класс
Химия	Проверка уровня сахара	8-й класс
Физика	Ток, напряжение, резисторы	9-й класс
Электроника	Монтаж электропроводов, усиление и оптимизация	10-й класс средней специальной школы
Программирование	Логика и вычисления	10-й класс
Другие	Окисление глюкозы. Кривая глюкозы	Колледж

измерений, соответствующий язык программирования и многократное повторение опытов, чтобы рассчитать время наступления события. Таким образом, зафиксировать точки регрессии, необходимые для того, чтобы спрогнозировать уровень глюкозы в растворе неизвестной концентрации, трудно. В-четвертых, чтобы определить концентрацию глюкозы, нужен глюкозоспецифичный объект, например фермент. Для нашего глюкосенсора в качестве носителя такого фермента используются имеющиеся в продаже тест-полоски. После того как модуль сконструиро-

ван, с его помощью можно определить концентрацию глюкозы, а программа *Arduino* автоматически фиксирует данные (рис. 2).

После того как университет разработал протокол сенсора и модуль, мы организовали два профессиональных тренинга для педагогов. В ходе трехчасовых занятий учителей ознакомили с основной информацией о глюкозе, глюкозе в крови, а также о существующей технологии измерения уровня глюкозы. Особое внимание уделили диапазону уровня глюкозы в крови как показателю диабета. Затем им представили электронные детали и схему электронной цепи, которую необходимо составить из компонентов, для того чтобы усилить слабый ток, производимый в процессе окисления глюкозы. Наконец, с учителями провели практические занятия, где продемонстрировали процесс самостоятельной сборки глюко-сенсора *Arduino*. После того как глюко-сенсор был сконструирован, его применили для тестирования растворов глюкозы разных концентраций. По окончании тренинга учителям предложили использовать модуль глюко-сенсора на уроках.

На профессиональных тренингах учителям раздали две анкеты. Первую учителя заполнили перед тренингом: ее целью было выяснить, каков их опыт преподавания в сфере научно-технических знаний и какие они применяют приемы обучения. В анкете, которая заполнялась после тренинга, учителей просили рассказать о трудностях, с которыми они столкнулись в процессе сборки и использования модуля глюко-сенсора, и оценить возможности его применения на уроке.

По прошествии семестра с момента проведения тренинга было организовано итоговое групповое интервью. Педагогов попросили поделиться опытом использования глюкометра *Arduino* на уроках. Во встрече приняли участие пять учителей, которые после тренинга взяли модуль, чтобы использовать на занятиях в своих школах. Перед началом обсуждения все они изложили свои соображения письменно, а затем ответили на вопросы о том, по какой причине использовали или не использовали глюкометр *Arduino* на занятиях.

Профессиональные тренинги посетили в общей сложности 28 учителей, но только 21 педагог заполнил анкеты. Из них 13 преподают в старшей школе, шестеро — в средней, двое — в средней специальной школе. Большинство составили учителя-естественники, в основном биологи, но были и физики, и химики, и преподаватели естествознания вообще. Два педагога средних специальных школ были представителями кафедр вычислительной техники и электротехники.

Из пяти учителей, посетивших итоговую встречу и принявших участие в групповом интервью, трое преподавали в стар-

6.3. Тренинг для учителей и итоговое групповое интервью

6.4. Участники

Таблица 3. Предшествующий педагогический опыт учителей

Деятельность	Среднее значение	Стандартное отклонение
Использование на занятиях прикладных видов деятельности	2,81	1,12
Обучение исследовательской деятельности в сфере естественных наук	2,67	1,11
Использование прикладных видов деятельности, связанных с техникой	2,24	1,26
Объяснение учащимся понятий «электрический ток» и «напряжение»	2,57	1,33
Объяснение понятий биосенсорика	1,95	0,97
Подключение электронных компонентов к платам	1,95	1,26
Использование <i>Arduino</i>	1,81	1,12
Обучение программированию	1,86	1,06

Примечание: Ранжирование показателей использования указанных видов деятельности в преподавании: 1 = никогда, 2 = редко, 3 = иногда, 4 = достаточно часто, 5 = компетентен в этой теме, могу этому обучать.

шей школе, один — в средней, и один был педагогом средней специальной школы, специализировавшимся на электротехнике. В числе этих пяти педагогов две женщины и трое мужчин. Опыт преподавания — от 4 до 24 лет.

7. Результаты конструирования и внедрения модуля

7.1. Освоение STEM-знаний в ходе тренинга

В основном в тренинге приняли участие преподаватели-естественники средних школ. Большинство из них имели опыт, хотя и скромный, прикладной научной деятельности и некоторые знания об электрическом токе, однако опыт работы с понятиями биосенсорика, с электронными деталями, платами *Arduino* и языками программирования у педагогов был очень небогат (табл. 3).

В ходе трехчасового тренинга серьезно обучать педагогов технологиям программирования или тому, как обращаться с электронными деталями, не предполагалось. Рассказ о глюкозе и о том, что измерение ее уровня критически важно для обнаружения диабета, показался учителям интересным, но многие из них были в затруднении, когда понадобилось собрать модуль и работать с ним.

В анкетах, заполненных после тренинга, большинство педагогов (14 из 21, 67%) отметили, что электронная схема, вклю-

чавшая эталонный электрод, рабочий электрод и операционный усилитель, показалась им слишком сложной. Понять принципы проектирования электрической цепи преподавателям-естественникам было крайне трудно, а электронных деталей оказалось слишком много, и функциональность их слишком сложна, чтобы правильно с ними обращаться. Некоторые учителя отметили также, что сложно было понять и язык программирования, и предложили упростить процедуру обработки данных об окислении глюкозы. Один педагог заметил, что раствор глюкозы следует отмерять точнее, используя для этого не простую, а градуированную пипетку.

После тренинга учителей спросили, каких трудностей они ожидают при внедрении модуля на уроке и какая помощь им нужна. Получив представление о видах деятельности, входящих в модуль, учителя поняли, что им нужно намного больше теоретических знаний в сфере электроники и подробное описание принципов действия электронных компонентов (табл. 4). Некоторые отмечали к тому же, что приготовить раствор глюкозы не так просто, ведь для этого требуется и хорошо очищенная вода, и глюкоза высокого качества. Учитывая сложность модуля, часть учителей пришли к выводу, что биосенсорикой учащимся средней школы заниматься рано. Один учитель сказал, что ему, скорее всего, потребуется помощь прямо на уроке. Большинство педагогов испытывали большие сомнения по поводу использования глюкосенса на уроке.

7.2. Возможные проблемы при внедрении модуля

В ходе итогового группового интервью некоторые учителя высказали свое мнение по поводу глюкосенса. В целом в качестве объекта междисциплинарного исследования и материала он педагогам понравился, как и то, что сенсор точно измеряет уровень глюкозы и выдает данные для расчетов.

7.3. Возможности применения STEM-модуля

Что же касается использования в рамках классно-урочной системы обучения и учебного плана, учителя предложили расширить сферу применения модуля на такой раздел, как «Углеводы», или анализировать с его помощью активность ферментов.

Я думал, как применить глюкосенсор... Можно, например, использовать его при изучении темы «Углеводы». Скажем, я могу с его помощью измерить уровень глюкозы в крови школьников до еды и после, или можно его приспособить для измерения уровня других углеводов. Если так, с его помощью можно замерить содержание углеводов в пророщенных семенах или изменение активности ферментов. Тогда школьникам не придется просто смотреть на скучную схему в учебнике (учитель биологии, 10-й класс).

Таблица 4. **Какая помощь нужна педагогам для использования модуля на уроке**

№	Резюме	Выдержки из анкет
1	Детальное руководство по теории электроники и необходимым навыкам	Предоставить более подробные инструкции по поводу функционала каждой электронной детали, загрузить все информационные материалы в облачное хранилище. Дать подробные объяснения по поводу проектирования электроцепи. Дать теоретические сведения по электронике. Проинструктировать по поводу сборки электронных компонентов и разработки программ.
2	Упрощенная методика приготовления раствора глюкозы	Необходима инструкция по приготовлению раствора глюкозы и интерпретации результатов эксперимента. Необходимо упростить методику приготовления раствора.
3	Ход эксперимента	До сих пор не вполне ясны все факторы, способные повлиять на результаты. Кривую окисления все равно нужно калибровать.
4	Финансирование на закупку материалов	Нужно финансирование на закупку материала. Тест-полоски для глюкометра стоят недешево.
5	Первоначальные знания школьников	Слишком много информации для учащихся средней школы. Чтобы быть готовым к такому уроку, необходимо иметь гораздо больше первоначальных знаний. Такой модуль можно использовать только для демонстрации учащимся средней школы.
6	Помощь во время урока	Нужен помощник прямо на уроке.

Брать кровь у школьников я не могу... И покупать тест-полоски для глюкометра очень дорого. Я подумал, что можно, наверное, использовать модуль при изучении раздела о фотореакции, исследуя восстановительные процессы. Возможно, я смогу разработать практико-исследовательский курс вместо существующего материала, который позволяет только проводить учебное наблюдение с помощью индикаторов (учитель биологии, 12-й класс).

Учителя увидели и другую возможность использования модуля глюкосенсора: с его помощью в рамках эксперимента можно учить школьников проводить измерения с растворами. Например, при приготовлении раствора глюкозы можно на практике изучать понятия массовой доли и концентрации. Школьники в основном проходят их в 8-м классе, но возможности применить эти знания в жизни у них нет.

Этот модуль требует внимания к каждой мелочи — вот что меня впечатлило. Думаю, с его помощью школьников можно научить скрупулезности, которая требуется и для приготовления раствора (8-й класс), и при обращении с электроникой во время сборки электрической цепи (9-й класс), и при подключении и проведении расчетов в таблице Excel. Модуль, пожалуй, сложноват для работы в обычном классе средней школы, но для научного кружка или программы для одаренных детей может подойти (преподаватель естествознания, 7–9-е классы).

Эти педагоги увидели гораздо более широкие возможности применения глюкометра, чем предполагали первоначально разработчики. Учителям показалось интересным применять сенсор при изучении естественнонаучной программы самыми разными способами, а не просто конструировать его как техническую модель.

Один учитель — тот, который преподавал электротехнику в средней специальной школе, — в самом деле попробовал сконструировать сенсор, как было показано на тренинге, и с помощью модуля провести эксперименты со школьниками. Поскольку глюкозы в школе не оказалось, учитель модифицировал модуль, чтобы можно было измерить уровень сахара в растворе. Такие изменения потребовали и разработки нового плана урока. От использования тест-полосок, которые можно только купить, педагог отказался и переделал электрическую цепь. Таким образом, затратив минимальные средства, с помощью модифицированного модуля он смог продемонстрировать ученикам, как меняется напряжение в цепи в зависимости от уровня сахара. Используя обновленный модуль, учитель тестировал различные жидкости, в том числе популярные напитки, которые продаются в магазинах. Школьникам этот эксперимент показался увлекательным и полезным.

Потребность в междисциплинарном STEM-модуле продиктована поиском возможных форм исследовательской, ориентированной на решение проблем деятельности учащихся, как того требует реформа школьной программы [Ministry of Education, 2014]. STEM-материалы, доступные на рынке (в соответствии с первой моделью), удобны, но дороги, к тому же тех, которые могут быть использованы в рамках курсов естествознания и математики, среди них немного. Сами учителя могут не иметь знаний, навыков и ресурсов, необходимых для разработки эффективного STEM-модуля (в соответствии с третьей моделью). Поэтому разработка STEM-модуля командой университета с участием учителей и с учетом обратной связи от них (в соот-

8. Анализ результатов внедрения модуля

8.1. Что дает педагогам конструирование модуля

ветствии со второй моделью) представляется целесообразной. Модуль глюкосенсора *Arduino*, представленный в нашем исследовании, разрабатывался как усложненный STEM-материал для педагогов старшей школы. В рамках модуля удалось из легкодоступных электронных компонентов создать универсальный сенсор, способный зафиксировать слабый ток, возникающий в процессе окисления глюкозы, взаимодействующей с глюкозооксидазой. Конструирование такого биосенсора предоставляет широкие возможности организации исследовательской и направленной на решение проблем деятельности в рамках разных дисциплин. Сборка электрической цепи с операциональным усилителем требует тестирования и регулировки, чтобы отфильтровать помехи и стабилизировать сигнал, а это, даже в рамках курса электротехники средней специальной школы, продвинутый уровень. Зафиксировать данные о напряжении нужно в короткий период времени, прежде чем отработает глюкозооксидаза и процесс окисления стабилизируется. Модуль глюкосенсора *Arduino* можно считать успешной попыткой разработки биосенсора, который трудно найти в продаже и который учителя могут сконструировать с минимальными затратами.

Конструирование модуля глюкосенсора поможет учителям вовлечь школьников в решение реальных задач и исследовательскую деятельность, что согласуется с рекомендациями исследователей STEM-образования [Honey, Pearson, Schweingruber, 2014].

8.2. Проблемы внедрения STEM-модуля, отмеченные педагогами

Судя по результатам анкетирования, учителя все же считают использование модуля затруднительным.

Беспокойство вызывает, в частности, междисциплинарное содержание модуля. У большинства педагогов-естественников довольно мало опыта в преподавании материала, связанного с техникой и технологиями, в том числе с биосенсорикой, подключением электроники, использованием *Arduino* или программированием (см. табл. 3). Физические понятия, такие как «электрический ток» и «напряжение», учителям, конечно, знакомы, но опыта работы с электроникой или прикладной научной деятельности на уроках у них не было. Хотя учителям был понятен процесс окисления глюкозы, как зафиксировать его с помощью электроники, они не представляли вовсе. Сконструировать модуль, оперируя различными электронными компонентами, а потом руководить школьниками, когда те будут собирать его в классе, учителям-естественникам, по-видимому, трудно.

Недостаток у учителей компетентности в области STEM-дисциплин, особенно в инженерно-технической сфере, — проблема распространенная [Yaşar et al., 2006]. Обычно, чтобы восполнить дефицит знаний и навыков у учителей, для них проводятся тренинги, и уже сформулированы рекомендации по их

Рис. 3. Как предполагают использовать STEM-модуль учителя-естественники



проведению [Bautista, Ortega-Ruíz, 2015]. Однако насколько эффективны тренинги, организуемые профессорами вузов для педагогов, восполняют ли они недостаток знаний последних в инженерно-технической области, еще предстоит оценить.

Педагоги выражали также беспокойство по поводу готовности учащихся к конструированию и использованию глюко-сенсора. По их мнению, знаний школьников в области STEM-дисциплин может быть недостаточно. Достаточность знаний и навыков школьников той или иной ступени для применения STEM-модуля требует дальнейшего изучения.

Цель многих STEM-программ — совершенствование знаний и компетенций учащихся в инженерно-технической сфере. Недостаток инженерно-технических знаний у учителей часто расценивается как фактор, препятствующий внедрению STEM-обучения или его ограничивающий. В рамках нашего исследования, однако, глюко-сенсор создавался лишь в качестве протокола STEM-модуля, как его использовать — вопрос открытый.

Только один учитель, который имел опыт работы с электроникой и был знаком с *Arduino*, применил глюко-сенсор как элемент проектного обучения, т. е. использовал его согласно первоначальному замыслу (как показано на рис. 1). В основном же учителя-естественники предполагают использовать модуль глюко-сенсора по другой модели (см. рис. 2). Процесс, представленный на рис. 1, можно назвать техникоцентрированной моделью (модель 2А), а представленный ниже — наукоцентрированной (модель 2В).

В центре модели 2В — научные эксперименты, и технологии разрабатываются с целью помочь учителю провести эксперимент или организовать прикладную научную деятельность.

8.3. Предполагаемое использование STEM-модуля

Преподаватели естественнонаучных дисциплин могут не иметь ни времени, ни знаний и навыков, необходимых для создания STEM-модуля. Однако, используя STEM-модуль как инструмент в ходе научно-исследовательского урока, можно совершенствовать и его материал, и процесс исследования, и интерпретацию результатов, и даже стимулировать интерес школьников к естественным наукам.

9. Заключение STEM-образование сейчас на подъеме, поскольку соответствует целям реформаторов образования. Разработка STEM-материалов и модулей должна помочь учителям и школьникам включиться в прикладную и исследовательскую деятельность в ходе изучения комплексных научно-технологических концепций. Обеспечить учителям поддержку и в то же время дать возможность гибко корректировать и адаптировать STEM-материалы — вот задача, которая стоит перед разработчиками таких материалов, применимых на практике.

STEM-материалы могут быть разработаны разными способами. Первая модель, как мы уже говорили, предполагает использование коммерческого оборудования и заданных модулей, т. е. обеспечивает педагогам хорошую поддержку, но дает мало пространства для маневра. Третья модель является наиболее гибкой в плане приспособления к учебным предметам, учебному плану, методам преподавания, но поддержка в проектировании и разработке STEM-материала в этом случае ограничена. Вторая модель обеспечивает поддержку за счет компетенций и ресурсов университетов, однако и у педагогов как активных участников есть возможность адаптировать материал, и в таком сложном процессе это, по-видимому, наилучшее решение.

Анализируя научную литературу и результаты этого исследования, можно заключить, что совместная деятельность по проектированию и разработке STEM-материала (согласно второй модели) может вестись в русле как минимум двух разных подходов. Модель 2А предполагает техникоцентрированный подход к разработке STEM-материала, когда концепция, проект, процесс и продукт призваны воспроизвести работу инженера. Модель 2В представляет наукоцентрированный подход к разработке STEM-материала, в котором технологии выполняют важную роль — способствуют научному исследованию. Исследователи STEM-образования попытались разработать и соответствующие модели урока [Huri, Karpudewan, 2019]. Как показало наше исследование, такая модель разработки STEM-материала, по-видимому, предпочтительна для учителей-естественников.

В статье описан проект университетских исследователей, которые разработали биосенсорный модуль для учителей старшей школы. Для создания модуля глюкосенсора потребовался

комплексный, мультидисциплинарный материал, объединяющий знания из физики, химии, биологии, математики, электроники и программирования. После того как модуль был успешно разработан, для педагогов провели тренинги, чтобы проверить, насколько применим STEM-модуль на практике, для работы в классе. Результаты анкетирования и интервью в малой группе показали, что учителей вдохновила и идея, и сам модуль, но с пониманием материала возникли проблемы, что и затормозило в дальнейшем разработку видов учебной деятельности. Только один учитель, который умел обращаться с электроникой, смог модифицировать модуль и приспособить для работы в классе. Следовательно, прежде чем приступить к применению модуля в классе, необходимо, чтобы его поняли сами учителя.

Для решения проблемы можно предложить два пути. Первый — организовать для учителей продолжительное, углубленное обучение для освоения всех необходимых знаний и навыков. Второй — переработать модуль, сделать его более доступным и для педагогов, и для учащихся средних школ. Как утверждают исследователи в сфере профессиональной подготовки, у педагогов должна быть возможность адаптировать формы такой подготовки, приспособить под себя [Fishman, Krajcik, 2003]. При использовании модели 2А, скорее всего, следует пойти по первому пути, применительно к модели 2В требуются дополнительные исследования.

Литература

1. Afari E., Khine M. S. (2017) Robotics as an Educational Tool: Impact of Lego Mindstorms // *International Journal of Information and Education Technology*. Vol. 7. No 6. P. 437–442.
2. Bautista A., Ortega-Ruiz R. (2015) Teacher Professional Development: International Perspectives and Approaches // *Psychology, Society and Education*. Vol. 7. No 3. P. 240–251.
3. Billiar K., Hubelbank J., Oliva T., Camesano T. (2014) Teaching STEM by Design // *Advances in Engineering Education*. Vol. 4. No 1. P. 1–21.
4. Crowley C. B. (2017) Professional Development as Product Implementation Training // *Teaching and Teacher Education*. No 67. P. 477–486.
5. English L. D. (2016) STEM Education K-12: Perspectives on Integration // *International Journal of STEM Education*. Vol. 3. No 1. Art. No 3.
6. English L. D., King D., Smeed J. (2017) Advancing Integrated STEM Learning through Engineering Design: Sixth-Grade Students' Design and Construction of Earthquake Resistant Buildings // *The Journal of Educational Research*. Vol. 110. No 3. P. 255–271.
7. Ernst J. V., Busby J. R. (2009) Hydroponics: Content and Rationale // *Technology Teacher*. Vol. 68. No 6. P. 20–24.
8. Fishman B., Krajcik J. S. (2003) What Does It Mean to Create Sustainable Science Curriculum Innovations? // *Science Education*. Vol. 87. No 4. P. 564–573.
9. Holmlund T. D., Lesseig K., Slavit D. (2018) Making Sense of “STEM Education” in K-12 Contexts // *International Journal of STEM Education*. Vol. 5. No 1. Art. No 32.

10. Holstermann N., Grube D., Bögeholz S. (2010) Hands-on Activities and their Influence on Students' Interest // *Research in Science Education*. Vol. 40. No 5. P. 743–757.
11. Honey M., Pearson G., Schweingruber A. (2014) *STEM Integration in K-12 Education: Status, Prospects, and an Agenda for Research*. Washington: National Academies Press.
12. Huri N. H. D., Karpudewan M. (2019) Evaluating the Effectiveness of Integrated STEM-lab Activities in Improving Secondary School Students' Understanding of Electrolysis // *Chemistry Education Research and Practice*. Vol. 20. No 3. P. 495–508.
13. Karim M. E., Lemaignan S., Mondada F. (2015) A Review: Can Robots Reshape K-12 STEM Education? 2015 IEEE International Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO) (July 1st—July 3rd, 2015, Lyon, France). P. 1–8.
14. Kim C., Yuan J., Kim D., Doshi P., Thai C. N., Hill R. B., Melias E. (2019) Studying the Usability of an Intervention to Promote Teachers' Use of Robotics in STEM Education // *Journal of Educational Computing Research*. Vol. 56. No 8. P. 1179–1212.
15. Leonard J., Buss A., Gamboa R., Mitchell M., Fashola O. S., Hubert T., Al-mughyirah S. (2016) Using Robotics and Game Design to Enhance Children's Self-Efficacy, STEM Attitudes, and Computational Thinking Skills // *Journal of Science Education and Technology*. Vol. 25. No 6. P. 860–876.
16. Ministry of Education (2014) The General Guideline of the 12-Year Basic Education Curricula. https://www.naer.edu.tw/ezfiles/0/1000/attach/87/pta_18543_581357_62438.pdf
17. Moore T. J., Guzey S. S., Brown A. (2014) Greenhouse Design to Increase Habitable Land: An Engineering Unit // *Science Scope*. Vol. 37. No 7. P. 51–57.
18. Moore T. J., Smith K. A. (2014) Advancing the State of the Art of STEM Integration // *Journal of STEM Education: Innovations and Research*. Vol. 15. No 1. P. 5–10.
19. O'Neill T., Yamagata L., Yamagata J., Togioka S. (2012) Teaching STEM Means Teacher Learning // *Phi Delta Kappan*. Vol. 94. No 1. P. 36–40.
20. Pinnell M., Rowly J., Preiss S., Franco S., Blust R., Beach R. (2013) Bridging the Gap between Engineering Design and PK-12 Curriculum Development through the Use of the STEM Education Quality Framework // *Journal of STEM Education: Innovations and Research*. Vol. 14. No 4. P. 28–35.
21. Stake R. E. (2005) Qualitative Case Studies // N. K. Denzin, Y. S. Lincoln (eds) *The Sage Handbook of Qualitative Research*. Thousand Oaks, CA: Sage. P. 443–466.
22. Stohlmann M. S., Moore T. J., Cramer K. (2013) Preservice Elementary Teachers' Mathematical Content Knowledge from an Integrated STEM Modelling Activity // *Journal of Mathematical Modelling and Application*. Vol. 1. No 8. P. 18–31.
23. Thibaut L., Knipprath H., Dehaene W., Depaepe F. (2018) The Influence of Teachers' Attitudes and School Context on Instructional Practices in Integrated STEM Education // *Teaching and Teacher Education*. Vol. 71. No 1. P. 190–205.
24. Yaşar Ş., Baker D., Robinson-Kurpius S., Krause S., Roberts C. (2006) Development of a Survey to Assess K-12 Teachers' Perceptions of Engineers and Familiarity with Teaching Design, Engineering, and Technology // *Journal of Engineering Education*. Vol. 95. No 3. P. 205–216.

Developing an Interdisciplinary Bio-Sensor STEM Module for Secondary School Teachers: An Exploratory Study

Shihkuan Hsu

PhD, Professor at National Taiwan University. E-mail: skhsu@ntu.edu.tw

Authors

Chia-Chi Sung

PhD, Professor at National Taiwan University. E-mail: ccsung@ntu.edu.tw

Horn-Jiunn Sheen

PhD, Professor at National Taiwan University. E-mail: sheenh@ntu.edu.tw

Address: No 1, Sec. 4, Roosevelt Road, Taipei, Taiwan 10617, ROC.

Educators have suggested that citizens need the ability to engage in self-directed inquiry and problem solving. In line with the trend, current reforms in Taiwanese schools advocate the development of these core competencies. One way to achieve this goal is through STEM education. STEM modules which integrate science, math, technology, and engineering have become a prime catalyst for inquiry-based multidisciplinary teaching and learning. Although the demands and the benefits of STEM modules are often highlighted, the challenges of the development and implementation of such an interdisciplinary module are less discussed. This paper describes the process of the development of a bio-sensor module that uses Arduino to analyze glucose level of concentration. This multidisciplinary module integrates physics, chemistry, biology, mathematics, electronics, and programming. The goal of the program is for students to construct a device that imitates a commercial glucose meter. Teacher workshops were conducted for educators to learn the concepts and the procedures. A set of questionnaires collected from 21 workshop participants revealed that teachers face various challenges in the process of understanding and modifying the STEM module, as well as preparing students so they are ready to learn with the module. A group interview after the workshop revealed the teachers' difficulties in implementing a module that requires advanced technical skills and materials. The potential usefulness for the students, and the emergence of a different goal than the original plan, provide challenging and enlightening lessons. Rather than an engineering-centered model, this study proposes an alternative science-centered model for STEM material development.

Abstract

models of STEM material development, secondary school, glucose bio-sensor SEM module, teaching science and engineering.

Keywords

- Afari E., Khine M. S. (2017) Robotics as an Educational Tool: Impact of Lego Mindstorms. *International Journal of Information and Education Technology*, vol. 7, no 6, pp. 437–442.
- Bautista A., Ortega-Ruiz R. (2015) Teacher Professional Development: International Perspectives and Approaches. *Psychology, Society and Education*, vol. 7, no 3, pp. 240–251.
- Billiar K., Hubelbank J., Oliva T., Camesano T. (2014) Teaching STEM by Design. *Advances in Engineering Education*, vol. 4, no 1, pp. 1–21.
- Crowley C. B. (2017) Professional Development as Product Implementation Training. *Teaching and Teacher Education*, no 67, pp. 477–486.
- English L. D. (2016) STEM Education K-12: Perspectives on Integration. *International Journal of STEM Education*, vol. 3, no 1, art. no 3.

References

- English L. D., King D., Smeed J. (2017) Advancing Integrated STEM Learning through Engineering Design: Sixth-Grade Students' Design and Construction of Earthquake Resistant Buildings. *The Journal of Educational Research*, vol. 110, no 3, pp. 255–271.
- Ernst J. V., Busby J. R. (2009) Hydroponics: Content and Rationale. *Technology Teacher*, vol. 68, no 6, pp. 20–24.
- Fishman B., Krajcik J. S. (2003) What Does It Mean to Create Sustainable Science Curriculum Innovations? *Science Education*, vol. 87, no 4, pp. 564–573.
- Holmlund T. D., Lesseig K., Slavik D. (2018) Making Sense of “STEM Education” in K-12 Contexts. *International Journal of STEM Education*, vol. 5, no 1, art. no 32.
- Holstermann N., Grube D., Bögeholz S. (2010) Hands-on Activities and their Influence on Students' Interest. *Research in Science Education*, vol. 40, no 5, pp. 743–757.
- Honey M., Pearson G., Schweingruber A. (2014) *STEM Integration in K-12 Education: Status, Prospects, and an Agenda for Research*. Washington: National Academies Press.
- Huri N. H. D., Karpudewan M. (2019) Evaluating the Effectiveness of Integrated STEM-lab Activities in Improving Secondary School Students' Understanding of Electrolysis. *Chemistry Education Research and Practice*, vol. 20, no 3, pp. 495–508.
- Karim M. E., Lemaignan S., Mondada F. (2015) A Review: Can Robots Reshape K-12 STEM Education? Proceedings of the *2015 IEEE International Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO) (July 1st–July 3rd, 2015, Lyon, France)*, pp. 1–8.
- Kim C., Yuan J., Kim D., Doshi P., Thai C. N., Hill R. B., Melias E. (2019) Studying the Usability of an Intervention to Promote Teachers' Use of Robotics in STEM Education. *Journal of Educational Computing Research*, vol. 56, no 8, pp. 1179–1212.
- Leonard J., Buss A., Gamboa R., Mitchell M., Fashola O. S., Hubert T., Al-mughyirah S. (2016) Using Robotics and Game Design to Enhance Children's Self-Efficacy, STEM Attitudes, and Computational Thinking Skills. *Journal of Science Education and Technology*, vol. 25, no 6, pp. 860–876.
- Ministry of Education (2014) *The General Guideline of the 12-Year Basic Education Curricula*. Available at: https://www.naer.edu.tw/ezfiles/0/1000/attach/87/pta_18543_581357_62438.pdf (accessed 12 April 2020).
- Moore T. J., Guzey S. S., Brown A. (2014) Greenhouse Design to Increase Habitable Land: An Engineering Unit. *Science Scope*, vol. 37, no 7, pp. 51–57.
- Moore T. J., Smith K. A. (2014) Advancing the State of the Art of STEM Integration. *Journal of STEM Education: Innovations and Research*, vol. 15, no 1, pp. 5–10.
- O'Neill T., Yamagata L., Yamagata J., Togioka S. (2012) Teaching STEM Means Teacher Learning. *Phi Delta Kappan*, vol. 94, no 1, pp. 36–40.
- Pinnell M., Rowly J., Preiss S., Franco S., Blust R., Beach R. (2013) Bridging the Gap between Engineering Design and PK-12 Curriculum Development through the Use of the STEM Education Quality Framework. *Journal of STEM Education: Innovations and Research*, vol. 14, no 4, pp. 28–35.
- Stake R. E. (2005) Qualitative Case Studies. *The Sage Handbook of Qualitative Research* (eds N. K. Denzin, Y. S. Lincoln), Thousand Oaks, CA: Sage, pp. 443–466.
- Stohlmann M. S., Moore T. J., Cramer K. (2013) Preservice Elementary Teachers' Mathematical Content Knowledge from an Integrated STEM Mo-

- delling Activity. *Journal of Mathematical Modelling and Application*, vol. 1, no 8, pp. 18–31.
- Thibaut L., Knipprath H., Dehaene W., Depaepe F. (2018) The Influence of Teachers' Attitudes and School Context on Instructional Practices in Integrated STEM Education. *Teaching and Teacher Education*, vol. 71, no 1, pp. 190–205.
- Yaşar Ş., Baker D., Robinson-Kurpius S., Krause S., Roberts C. (2006) Development of a Survey to Assess K-12 Teachers' Perceptions of Engineers and Familiarity with Teaching Design, Engineering, and Technology. *Journal of Engineering Education*, vol. 95, no 3, pp. 205–216.