

5. Банных, Г.А. Smart education в образовательном пространстве вуза / Г.А. Банных // Новые образовательные технологии в вузе. Сборник статей международной научно-методической конференции «EDCRUNCH Ural: новые образовательные технологии в вузе – 2017»: Электронное научное издание. Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина». – 2017. – С. 46–51. – Текст: электронный.

6. Днепровская, Н.В. Понятийные основы концепции смарт-образования / Н.В. Днепровская, Е.А. Янковская, И.В. Шевцова // Открытое образование. – 2015. – № 6. – С. 43–51. – Текст: непосредственный.

7. Агранович, Б.Л. Базовые принципы системы SMART-образования / Б.Л. Агранович, Е.И. Якушкина, А.А. Новикова – URL: https://portal.tpu.ru/departments/otdel/oit_ic/nauka/smart_edu_base.pdf (дата обращения 27.01.2022). – Текст: электронный.

8. Нестеров, А. В. Приведет ли смарт-образование к «закату» университетов? / А.В. Нестеров // Компетентность. – 2015. – № 2. – С. 3–7. – Текст: непосредственный.

9. Смарт-технологии в высшем образовании – URL: <http://www.library.fa.ru/exhib.asp?id=199> (дата обращения 27.01.2022). – Текст: электронный.

УДК 372.862

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОСТЬ В НАУКЕ И ВЫСШЕМ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ

Кудрявцев Илья Александрович, Лофицкий Игорь Вадимович

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Аннотация. Междисциплинарные исследования играют в современной науке значительную роль, отражаясь в инженерной практике и высшем образовании. Анализ понятия «междисциплинарность» и обсуждение эффективности внедрения междисциплинарных подходов представляют собой актуальный практический вопрос. В статье обсуждаются варианты применения междисциплинарных подходов в практике обучения инженеров, специализирующихся в сфере электроники, в частности пример реализации такого подхода в дисциплинах конструкторского и схемотехнического профилей.

Ключевые слова: междисциплинарность, трансдисциплинарность, конструирование электронных средств, схемотехника, технологическая подготовка производства.

Термин «междисциплинарность» многими авторами трактуется по-разному, например, если набрать это слово в поиске и попытаться посмотреть, как его трактует википедия [1], то мы обнаружим, что ссылка ведёт на статью «трансдисциплинарность», в которой приводится несколько трактовок термина. Применительно к высшему образованию достаточно подробный анализ термина и его значений приведен в [2]. Не сосредотачиваясь на философской трактовке термина, будем считать его синонимом обсуждаемой ниже междисциплинарности применительно к объекту обсуждения.

Для анализа междисциплинарности в науке, по крайней мере, в плане популярности междисциплинарных исследований, можно обратиться к такому авторитетному источнику как фонд РФФИ [3]. Для маркировки междисциплинарных грантов введен специальный код – «офи» (есть также его производные, например, «офи-м» и другие). Если ввести его в строке поиска, то можно обнаружить, что массово конкурсы с такими кодами объявлялись на федеральном уровне в 2017-2018 гг., а появились они в 2011 г. В 2021 году междисциплинарность упоминается только один раз в привязке к теологии. При анализе требований к таким проектам можно увидеть, что требование междисциплинарности, как таковой, не всегда выдвигается, наоборот, требуется, чтобы тема соответствовала рубрике тематических направлений научных исследований. Однако, в конкурсе «на лучшие проекты междисциплинарных фундаментальных научных исследований, проводимом совместно РФФИ и Исследовательским советом Норвегии» прямо требуется, чтобы заявленное в проекте исследование было междисциплинарным. При анализе тематики заявок по междисциплинарным направлениям можно видеть, что часто авторы понимают междисциплинарность довольно узко, если вообще она прослеживается в теме.

Можно отметить, что междисциплинарность в фундаментальной науке сложно вырастить искусственно, скорее, она возникает спонтанно в связи с требованиями решения прикладных задач или в процессе поиска решений в узкой предметной области. Так, например, можно привести канонический пример бионики или создания вычислительных алгоритмов для генетики или астрофизики.

Междисциплинарность в высшем образовании представляется другим явлением, здесь, безусловно, прослеживаются и тренды в науке и общественных запросах, но степень междисциплинарности определяется, скорее, требованиями ФГОС или традициями. Например, традиционно междисциплинарной следует признать дисциплину «Безопасность жизнедеятельности», сочетающую в себе элементы физиологии, сведения правового характера и технические знания. Следует признать, что традиции высшего образования достаточно консервативны и широкая трактовка междисциплинарности встречается в технических направлениях подготовки нечасто. Прежде всего, это касается общеобразовательных или общепрофессиональных курсов, авторы которых стараются привязать излагаемые дисциплины к будущей специальности студентов. Определенным шагом в сторону междисциплинарности можно считать внедрение курсов по выбору студентов и индивидуальных образовательных траекторий, однако, чаще всего, эти курсы просто представляют собой некоторую адаптацию дисциплины к восприятию студентов, не обладающих солидными знаниями теоретических основ. Следует понимать, что такая трактовка междисциплинарности тоже набирает популярность по разным причинам, главным образом, в связи с наличием в интернете большого количества материалов, авторы которых стараются дать упрощенные рецепты решения популярных задач. Можно говорить о неявной междисциплинарности, характерной, например, для специалистов в области информационных технологий, которым приходится решать проблемы автоматизации технологических процессов, суть которых они не обязательно должны понимать глубоко. В этом случае, как правило, наблюдается «симбиоз» специалистов разных профессий. Внедрение таких смежных профилей в программы высшего образования целесообразно либо в случае, когда имеется заказчик на таких комбинированных специалистов (целевое обучение), либо, когда область применения имеет заведомо очень широкую востребованность.

ванность. Примерами можно назвать работу с системами документооборота (1С и подобные), автоматизацию в области ЖКХ и т.п.

Междисциплинарность можно использовать для повышения привлекательности «абстрактных дисциплин», например, математического цикла, заменяя абстрактный подход на решение типовых междисциплинарных задач, где требуется математический аппарат. Учитывая распространение вычислительных методов и рост производительности компьютеров, инженеры имеют склонность к приближенным методам, даже если задача имеет точное решение. Этот путь обсуждается достаточно давно и, возможно, представляется единственным способом работы с современными студентами, которые массово не имеют необходимого математического фундамента для серьезного изучения математики и физики. В краткосрочной перспективе такая междисциплинарность может давать хорошие результаты, позволяя студентам легче усваивать «абстрактные» курсы математики, физики и химии, получая в готовом виде рецепты, применяемые позже в общепрофессиональных и специальных дисциплинах. Однако, все решения имеют свою цену и в долгосрочной перспективе такой подход может принести и горькие плоды. Можно сказать, что эта стратегия должна неплохо работать для подготовки инженеров эксплуатационников и инженеров среднего звена, которые должны решать текущие типовые задачи, но может оказаться очень плохой, если мы надеемся подготовить «творцов».

Рассмотрим специфику междисциплинарности в электронике. Электроника, как направление является достаточно молодой и состоит из достаточно разнообразных компонентов, среди которых, с точки зрения ретроспективного обзора, можно выделить следующие блоки: разработка элементной базы; разработка электронных схем (схемотехника) и алгоритмов обработки; конструирование и технология для производства готовых устройств.

Сложилась определенная методические требования к подготовке специалистов этих направлений, например, для разработчиков элементной базы характерны более глубокие знания физики, микро- и нанотехнологий, от схемотехников требуются специальные знания в области электротехники и умение применять (не разрабатывать) элементную базу, а от конструкторов и технологов – специальные знания в области конструирования, технологических аспектов монтажа и т.д. Традиционно в учебные планы подготовки узких специалистов включаются дисциплины из смежных областей, например, конструкторы/технологи изучают основы схемотехники, разработчики схем и электронных компонентов – основы конструирования. В процессе развития технологий и элементной базы появились разнонаправленные тенденции, усложняющие классический «подход». Например, еще двадцать лет назад, конструктор мог взять практически любую схему, предложенную схемотехником, и превратить её в конструкцию печатного узла. Технолог мог взять эту конструкцию и вполне независимо разработать технологию производства устройства на её основе. Сегодня такой подход в 90% случаев обречён на неудачу. Схемотехник должен учитывать физические возможности конструкции, конструктор должен знать довольно многочисленные требования схемотехника и технолога, а технолог фактически должен влиять на разработку конструкции с точки зрения возможностей конкретного производства. Разработчики элементной базы и сегодня, как правило, территориально и корпоративно отделены от остальных специалистов, но разработка, например, интегральных схем, стала настолько дорогой, что без четкого понимания требова-

ний рынка, реалий работы схемотехников, конструкторов и технологов его деятельность заведомо закончится дорогостоящим провалом.

Процесс проектирования электронных средств с применением автоматизированного проектирования подробно рассмотрен, например, в [4], однако, он имеет массу специфических особенностей применительно к конкретной области. В области разработки электронных систем и устройств, как правило, его можно условно разбить на три основных этапа: системотехнический, схемотехнический и конструкторско-технологический. Каждый этап характеризуется определенным набором проектных процедур, своим математическим аппаратом и программным обеспечением. На первых двух этапах проектирования (системном и схемотехническом) большая часть решаемых задач носит ярко выраженный творческий характер. При этом в работе участвует, как правило, относительно небольшое число специалистов. Влияние полученных решений на основные показатели разрабатываемых электронных средств велико. ЭВМ на данных этапах применяют главным образом для анализа и контроля выполненной человеком работы. Следующий этап проектирования (конструкторско-технологический) характеризуется значительным количеством «рутинных» подзадач и по своей природе хорошо формализуется, что благоприятствует использованию машинных методов их решения. Поэтому естественно, что наиболее широкое развитие получили системы, предназначенные для решения задач конструкторского проектирования электронных средств, так как именно в этой области эффективность внедрения систем автоматизированного проектирования (САПР) оказывается максимальной.

С точки зрения демонстрации междисциплинарного подхода в высшем образовании в области электроники и приборостроения наиболее наглядным представляется именно применение САПР. Современные САПР позволяют в единой программной оболочке осуществить сквозное проектирование изделий любой сложности от «идеи» до получения комплекта необходимых документов и «рабочих» файлов, применяемых при производстве. Наибольшее распространение и применение в последнее время получили такие САПР как Mentor Board Station, PCB Design Studio, OrCAD, Altium Designer, CAD Star, Delta Designer и ряд других [5].

В практике подготовки конструкторов-технологов в институте информатики и кибернетики используется САПР (Altium Designer), основу которой составляет программная оболочка Design Explorer, которая интегрирует в себе различные модули, выполняющие определенные функции проектирования, например, редактор принципиальных схем, редактор печатных плат, автотрассировщик, программа моделирования, интерфейсы импорта и экспорта и САМ средства [6]. Проект Altium Designer представляет собой специальный служебный файл, содержащий ссылки на отдельные документы и обеспечивающий доступ к ним в рамках среды проектирования Design Explorer. Отдельные документы проекта могут храниться на жестком диске компьютера или на соседних машинах в рамках локальной вычислительной сети, причем, допускается множественный доступ (разных разработчиков) к одним и тем же файлам, и использование одного документа в разных проектах, что обеспечивает уникальные возможности групповой работы. Проекты бывают четырех типов: проекты печатных плат, программируемой логики, HDL описания и интегрированные библиотеки компонентов. Важно отметить, что применение этой системы способствует выработке системного подхода в проектировании, так как общая цель достигается совместной работой специалистов разного профиля.

Редактор схем системы Altium Designer работает как в дюймовой, так и метрической системе измерения, что снимает ограничения, связанные с использованием метрической сетки для оформления схем согласно требованиям ЕСКД.

Редактор символов элементов является составной частью редактора схем. Этим обеспечивается его простота в работе, а также возможность «на лету» редактировать имеющиеся библиотеки. Система Altium Designer имеет функцию, позволяющую извлекать информацию о компонентах из проекта и формировать на ее основе собственные библиотеки. Данная функция особенно полезна при работе с проектами, полученными от других разработчиков, использующих собственные библиотеки компонентов.

В состав системы Altium Designer входит программа моделирования, которая позволяет производить точное, реалистичное моделирование аналоговых, цифровых и смешанных схем на разных этапах проектирования, что позволяет стартовать применение САПР еще на этапе схемотехнической проработки. Результаты компьютерного анализа, как правило, идентичны результатам, получаемым при макетировании, а смоделированное поведение устройств в точности повторяет функционирование реального изделия. Программа моделирования не имеет ограничений при моделировании аналоговых устройств на схемотехническом уровне, при моделировании цифровых устройств на уровне вентилей или текстовых описаний на VHDL.

Процесс работы в редакторе печатных плат (конструкторско-технологический этап разработки проекта) системы Altium Designer регламентируется набором правил проектирования, четко оговаривающих все аспекты размещения проводников и компонентов. Все автоматические операции (авторазмещение, автотрассировка) производятся в строгом соответствии с этими правилами. Выполняемые вручную операции (например, интерактивная трассировка или перемещение проводников) контролируются постоянно, поэтому любое неверное действие мгновенно отображается как нарушение. Процесс трассировки платы управляется сложными наборами правил проектирования, регламентирующих зазоры между проводниками на разных слоях платы, их ширина или импеданс, типы переходных отверстий, способ соединения их и контактных площадок с полигонами и внутренними слоями питания и заземления, приоритетное направление на слое и многое другое. Все это в итоге позволяет получить топологию печатной платы с учетом требований разработчика-схемотехника (часто абстрактных для конструктора) и ограничений технологии, которые нужно учесть для того, чтобы разрабатываемое устройство можно было передать на производство в короткие сроки.

Система Altium Designer имеет модули пред- и пост-топологического анализа целостности сигналов, позволяющие оценить искажения сигналов, а также взаимные наводки в проводниках разрабатываемой платы.

Модуль предтопологического анализа дает возможность системным инженерам и разработчикам плат провести оценку проекта еще на этапе разработки его схемы. Программа позволяет рассчитать основные параметры системы, смоделировать возможное ее поведение при воздействии критических сигналов, оценить устойчивость проекта и выработать набор рекомендаций, в дальнейшем оформленных разработчиком в виде топологических директив, которые при передаче на плату будут автоматически преобразованы в соответствующие наборы правил проектирования.

На этапе посттопологического анализа запускается система моделирования сигналов в проводниках платы и, если паразитный сигнал превышает определенный уровень, генерируется и заносится в отчет информация о нарушении. В дальнейшем выявленное нарушение служит подсказкой при более подробном анализе электромагнитной совместимости.

Очень интересной функцией системы Altium Designer является возможность просмотра трехмерного вида проектируемой платы по технологии OpenGL. Разработчик может наблюдать реальный вид платы с компонентами, отключать отображение компонентов или участков металлизации и тем самым наблюдать вид платы на промежуточных этапах изготовления.

В редакторе печатных плат имеются традиционные возможности импорта и экспорта файлов в стандартных плоских форматах DWG или DXF, что позволяет добавлять на чертеж заранее заготовленные элементы оформления или контур печатной платы и передавать проект в механические САПР для дальнейшего оформления.

Готовый проект печатной платы в виде наборов Gerber и NC Drill файлов передается в специальный модуль CAMtastic, где осуществляется первичная подготовка производства. Здесь имеется возможность проверки специальных правил DFM (Design for Manufacturing) и DFF (Design for Fabrication), редактирования топологий, генерации управляющих файлов для аппаратуры электроконтроля и монтажа компонентов.

В итоге описываемая САПР может служить площадкой для внедрения междисциплинарного подхода при подготовке специалистов-разработчиков при условии подготовки скоординированных программ обучения. Как правило, в учебных планах предусматриваются специальные дисциплины, сфокусированные на одном или нескольких аспектах автоматизации (например, моделирование схем для разработчиков-схемотехников и разработка печатных плат для конструкторов), но обеспечение координации действий не так просто. Наиболее эффективным средством здесь представляется внедрение междисциплинарных курсовых проектов, в процессе выполнения которых студенту нужно будет решать несколько разных задач, относящихся к сферам деятельности специалистов разного профиля. В ряде университетов практикуется организация междисциплинарных курсовых проектов [7, 8]. Внедрение такого средства обучения усложняется тем, что для руководства таким проектом нужны специалисты-универсалы, а с формальной точки зрения курсовое проектирование обычно привязано к конкретной дисциплине. Кроме этого, нужно обеспечить синхронизацию дисциплин, подготавливающих студента к такой работе или внедрить специальный «междисциплинарный» курс, что опять же требует решения целого комплекса формальных проблем.

Отдельной проблемой является выработка навыков взаимодействия специалистов в коллективе, которая может быть достигнута, когда над общей темой работают несколько студентов, выполняющих разные функции. Такой опыт описан в [9]. Следует отметить, что эффективность такого подхода может быть очень высокой, но при выполнении целого ряда условий, включающих в себя высокий уровень мотивации студентов и преподавателей, курирующих такой проект. Если проект такого рода реализуется по распределенной схеме, то желателен неизменный состав группы исполнителей, что может иметь и проблемы межличностных отношений. Концентрация в пределах одного семестра частично упрощает дело, но увеличивает нагрузку на студентов. Легче реализуются подобные формы работы при наличии общего объекта, как например, авиационный двигатель [9], и сложнее это в электронике.

Выводы: междисциплинарность в науке является в настоящее время мощным фактором развития, мотивирующим внедрение соответствующих подходов и в высшем образовании. Не существует четкой трактовки понятия «междисциплинарность», что создаёт почву для достаточно широких спекуляций на данную тему. Реализация междисциплинарных схем в техническом образовании может приобретать очень различные формы и требует повышенного внимания со стороны студентов и преподавателей. Более органичным является внедрение междисциплинарных форм при наличии объединяющих факторов, например, общего сложного объекта разработки или общего комплексного инструментария (САПР).

Библиографический список

1. Трансдисциплинарность – Материал из Википедии – свободной энциклопедии – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%B4%D0%B8%D1%81%D1%86%D0%B8%D0%BF%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D1%80%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C> (дата обращения 15.01.2022). – Текст: электронный.
2. Мокий, М.С. Трансдисциплинарность в высшем образовании: экспертные оценки, проблемы и практические решения / М.С. Мокий, В.С. Мокий // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. – URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=14526> (дата обращения: 18.12.2021). – Текст: электронный.
3. РФФИ – URL: https://www.rfbr.ru/rffi/ru/project_search (дата обращения 15.01.2022). – Текст: электронный.
4. Норенков, И.П. Основы автоматизированного проектирования: учебное пособие / И.П. Норенков. – 4-е, изд. – Москва: МГТУ им. Баумана, 2009. – 430 с. – ISBN 978-5-7038-3275-2. – Текст: непосредственный.
5. Потапов, Ю. Обзор САПР печатных плат / Ю. Потапов. – URL: <http://chipinfo.ru/literature/chipnews/200304/7.html> (дата обращения 05.01.2022). – Текст: электронный.
6. Сабунин, А.Е. Altium Designer. Новые решения в проектировании электронных устройств / А.Е. Сабунин // Серия «Системы проектирования». – Москва: СОЛОН-ПРЕСС, 2010. – Текст: непосредственный.
7. Бунаков, П.Ю. Сквозное проектирование в машиностроении. Основы теории и практикум: учебное пособие / П.Ю. Бунаков, Э.В. Широких. – Москва: ДМК Пресс, 2010. – 120 с. – ISBN 978-5-94074-620-1. – Текст: непосредственный.
8. Кожевников, А.В. Реализация междисциплинарных проектов при разработке практико-ориентированных инженерных образовательных программ в рамках международных стандартов CDIO / А.В. Кожевников // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – № 6. – Ч. 3. – URL: <https://web.snauka.ru/issues/2014/06/34442> (дата обращения: 14.01.2022). – Текст: электронный.
9. Руководящие и методические материалы по сквозному курсовому проекту: метод, указания / сост. А.И. Ермаков, Н.И. Старцев, С.В. Фалалеев. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2006. – 32 с. – Текст: непосредственный.