

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 372.853
ББК 4426.223-24

ГСНТИ 14.35.07

Код ВАК 13.00.02

Зуев Петр Владимирович,

доктор педагогических наук, профессор, кафедра теории и методики преподавания физики, технологии и мультимедийной дидактики, Институт физики, технологии и экономики, Уральский государственный педагогический университет; 620017, г. Екатеринбург, пр-т Космонавтов, д. 26; e-mail: zuew@yandex.ru

Кощеева Елена Сергеевна,

кандидат педагогических наук, доцент, кафедра физики и математического моделирования, Институт физики, технологии и экономики, Уральский государственный педагогический университет; 620017, г. Екатеринбург, пр-т Космонавтов, д. 26; e-mail: kohe@mail.ru

**РАЗВИТИЕ ИНЖЕНЕРНОГО МЫШЛЕНИЯ УЧАЩИХСЯ
В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ ФИЗИКЕ НА ОСНОВЕ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: инженерное мышление; схемотехническое моделирование; характеристики инженерного мышления; компоненты инженерного мышления; учебно-исследовательская деятельность; школьники; методика преподавания физики; методика физики в школе.

АННОТАЦИЯ. В статье рассматриваются вопросы формирования инженерного мышления у обучающихся на основе схемотехнического моделирования. Указаны основные характеристики инженерного мышления, которые предлагается отслеживать в процессе обучения. Выделены на основе изучения различных исследований компоненты инженерного мышления, необходимые для становления компетентного специалиста в области технической деятельности. Предложены и проанализированы структурные элементы организации учебно-исследовательской деятельности учащихся с использованием схемотехнического моделирования. Приведен обобщенный план действий школьника при выдвижении гипотез и предположений. Сформулированы выводы по формированию инженерного мышления учащихся при использовании схемотехнического моделирования.

Zuev Petr Vladimirovich,

Doctor of Pedagogy, Professor, Professor of Department of Theory and Methodology of Teaching Physics, Technology and Multimedia Didactics of Physics, Institute of Physics, Technology and Economics, Ural State Pedagogical University, Ekaterinburg, Russia

Kosheeva Elena Sergeevna,

Candidate of Pedagogy, Associate Professor of Department Physics and Mathematical Modeling, Ural State Pedagogical University, Ekaterinburg, Russia

**DEVELOPMENT OF ENGINEERING THINKING OF STUDENTS WHEN TEACHING THEM PHYSICS
WITH THE USE OF CIRCUIT SIMULATION MODEL**

KEYWORDS: engineering thinking; circuitry model operation; characteristics of engineering thinking; components of engineering thinking; educational and research activity; pupils; methods of teaching Physics; methods of teaching Physics at school.

ABSTRACT. The article discusses the questions of engineering thinking formation of trainees on the basis of circuit simulation model. The main characteristics of engineering thinking, which are offered to be traced in the course of tutoring, are specified. Components of engineering thinking are singled out on the basis of several research works. They are necessary to becoming a competent expert in the field of technical activity. Structural components of the organization of educational and research activity of pupils with use of circuit simulation model are offered and analyzed. The generalized action plan of a pupil for promotion of hypotheses and assumptions is provided. Conclusions on formation of engineering thinking of pupils when using circuit simulation model are formulated.

С переходом мировой индустрии к четвертой технологической революции возникает необходимость в качественной подготовке высококлассных инженерных кадров для инновационной отечественной экономики. Поэтому остро ощущается проблема формирования инженерного мышления у учащихся задолго до того, как они поступят в вуз.

Особенность инженерного мышления на современном этапе развития промышленности заключается не только в овладе-

нии необходимыми знаниями для будущей профессиональной деятельности, способностями предвидеть и прогнозировать путь и результаты осуществляемой или предстоящей профессиональной деятельности. Инженер должен не только мысленно предугадать результат своей деятельности, но и иметь обоснованные факты, которые укажут на характерные свойства, функции и структурные особенности объекта деятельности, процесса его изготовления в оптимальных условиях, определить возможную

прибыль от внедрения созданного технического объекта. Таким образом, под инженерным мышлением мы понимаем специфическую форму активного отражения процессуальных, конструктивных и морфологических взаимосвязей предметных структур практики, направленную на удовлетворение технических потребностей личности в знаниях, способах, приемах, действиях, с целью создания технических объектов, средств и технологий. Данное определение позволяет выделить основные характеристики и критерии (показатели) инженерного мышления.

Характеристики инженерно-технического мышления – гибкость, комплексность, системность, интегративность, дивергентность, рациональность, критичность – показатели, которые предполагается отслеживать на качественном уровне при решении конкретных учебных задач. Чем сложнее решаемая обучаемыми задача, тем более сложные характеристики мышления формируются и развиваются с ее помощью, тем сложнее осуществляется оценка структурных характеристик инженерного мышления. Анализ литературы по проблеме формирования инженерного мышления позволил говорить о том, что это интегрированное качество личности, имеющее определенную структуру.

На основе изучения различных исследований нам удалось выделить компоненты инженерного мышления, необходимые для становления компетентного специалиста в области технической деятельности: техническое мышление (умение анализировать состав, структуру, устройство и принцип работы технических объектов в измененных условиях), конструктивное мышление (построение определенной модели решения поставленной проблемы или задачи, под которой понимается умение сочетать теорию с практикой), исследовательское мышление (определение новизны в задаче, умение сопоставить с известными классами задач, умение аргументировать свои действия, полученные результаты и делать выводы), экономическое мышление (рефлексия по поводу качества процесса и результата деятельности с позиций требования рынка), самостоятельность и оперативность в выборе стратегий деятельности, потребность в успешной деятельности и в признании достижений со стороны специалиста, ответственность за конечный продукт своей деятельности, творческий потенциал, способствующий выполнению комплекса исследовательских действий в проблемной ситуации, инженерная рефлексия (основа для саморегуляции эмоционального состо-

яния в условиях психического напряжения), правовая компетенция.

Проведенная работа по выявлению структуры и критериев оценки инженерного мышления осуществлялась с целью выбора заданий, средств и методов организации учебного процесса по физике для формирования инженерного мышления учащихся. Мы считаем целесообразным использование в качестве средства формирования инженерного мышления учащихся схмотехническое моделирование, которое следует отнести к деятельностному компоненту педагогического процесса обучения. Схмотехническое моделирование может быть методом обучения, способом построения и обоснования научного знания, способом взаимосвязанной деятельности учителя и учащегося, который обеспечивает усвоение содержания образования, совокупностью приемов и операций практического и теоретического освоения действительности. Но схмотехническое моделирование может служить и средством, с помощью которого познается предмет, средством для образного представления изучаемых явлений, их моделирования и проведения лабораторно-исследовательских работ. В связи с этим выделим особенности использования схмотехнического моделирования в процессе формирования инженерного мышления. Схмотехническое моделирование позволяет обеспечить:

- полноту процесса исследования изучаемых явлений, устройств;
- вариативность начальных условий и проведения экспериментов;
- универсальность организации учебно-познавательной деятельности;
- безграничность моделирования и исследования недопустимых (аварийных) ситуаций;
- субъективность в проведении экспериментальных исследований с правом на ошибочные действия;
- быстрое действие всевозможных измерений и обработки их результатов;
- сопоставимость величин и характера компонентов с реально используемыми параметрами в практических целях.

Выделенные особенности схмотехнического моделирования дают определенные возможности для исследования и предъявляют соответствующие требования к организации исследовательской деятельности учащихся, что важно для формирования инженерного мышления.

Определим структуру учебно-исследовательской деятельности школьников на основе анализа научно-методической литературы.

В результате проведенной работы считаем целесообразным предложить следующие структурные компоненты организации учебно-исследовательской деятельности учащихся с использованием схмотехнического моделирования.

1. Знакомство с изучаемым явлением, процессом (изучение теоретического материала, решение задач по заданному алгоритму), моделью.

2. Постановка проблемы (осознание затруднений, признание проблемной ситуации, формулирование проблемы).

3. Формулировка гипотезы (высказывание предположений о результатах исследования модели, предположений о работе устройства при новых начальных условиях).

4. Создание модели.

5. Решение проблемы (эксперимент) – анализ в процессе решения и анализ результатов решения (поиск средств анализа условий проблемы с помощью прежнего опыта, адекватное приближение модели к реальному объекту).

6. Оценка исследовательской деятельности (соответствие эталону, полнота выполнения задания, рациональность выполнения задания).

7. Корректирование деятельности (дифференцированная помощь в процессе выполнения задания, учет особенностей развития личности).

8. Планирование дальнейшей исследовательской деятельности (учет результатов анализа процесса решения, окончательного результата исследуемой проблемы и совокупности корректирующих действий).

Сочетание исследовательской деятельности с применением схмотехнического моделирования позволит более успешно формировать различные компоненты инженерного мышления, в частности, технический, исследовательский компоненты, самостоятельность и оперативность в выборе стратегии деятельности.

Проанализируем каждый из представленных этапов исследовательской деятельности с точки зрения особенностей использования схмотехнического моделирования в процессе формирования инженерного мышления учащихся. Данную работу следует организовать в профильных информационно-технологических классах.

1. *Знакомство* с изучаемым явлением, процессом, моделью может состоять из нескольких этапов: первичное ознакомление с материалом или его восприятие, осмысле-

ние, освоение нового материала, решение задач по предложенному алгоритму. Критерием для оценки выполнения этого этапа будет являться возможность самостоятельного осознанного объяснения изучаемого явления, процесса или хода решения предложенной задачи.

От первой встречи школьника с учебным материалом зависит многое. На этом этапе изучаемый материал может привлечь учащегося и вызвать у него стремление глубже изучить данное явление, иногда материал может вызвать непонимание, отрицательные эмоции. Поэтому важно предупредить учащегося, например, при ознакомлении с интерфейсом современных прикладных пакетов схмотехнического моделирования о том, что будет происходить постепенное освоение функций пакета в процессе дальнейшей деятельности.

В начале изучения электрических колебаний в курсе физики 11 класса есть возможность представить вниманию учащихся лицевую панель виртуального осциллографа, на экране которого представлен график напряжения свободных и вынужденных колебаний. По осциллограмме учащиеся определяют время начала и окончания колебаний, их период и частоту. Полученные при этом знания имеют познавательную значимость и будут востребованы в дальнейшей деятельности, при работе со схмотехническими моделями. Первичное освоение материала не должно исключать значения последующей работы по его закреплению.

Наглядные материалы по схмотехническому моделированию можно отнести к знаковым системам, то есть символическим объектам. Знаково-символьные системы приобретают особую роль в связи с математизацией различных отраслей науки, ознакомлением учащихся с производственной документацией (принципиальными схемами), основанной на системе знаковых обозначений.

Анализируя представленный наглядный материал на основе схмотехнического моделирования, учащийся имеет возможность сделать выводы, касающиеся модели явления или объекта. Имея первоначальное наглядное представление и зная о сдвиге фаз между синусоидальными колебаниями, анализируя характеристики, например, конденсатора или катушки индуктивности, обучающийся может осмысленно прийти к заключению о несовпадении фаз напряжения и тока на реактивных элементах (рис. 1).

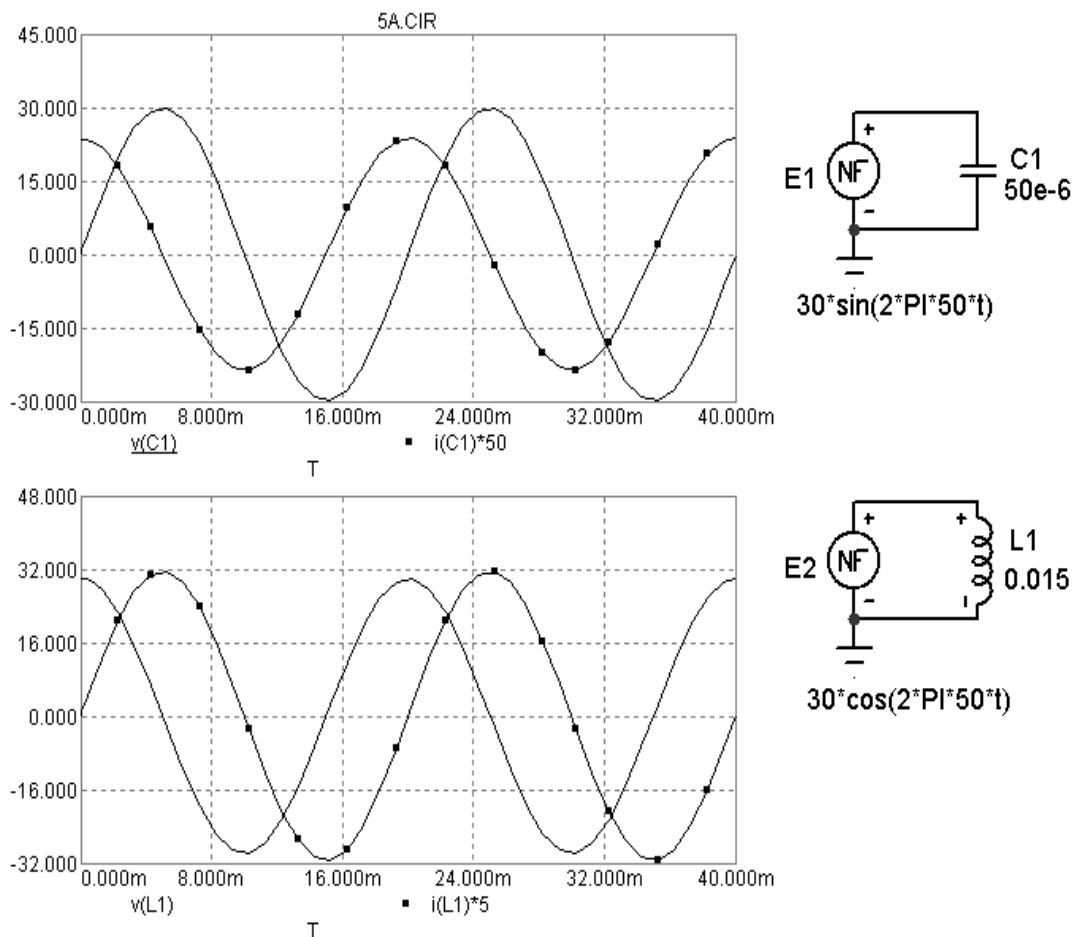


Рис. 1

2. Важным этапом при формировании исследовательского компонента инженерного мышления является *постановка проблемы*. Проблемная ситуация – это психическое состояние интеллектуального затруднения, которое возникает у человека тогда, когда он в ситуации решаемой им проблемы не может объяснить новый факт при помощи имеющихся знаний или выполнить известное действие прежними, знакомыми способами и должен найти новый способ действия.

Следовательно, учащийся должен осознать проблемную ситуацию, вследствие чего возникает необходимость проанализировать ее и сформулировать проблему. На первом уровне организации учебно-исследовательской деятельности проблему может обозначить учитель или указать учащимся на затруднения, которые их ожидают, помочь сформулировать проблему или вопрос. На втором уровне учитель может, например, только представить затруднения. На третьем уровне учащийся самостоятелен в постановке и выборе проблемы.

3. Для решения проблемы необходимо *создать модель* и провести ее исследование. Создание модели, образа технического объекта является важным элементом деятельности инженера. Например, учащимся предлагается модель делителя напряжения на резисторах, и учитель формулирует задание – проверить экономичность делителя. Для проверки экономичности целесообразно сравнивать два и более делителя, учащиеся должны выбрать один из возможных вариантов. Учащимся создаются модели, которые аналогичны по параметрам выходного напряжения делителя, но отличны по параметрам и характеру составных компонентов. В результате сравнения делителей на потребление энергии схемотехнических моделей, представленных в графической форме, школьники определяют их пригодность для практического применения (рис. 2). Учащиеся осознают необходимость определения и анализа проблемной ситуации, внимание обращается на то, что без определения проблемы или затруднения решение задачи невозможно.

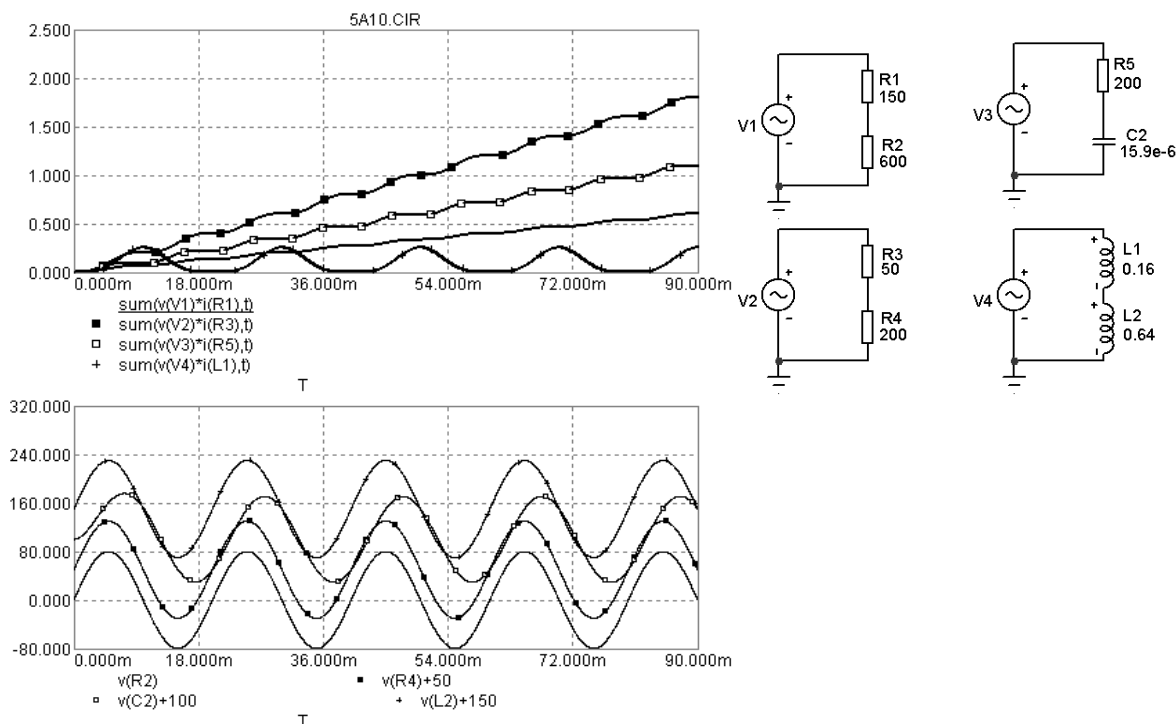


Рис. 2

4. *Формулирование гипотезы.* Постановка проблемы является по существу началом ее решения. Первым этапом процесса решения проблемы считается поиск средств анализа условий проблемы в процессе выявления нового принципа действия, то есть попытка решить проблему с помощью прежнего опыта. Возникают вопросы, требующие воспроизведения прежних знаний, ранее усвоенные знания включаются для решения новой проблемы.

Актуализация жизненного опыта, имеющихся знаний школьников позволяет им сформулировать рабочую гипотезу. Потребность в формулировке возникает у учащихся в том случае, когда не ясна связь между явлениями, причина возникновения этих явлений, хотя известны многочисленные обстоятельства, предшествующие им.

Приведем обобщенный план действий школьника при выдвижении гипотез, предположений:

- выдвинуть несколько гипотез, анализируя которые нужно выбрать одну, охватывающую объяснение большего числа фактов;
- сопоставить выдвинутую гипотезу с фактами, на основе которых она была предложена;
- предложить эксперимент, проведение которого позволит проверить достоверность выдвинутой гипотезы.

При этом следует учитывать, что выводы, полученные на основе гипотезы, носят вероятностный характер, а противоречащие друг другу гипотезы не могут быть одновременно истинными.

При организации учебно-исследовательской деятельности учащихся на первом уровне учителю необходимо включать элемент догадки и способы ее проверки при решении задач с использованием схмотехнического моделирования. На втором этапе целесообразно предлагать учащимся элементы исследования, требующие анализа противоречий получившегося результата с теоретическими знаниями и в случае затруднений – способы их разрешения. Третий уровень предполагает задания на основе использования схмотехнического моделирования с возможностью высказывания и проверки разнообразных предположений.

5. Проверка гипотезы в учебно-исследовательской деятельности учащегося осуществляется на этапе с условным названием «Решение проблемы».

Особенность решения проблемы в схмотехническом моделировании состоит в том, что, анализируя результаты работы схмотехнической и реальной модели, находя между ними отличия, учащийся начинает понимать принципы построения модели, необходимость дополнения ее при учете реальных условий с целью повышения необходимой адекватности изучаемой модели реальному объекту.

Проследим организацию решения проблемы на следующем примере (для профильного класса с углубленным изучением физики): от учащегося требуется для цепи, состоящей из последовательно соединенных активного сопротивления и катушки индуктивности, увеличить коэффициент мощно-

сти при помощи подключения конденсатора. На первом уровне организации учебно-исследовательской деятельности задача решается учителем вместе с учениками с формулированием проблемы, предположений, анализом в процессе решения. На втором уровне учитель может сформулировать проблему, обозначить проблемную ситуацию. Проанализируем процесс решения на третьем уровне организации учебно-исследовательской деятельности. В предложенной задаче учащийся не сразу может получить ответ, для решения школьнику следует сравнить нескольких опытов: конденсатор можно подключить последовательно в цепь, параллельно реактивному элементу, параллельно всей нагрузке цепи, кроме этого проверить цепь без подключения и получить результат для сравнения. На первом этапе ре-

шения задачи учащийся определяет, какие характеристики необходимо исследовать, выбирает программу схемотехнического моделирования, отвечающую требованиям исследования искомых величин. На этом этапе у школьника возникают затруднения с измерением коэффициента мощности электрической цепи в связи с тем, что данные для его расчета должны быть получены из анализа графических зависимостей. Проверка предположений по измерениям различного подключения конденсатора может совершаться многократно до принятия верного решения. Ответ задачи представляется в результате сравнения потребления нагрузкой активной мощности при различных ее подключениях или величиной сдвига фаз между напряжением и силой тока в цепи (рис. 3).

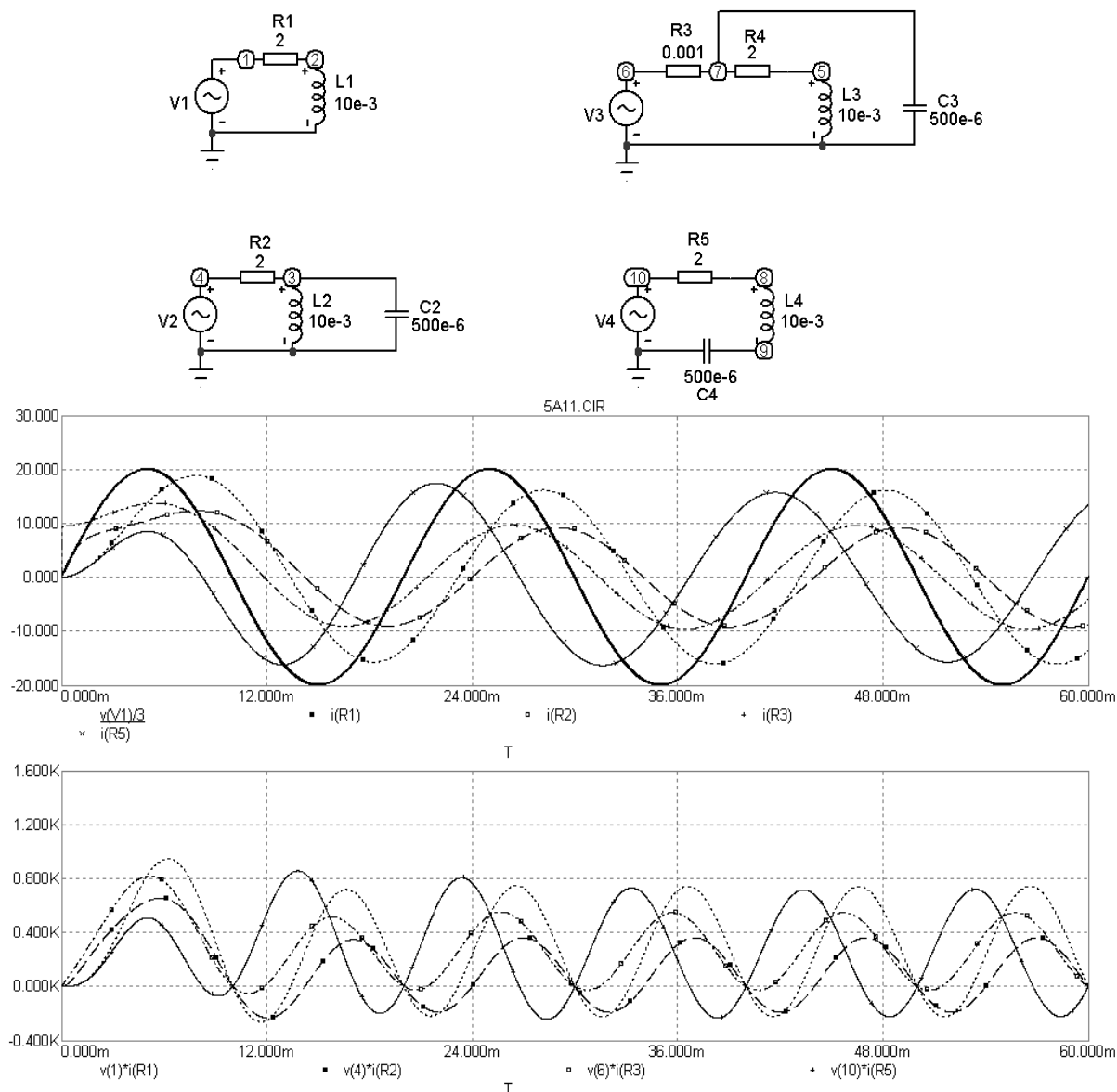


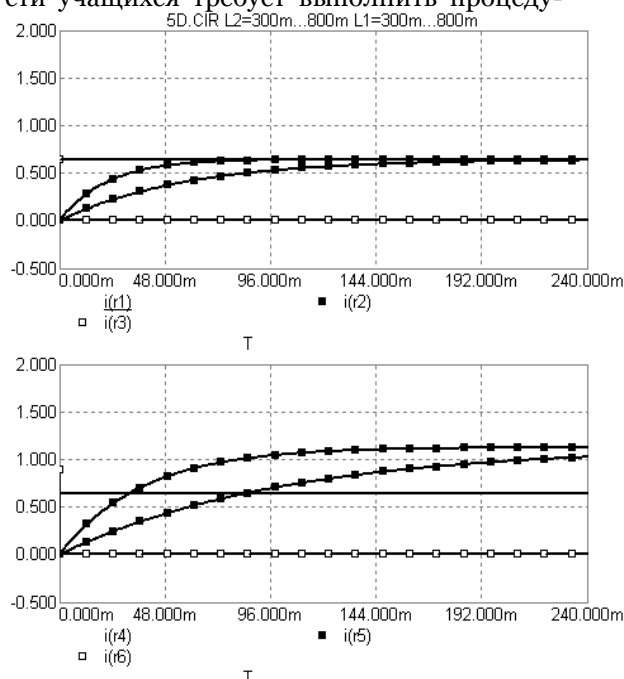
Рис. 3

Для получения окончательного ответа необходимо, чтобы учащиеся усвоили правила, определенные логикой схемотехнического моделирования. При возникновении трудностей получения характеристик переходных процессов или их необычной формы ученику необходимо проверить:

- 1) сигнал, идущий от источника тока;
- 2) синтаксис анализируемых величин и обозначение осей при получении характеристик;
- 3) расстановку узлов, то есть обеспечение замкнутости цепи;
- 4) параметры компонентов исследуемой схемы и их характеристики в библиотеке компонентов;
- 5) сборку исследуемой принципиальной схемы;
- 6) выбор типа производимого анализа;
- 7) установку величины шага математического расчета.

Таким образом, решение проблемы состоит из анализа исследуемого процесса, поиска средств ее решения, формулирования предположений, возникающих в ходе решения, проверки этих предположений.

6. Эффективность выбора метода и средств достижения результата, продуктивность учебно-исследовательской деятельности учащихся требует выполнить процедуру



Учащимся рекомендуется пронаблюдать явление в одном схемотехническом пакете, а найти помощь для объяснения – в другом пакете с большими наглядными возможностями. При выполнении этого задания оценивается умение учащегося работать в программах схемотехнического моделирования, строить принципиальные

схемы оценивания. Мы рассматриваем оценивание как необходимое условие подготовки будущего инженера, который всегда должен проводить комплексную оценку своего изделия, эффективность деятельности.

Оценивание учебно-исследовательской деятельности учащихся осуществляется на основе комплекса критериев: знание структуры проведения исследования, полнота реализации структуры исследования, рациональность выполнения действий, самостоятельность выполнения учебно-исследовательской деятельности, адекватность самооценки учебно-исследовательской деятельности.

Для первого уровня организации деятельность полностью организована учителем, на наш взгляд, можно оценить только приобретенные умения работы с прикладными схемотехническими пакетами, быстроту выполнения работы, а по характеру и количеству задаваемых вопросов – уровень усвоения теоретического материала, уровень познавательной активности и интерес к изучаемому или исследуемому учащимися материалу.

Рассмотрим решение задачи в процессе изучения темы «Электрические колебания» в 11 классе по определению очередности загорания лампочек в цепях с различной нагрузкой (рис. 4).

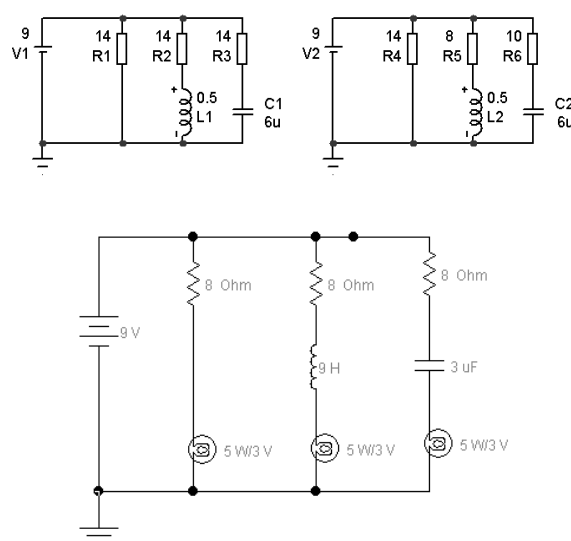


Рис. 4

схемы, рационально размещать компоненты на рабочем столе, владеть знанием обозначения и единиц измерения основных элементов, выполнять последовательно действия и проявлять умения формулировать выводы по результатам проведенного исследования на основе сопоставления полученных результатов. В этом случае оце-

ниваются сравнительно простые умения. Далее мы рассмотрим более сложную систему действий, характерную для второго и третьего уровней организации учебно-исследовательской деятельности, например, планирование эксперимента или умение формулировать гипотезу. Такое умение базируется на совокупности относительно простых умений.

При оценке представляемого учащимся решения учитель обращает внимание школьника на умение сопоставлять полученные данные с теоретическим материалом и реально проводимыми измерениями в лабораторных условиях. Роль учителя при этом может состоять в подведении учащегося к объяснению наблюдаемой зависимости, в получении подтверждающих объяснение дополнительных характеристик исследуемых схем, проверке предположения с помощью наглядности используемого пакета схемотехнического моделирования, что необходимо для дальнейшей организации самоконтроля и самооценки учащегося на третьем уровне организации учебно-исследовательской деятельности.

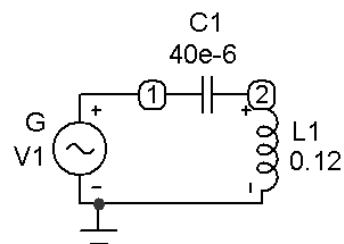
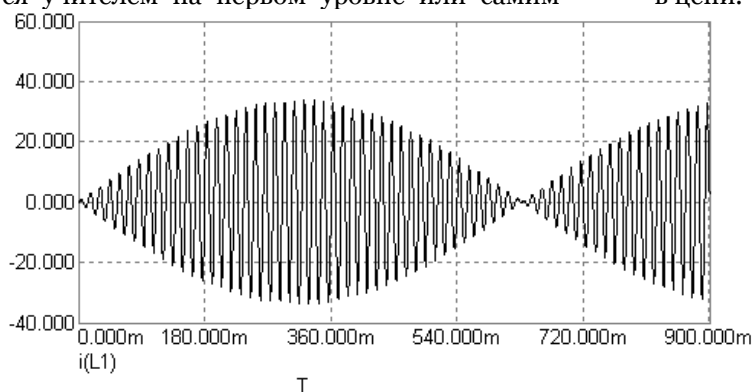
7. Организованная работа по оценке и анализу процесса учебно-исследовательской деятельности и ее результата обуславливает необходимость ее корректирования с целью ориентирования учащихся на исследовательскую деятельность (на творческое применение знаний) при решении задач.

Мы разделяем мнение С. Л. Рубинштейна, что характер воздействия оценки на деятельность человека обусловлен, во-первых, тем, насколько правильно его отношение к тому делу, которое он делает. Влияние установки на оценку как мотива деятельности зависит, во-вторых, от характера отношения между действующим учащимся и оценивающим его окружением. Нами рассматривается оценка прежде всего как средство для организации корректирующей деятельности учащихся.

Корректирование учебно-исследовательской деятельности может осуществляться учителем на первом уровне или самим

учащимся на втором и третьем уровнях организации учебно-исследовательской деятельности. Возможности схемотехнических моделей позволяют дифференцировать задания и проводить дифференцированную помощь на каждом этапе выполнения задания. Организация учебно-исследовательской деятельности на основе схемотехнического моделирования обеспечивает возможность корректировать деятельность учащегося индивидуально, с учетом особенностей развития личности, на основе потребности в помощи и в случаях затруднений.

Для третьего уровня организации учебно-исследовательской деятельности учащийся самостоятельно вносит изменения в свою деятельность, ход эксперимента, корректирует модель при несоответствии полученных результатов теоретическим или практическим знаниям. Например, при исследовании идеального последовательного колебательного контура (рис. 5) при некоторых условиях (определенным образом подобраны параметры частоты и математический аппарат схемотехнического пакета) график силы тока в цепи имеет необычную форму, противоречащую теоретическому выводу. У учащегося есть несколько возможностей откорректировать параметры модели и получить достоверный результат: создать модель в другом доступном схемотехническом пакете и сравнить результаты при их аналогичности – анализировать модель, увеличить точность математического расчета анализа, проверить соответствие полярности элементов, увеличить разрядность элементов, проверить колебательный контур (его собственную частоту в частотном виде анализа) и внести необходимые изменения в параметры источника сигнала. Выполняя аналогичные действия, учащийся находится в поиске верного решения, опираясь на имеющиеся теоретические и практические знания и используя их в новой ситуации. Результатом коррекционной деятельности будет верное решение – постоянное амплитудное значение силы тока в цепи.



MODEL G SIN (F=73 A=42)

Рис. 5

8. Практика использования схематического моделирования в процессе обучения показала, что чем больших результатов в развитии исследовательских умений достигает учащийся, тем меньше времени и сил тратит учитель на управление процессом учебно-исследовательской деятельности. Корректировка деятельности приводит к упорядочиванию действий, к *планированию дальнейшей исследовательской деятельности*. Планирование должно учитывать результаты анализа процесса решения, окончательного результата исследуемой проблемы и совокупности корректирующих действий.

Завершая разговор о формировании инженерного мышления учащихся при использовании схематического моделирования, считаем необходимым сделать следующие выводы.

1. Инженерно-техническое мышление учащихся – это сложное интегративное качество личности школьника, которое формируется средствами каждого учебного предмета, но особое место в этом процессе занимает физика, располагающая большими дидактическими особенностями.

2. Исследовательская деятельность, использование схематического моделирования позволяют приблизить школьника к псевдопрофессиональной инженерно-технической деятельности и сформировать важные качества будущего инженера.

3. Повышение уровня самостоятельности учащихся при выполнении предложенных заданий позволяет школьникам получить навык решения возникающих жизненных, учебных и технических задач за пределами учебных ситуаций и в условиях неопределенности.

4. Считаем необходимым дополнением к схематическому моделированию в процессе формирования инженерного мышления учащихся использовать натуральный физический эксперимент и применять реальные физические приборы для проверки адекватности созданной модели и достоверности сформулированной гипотезы.

5. Феномен инженерного мышления специфичен и разнообразен в своих проявлениях, и задача по формированию инженерного мышления в рамках школьного образования требует значительного теоретического, методологического и методического обеспечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ананьев Б. Г. О проблемах современного человекознания. – 2-е изд. – СПб. : Питер, 2001. – 272 с.
2. Горохов В. Г. Эволюция инженерии: от простоты к сложности = The development of engineering from simplicity to complexity: научное издание. – М. : Институт философии РАН, 2015. – 201 с.
3. Донцова Т. В., Ариаутов А. Д. Формирование инженерного мышления в процессе проектной деятельности // Инженерное образование. – 2014. – №16. – С. 70-75.
4. Завалишина Д. Н. Практическое мышление. Специфика и проблемы развития. – М. : Институт психологии РАН, 2005. – 375 с.
5. Зуев П. В., Кошечева Е. С. Использование компьютерного моделирования при обучении физике. – Germany : LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH, 2012.
6. Зуев П. В., Кошечева Е. С. Развитие инженерного мышления учащихся в процессе обучения // Педагогическое образование в России. – 2016. – № 6.
7. Каган М. С. Человеческая деятельность (опыт системного анализа). – М. : Просвещение, 1974. – 280 с.
8. Карлашук В. И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и ее применение. – М. : Солон-Р, 1999. – 506 с.
9. Концепция Федеральной целевой программы развития образования на 2016-2020 гг. : утв. Распоряжением Правительства РФ от 29 дек. 2014 г. № 2765-р.
10. Научные основы школьного курса физики / под ред. С. Я. Шамаша, Э. Е. Эвенчик. – М. : Педагогика, 1985. – 240 с.
11. Нифатьев Э. Е., Ахлебинин А. К., Лихачев В. Н. Компьютерные модели в обучении химии // Информатика и образование. – 2002. – № 7.
12. О комплексной программе «Уральская инженерная школа» : Указ Губернатора Свердловской области от 6 окт. 2014 г. № 453-УГ.
13. Прохоров В. А. Проект инновационного инженерного образования // Инженерное образование. – 2016. – № 19. – С. 21-24.
14. Усольцев А. П., Шамало Т. Н. О понятии «инженерное мышление» // Формирование инженерного мышления в процессе обучения. – Екатеринбург : Урал. гос. пед. ун-т, 2015. – С. 3-9.
15. Шалай В. В., Косых А. В., Мышлявцев А. В., Штриплинг Л. О. Вовлеченность учебного процесса в практическую деятельность – главное направление развития современного инженерного образования // Инженерное образование. – 2016. – № 20. – С. 46-51.

REFERENCES

1. Anan'ev B. G. O problemakh sovremennogo chelovekoznaniiya. – 2-e izd. – SPb. : Piter, 2001. – 272 s.
2. Gorokhov V. G. Evolyutsiya inzhenerii: ot prostoty k slozhnosti = The development of engineering from simplicity to complexity: nauchnoe izdanie. – M. : Institut filosofii RAN, 2015. – 201 s.
3. Dontsova T. V., Ariautov A. D. Formirovanie inzhenernogo myshleniya v protsesse proektnoy deyatel'nosti // Inzhenernoe obrazovanie. – 2014. – №16. – S. 70-75.

4. Zavalishina D. N. Prakticheskoe myshlenie. Spetsifika i problemy razvitiya. – M. : Institut psikhologii RAN, 2005. – 375 s.
5. Zuev P. V., Koshcheeva E. S. Ispol'zovanie komp'yuternogo modelirovaniya pri obuchenii fizike. – Germany : LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH, 2012.
6. Zuev P. V., Koshcheeva E. S. Razvitie inzhenernogo myshleniya uchashchikhsya v protsesse obucheniya // Pedagogicheskoe obrazovanie v Rossii. – 2016. – № 6.
7. Kagan M. S. Chelovecheskaya deyatel'nost' (opyt sistemnogo analiza). – M. : Prosveshchenie, 1974. – 280 s.
8. Karlashchuk V. I. Elektronnaya laboratoriya na IBM PC. Programma Electronics Workbench i ee primeneniye. – M. : Solon-R, 1999. – 506 s.
9. Kontseptsiya Federal'noy tselevoy programmy razvitiya obrazovaniya na 2016-2020 gg. : utv. Rasporyazheniem Pravitel'stva RF ot 29 dek. 2014 g. № 2765-r.
10. Nauchnye osnovy shkol'nogo kursa fiziki / pod red. S. Ya. Shamasha, E. E. Evenchik. – M. : Pedagogika, 1985. – 240 s.
11. Nifat'ev E. E., Akhlebinin A. K., Likhachev V. N. Komp'yuternye modeli v obuchenii khimii // Informatika i obrazovanie. – 2002. – № 7.
12. O kompleksnoy programme «Ural'skaya inzhenernaya shkola» : Ukaz Gubernatora Sverdlovskoy oblasti ot 6 okt. 2014 g. № 453-UG.
13. Prokhorov V. A. Proekt innovatsionnogo inzhenernogo obrazovaniya // Inzhenernoye obrazovanie. – 2016. – № 19. – S. 21-24.
14. Usol'tsev A. P., Shamalo T. N. O ponyatii «inzhenernoye myshlenie» // Formirovaniye inzhenernogo myshleniya v protsesse obucheniya. – Ekaterinburg : Ural. gos. ped. un-t, 2015. – S. 3-9.
15. Shalay V. V., Kosykh A. V., Myshlyavtsev A. V., Shtripling L. O. Vovlechenost' uchebnogo protsessa v prakticheskuyu deyatel'nost' – glavnoye napravleniye razvitiya sovremennogo inzhenernogo obrazovaniya // Inzhenernoye obrazovanie. – 2016. – № 20. – S. 46-51.