Не мыслям надобно учить, а мыслить (И. Кант) Вводные замечания При всем многообразии и обширности той сферы деятельности, которая связана с развитием техники, существуют универсальные психологические качества, в значительной мере предопределяющие возможность усвоения студентом соответствующих знаний, способность формирования необходимых навыков, а также его будущую успешность в профессии. Среди этих качеств, на наш взгляд, важнейшим является особый склад ума, который можно определить как инженерный стиль мышления. Заметим, что в след за В.В. Гуленко [1] психологи, исследуя структурные формы мышления, а не его содержание, выделяют «четыре основных стиля мышления: причинно-следственный.., диалектико-алгоритмический.., фрактально-голографический.. и вихревой..» (цитата из Википедии http://ru.wikipedia.org/wiki/Форма_мышления). Понятие инженерный стиль мышления уже и относится к процессу осмысления мира техники. Оно тесно связано с критериями компетенций, которые ныне рассматриваются как важнейшая цель и мерило качества обучения в вузе [2, 3]. Основу инженерного стиля мышления составляют следующие качества и умения. Во-первых, это любознательность и стремление к пониманию физической сущности природных явлений и мира техники. Во-вторых, пристрастие к количественному анализу сути того или иного процесса, той или иной закономерности. Здесь важны три умения: 1) ввести измеримые характеристики и параметры сущностных проявлений; 2) пренебречь несущественными факторами; 3) установить количественные взаимосвязи и закономерности. В-третьих, владение базовым арсеналом математических методов и приемов, необходимых для решения широкого круга задач в предметной области. В-четвертых, умение за математическим формализмом видеть, чувствовать физику анализируемых процессов. Это не только наполняет физическим смыслом полученные результаты, но позволяет ускорять ход решения задачи за счет эвристических приемов и обоснованных допущений. Кроме того, зачастую бывает так, что среди строгих математических решений лишь некоторые соответствуют условиям физической реализуемости или другим практическим ограничениям, и их надо отделить от формальных решений. Этого не сделать без понимания физической сути тех процессов, количественные закономерности которых отражают математические выражения. Рис. 1 - Деятельность инженера

Диаграмма на рис. 1 иллюстрирует роль инженерного мышления в деятельности инженера. Как всякая диаграмма психолого-социального плана она не требует подробных комментариев. Заметим только, что можно выделить две основные функции инженерного мышления, как слагаемого компетенций инженера: способность от реального физического мира легко переходить в виртуальный мир математических описаний, математического формализма, а затем с той же легкостью совершать обратный переход к физической реальности, к интерпретации и пониманию формальных результатов. Едва ли стоит (и

возможно ли?) придумать специализированные занятия по формированию инженерного стиля мышления. На это, в конечном счете, направлен весь процесс обучения в техническом вузе, в котором решающую роль играет взаимодействие трех субъектов: чиновника, преподавателя и студента. Безусловно, государственные стандарты и учебные планы (во многом продукт усилий чиновников), необходимы и играют важную системообразующую роль, но к формированию инженерного стиля мышления они имеют весьма отдаленное отношение. Главными факторами являются способности и мотивированность студента с одной стороны, квалификация и вдохновение преподавателя с другой. Абитуриент приходит в вуз таким, каким его готовит школа, а его отношение к учебе в первую очередь определяется статусом представителей выбранной профессии. В нынешней России и с тем, и с другим дела обстоят, мягко говоря, не вполне удовлетворительно. Рис. 2 - Субъекты процесса обучения В схеме на рис. 2 наряду с субъектами вузовской деятельности представлен и фактор социальных условий, которые наподобие катализатора “в реакции не участвуют, но способны ее мощно ускорить или затормозить”. Приниженный статус преподавателя, весьма ограниченный спрос на инженеров из-за сырьевой ориентации экономики, наносят ощутимый ущерб качеству технического образования В расчете на изменение ситуации к лучшему ниже в практическом плане обсуждаются те педагогические приемы, которые способствуют формированию у студентов инженерного стиля мышления. Полезные педагогические приемы 1. Общение со студентами убеждает в том, что в самом начале семестра полезно сформулировать требования, предъявляемые на экзамене. Чтобы получить оценку “удовлетворительно” (от 51 до 70 баллов) необходимо продемонстрировать ясное понимание смысла, значения всех терминов дисциплины, т.е. толково отвечать на вопросы “Что такое...?” Кроме того, необходимо знать основные закономерности, принципы, теоремы, т.е. произносить их формулировки или записывать соответствующие выражения и комментировать их физическое содержание. Для хорошей оценки (от 71 до 85 баллов) надо в дополнение к предыдущему уметь доказывать теоремы, т.е. осмысленно воспроизводить соответствующие математические выкладки, уметь пояснять основные закономерности и взаимосвязи в пределах материала, изложенного в лекционном курсе, или решить не сложную задачу. “Отлично” (от 86 до 100 баллов) получают те, кто могут все предыдущее, плюс способны обсуждать вопросы, не затронутые напрямую в лекциях и учебниках (лежащие, как я говорю, между строк), и решать задачи, требующие догадки, творческого подхода. 2 . У слабых студентов, как правило, существует ряд вредных комплексов. Следует помочь от них избавиться. Во-первых, в этой среде бытует прочное представление о том, что «учи, не учи, а преподаватель может “завалить” любого студента, если захочет». Быть может, такие настроения неизбежны, но поле для них резко сокращается, если заранее декларировано,

что должен знать студент, чтобы гарантированно получить «тройку».

Чрезвычайно полезно убедить студента в следующем. Термины, определения, физические или функциональные характеристики в любой технической дисциплине играют ту же фундаментальную роль, что и строительные элементы (кирпичи, балки, бревна и т.д.) для сооружения. Именно поэтому на экзамене так часто звучит вопрос «А что такое ...?». Приятное и вдохновляющее обстоятельство состоит в том, что каждый термин, каждое определение содержит малое, исчерпаемое количество информации. Как ни парадоксально это звучит, но любой студент, полосовой фильтр, вектор напряженности электрического поля, коэффициент направленного действия антенны и т. д., ничуть не хуже, чем способен и должен знать, что такое спектр сигнала, доценты, профессора или академики. А это уже половина «тройки».

3. Хороший студент имеет правильное суждение о том, знает ли он то, о чем его спрашивают. Поэтому иногда он отвечает: «Я этого не знаю». У слабого же студента по этому поводу полная неопределенность. Как правило, это следствие бессистемных занятий: попыток усвоить текущий материал без знания предыдущего, зачастую, более простого материала. Хороший совет таким студентам – выработать привычку, столкнувшись с трудностями, спросить себя: 1) понятны ли термины изучаемого текста, 2) ясно ли о чем идет речь (не в деталях, а в общем). При необходимости полистать учебник назад, а в критической ситуации искать чьей-то помощи. Ну и, конечно, тренировать свой внутренний голос «Я это знаю. Я этого не понимаю». Такая стратегия учебы позволит не только успешнее, но и с меньшими временными затратами осваивать предметы.

4. По поводу соотношения между реальностью и ее описанием. Коллизия инженерии как детища прикладной физики и прикладной математики состоит в том, что ей приходится иметь дело с чем-то не до конца изученным. Так, например, электродинамика, исходя из постулатов микроскопичности, изучает проявления электромагнитного поля (ЭМП), и тем самым создает надежные основы развития техники высоких частот и антенн, не дожидаясь ответа на вопрос, что же такое ЭМП. Вся радиотехника, включая мобильную радиосвязь, ставшую атрибутом современного быта, эксплуатирует это нечто, чему есть название “электромагнитное поле”, но нет ясности, что же это такое. Философия инженерного мышления состоит в восприятии реального сложного и многообразного явления на уровне его проявлений. Закономерности этих проявлений, установленные достоверно, т.е. научно, открывают дорогу технике, использующей давно обнаруженные или только что открытые физические явления. Переход от реальности к количественному описанию ее проявлений и соответствующих закономерностей начинается с введения сущностных измеримых характеристик того или иного явления. Инженеру полезно отдавать себе отчет в том, что выбор этих характеристик – дело человеческих договоренностей. Например, объективно, вне нашего восприятия

вектор напряженности электрического поля, знаменитый вектор $\vec{E}$, не существует. Есть свойство ЭМП оказывать силовое воздействие на частицу вещества, расположенную в данной точке пространства и обладающую зарядом q . С учетом закона Кулона оказалось целесообразным характеризовать это проявление ЭМП вектором $\vec{E} = \vec{F}/q$. Аналогично закон Ампера о силовом взаимодействии электрических токов привел к договоренности людей магнитное поле, связанное с токами, характеризовать вектором $\vec{H}$. Совокупность векторов $\vec{E}$ и $\vec{H}$ настолько полно характеризует ЭМП, что эти вектора не только терминологически, но и по существу воспринимаются специалистами как собственно само ЭМП. Такое отождествление используется сплошь и рядом. Мы говорим «передавать энергию», хотя самой по себе энергии быть не может. Ведь она есть свойство вещества, тела, поля и в отрыве от своего носителя не существует. Или об информации часто говорят, как если бы она была чем-то материальным и существовала сама по себе. Надо понимать условность подобных выражений, используемых ради лаконичности.

5. Строгость, точность и изобретательность. Для тренировки этих качеств, свойственных инженерному мышлению, полезны простенькие задачки с хитринкой. Ради конкретности и чтобы доставить удовольствие любознательным читателям приведу пример такой задачи, не требующей знаний, выходящих за рамки школьной физики. Пусть слабенький передатчик мобильного телефона, имеющий мощность $P = 4$ мВт, излучает равномерно во все стороны на частоте $\nu = 1$ ГГц. Оцените ту дальность R , на которой его поле представляет собой не сплошную электромагнитную волну, а дискретный поток фотонов (рис. 3). Учтите следующее: 1) ЭМП как что-то сплошное, называемое волной, можно воспринимать лишь при огромной плотности частиц поля – фотонов; 2) энергия фотона определяется формулой $\epsilon = h \nu$, где $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ Дж с – постоянная Планка, а ν – частота фотона; 3) ЭМП распространяется в свободном пространстве в виде сферической волны. Рис. 3 - Поток мощности

Конечно, эта задача не имеет однозначного ответа, поскольку “дискретному потоку фотонов” не дано количественного определения. В том и состоит ее ценность: надо самостоятельно принять решение, основываясь на здравом смысле. Например, можно это условие сформулировать как пролет через поперечную площадку $dS = 1 \text{ см}^2$ в среднем пять тысяч фотонов за время $dt = 1 \text{ с}$. В результате получается элементарное соотношение $P dS = 5000 h \nu R^2$ и оценка $R \gg 10^3$ км.

6. Для большинства студентов формула – это фетиш: ее нельзя вывести, можно только разыскать в учебнике. Надо убеждать студентов в том, что не существует учебников с ответами на все случаи жизни. Надо убеждать их в том, что практичнее понять общие принципы и закономерности, запомнить небольшое число соответствующих им формул и соотношений. Это позволит вывести формулу для конкретного случая, не затрачивая время на бесполезные поиски.

7. Многие студенты не умеют контролировать расчеты, находить ошибки и

оценивать приемлемость результата. Существуют стандартные приемы, помогающие с этим справиться. Во-первых, проверка размерностей. Она элементарно проста и очень эффективна. Если получилась формула, требующая вычислить синус от Зкг, или логарифм от 1мм, или что-то еще в таком же роде – ничего не вычисляйте, проверьте выкладки, найдите ошибку. Если эта формула выписана из учебника, то, скорее всего, вы не правильно воспринимаете обозначения величин. Кроме того, хоть и мало вероятно, но и в учебниках случаются опечатки. Во-вторых, полезна проверка формул для особых или предельных значений входящих в нее параметров, для которых известно, что должно быть. Например, для случая короткого замыкания или разрыва, в нулевом значении параметра или в бесконечно большом, и т.д. Заключение Естественно, что инженерный стиль мышления формируется, воспитывается и тренируется в процессе изучения любой технической дисциплины, на любых учебных занятиях: на лекциях, в лабораториях, на практических занятиях и даже на экзаменах. Однако в наиболее концентрированном виде это происходит при выполнении курсовых проектов, если проектирование не сводится к действиям по шаблону, подробно изложенному в методическом пособии. Цель достигается, если преподаватель намеренно ставит студента в условия неоднозначного выбора, и на всех этапах проекта играет активную роль то заказчика проекта, то опытного сослуживца, то злонамеренного конкурента. Цель достигается с еще большим успехом, если сам преподаватель с азартом генерирует спонтанные идеи.