

Инновационное инженерное образование

Б.Л. Агранович, А.И. Чучалин, М.А. Соловьев



Доцент Б.Л. Агранович
директор Западно-Сибирского центра социальных и информационных технологий ТПУ



Профессор
А.И. Чучалин
первый проректор ТПУ



М.А. Соловьев
Зам. начальника
учебно-методического
отдела ТПУ

"Скажи мне, и я забуду. Покажи мне, и я вспомню. Вовлеки меня в процесс, и я пойму. Отойди, и я буду действовать!"

Китайская пословица

Российская высшая школа переживает не лучшие времена. Более десятка лет она находится в состоянии стресса из-за недостатка средств и непрерывного реформирования, модернизации и т.д. При этом зачастую разговоров о реформах больше, чем реальных позитивных изменений. Есть мнение, что ничего менять не надо. Российское высшее образование по-прежнему является лучшим в мире. Надо просто дать высшей школе больше денег из государственной казны, и все будет хорошо. Очевидно, не будет.

Наш "образ" и, соответственно, уровень жизни в России на сегодняшний день не являются лучшими. Поэтому российское высшее "образование" вряд ли можно считать лучшим в мире в настоящее время. По крайней мере, высшее инженерное образование, от которого напрямую зависит уровень развития техники и технологий. Как ни стыдно, приходится признать - после того, как у нас появилась возможность выбирать, мы стали предпочитать импортную технику, созданную зарубежными инженерами.

Одним из лучших в мире, действительно, является российское высшее образование в области математики и естественных наук - физики, химии, биологии. Российское инженерное образование также богато традициями фундаментальной подготовки специалистов. Однако, в последнее время это богатство "на уровне знаний" все чаще реализуется нашими специалистами "на уровне умений" за рубежом. Таким образом, зарубежные фирмы используют интеллектуальный потенциал России для развития своего бизнеса и извлечения прибыли.

Возникает вопрос - почему инженеры с российским высшим образованием не могут создать качественную и конкурентоспособную технику в России? Что же действительно необходимо привнести в российское инженерное образование? Ответ может быть только один - инновационную составляющую. Российское инженерное образование должно стать инновационным инженерным образованием и готовить специалистов к инновационной инженерной деятельности. Об этом сейчас много говорят.

Что означает инновационная инженерная деятельность? Определений много и разных. По сути, это разработка и создание новой техники и технологий, доведенных до вида товарной продукции, обеспечивающей новый социальный и экономический эффект, а потому конкурентоспособной. В таком случае, инновационное инженерное образование - это процесс и результат целенаправленного формирования определенных знаний, умений и методологической культуры, а также комплексная подготовка специалистов в обла-

INNOVATIVE ENGINEERING EDUCATION

**B. L. Agranovich,
A. I. Chuchalin,
M. A. Solovyov**

"Tell me and I will forget,
Show me and I will remember,
Involve me and I will understand,
Go aside and I will act!"

(Chinese saying)

Today, the Russian higher school is going through a lot of problems. The stressful situation in the economic life in the country has been deteriorating it for almost ten years through the funds shortage and persistent reforming and modernization. At the same time, the present reforms are more frequently discussed rather than implemented. Moreover, there is an opinion that there is nothing to change, as the Russian higher education still remains the best in the world. It is simply necessary to give more money from the national treasury to universities to change root and branch. Obviously, this is not going to happen.

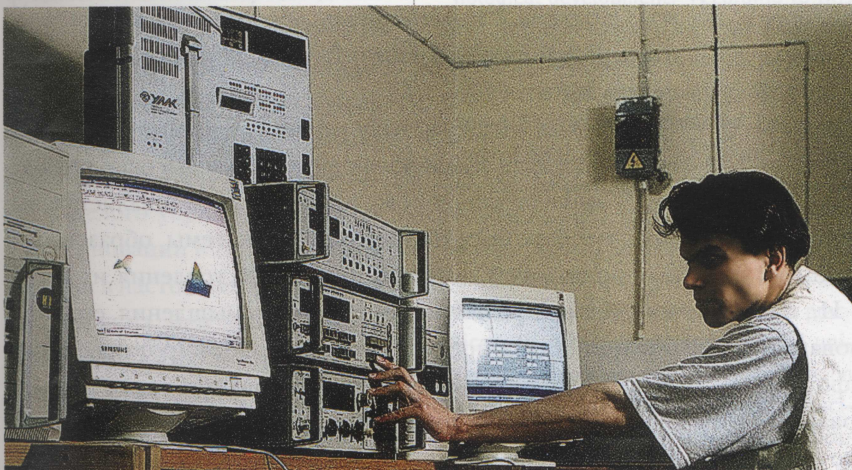
Currently, living standards in Russia are far from being perfect, that is why the Russian higher education can hardly be ranked as the best in the world at least in the sphere of the engineering education, which directly determines the level of technological development. No matter

how disgraceful, it should be recognized that after we had been offered the chance to choose, we turned to foreign technical equipment produced by the engineers from abroad. The Russian higher education in the field of mathematics and natural sciences, i.e. physics, chemistry, and biology has always had the reputation as the best one in the world. The Russian engineering education can also be proud of its traditions of thorough specialists training. Still lately our specialists "on skills level" more often apply these riches "on knowledge level" abroad. Thus foreign enterprises use Russia's intellectual potential in order to develop their business and derive benefit.

All this combined provokes a reasonable question: why can't Russian engineers create high-quality and competitive equipment in Russia? What measures should be taken to bring positive changes into the Russian engineering education? The only answer suggests itself: the need for innovations is pressing. The Russian engineering education must become entrepreneurial and its specialists should be trained to accommodate the needs of the contemporary society. Today, the entrepreneurial approach to the engineering education is becoming one of the most outspoken issues.

What does the innovative engineering activity mean? There exist a great number of various concepts. In fact, it deals with designing and creation of new technologies that will further become a competitive commodity output since they provide a new social and economic effect. In that case, innovative engineering education is both the process and the result of the purposeful forming of certain attainments, skills and methodological culture, as well as integrated preparation of specialists in the sphere of technologies for innovative engineering activity at the expense of attendant training concept and methods.

The issues concerning the innovative engineering education are being widely discussed in our country and abroad [5]. Much has been said about the necessity of the engineering education improvement owing to changes that are taking place in fundamental and applied sciences, technological and social development, production perfection, globalization processes in the



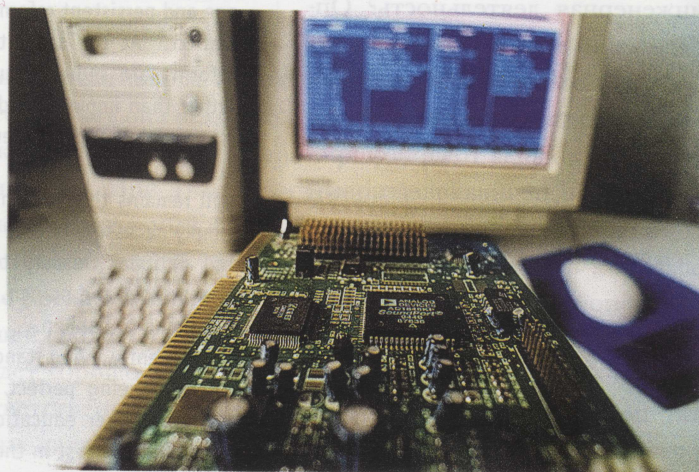
сти техники и технологии к инновационной инженерной деятельности за счет соответствующих содержания и методов обучения.

Вопросы, связанные с инновационным инженерным образованием, широко обсуждаются в нашей стране и за рубежом. Говорят о необходимости совершенствования инженерного образования в связи с изменениями, происходящими в отношениях фундаментальных и прикладных наук, технологическим и социальным развитием общества, совершенствованием производства, процессами глобализации мировой экономики и интернационализации образования.

Изучая взаимодействие науки, техники, технологий и промышленного производства, исследователи выделяют три основные фазы. Первая - до второй мировой войны - трансформация кустарного производства в промышленное, начало индустриализации и развития фундаментальной науки как базы для создания новой техники и технологий. Вторая - послевоенный период до начала 70-х годов XX века - создание индустриального общества, развитие массового производства и превращение науки в непосредственную производительную силу. И, наконец, третья - формирование постиндустриального информационного общества, основанного на знаниях, когда потреб-

ность в инновациях ставит на один уровень значимость фундаментальной и прикладной науки.

В эпоху индустриального общества основой технологического развития была фундаментальная наука. На базе нее создавались прикладные научные знания, используемые на практике. На этом принципе формировался и подход к инженерному образованию, широко используемый в настоящее время. Его суть заключается в том, что студентам вначале предлагается изучить математику и естественно-научные дисциплины, такие, как физика и химия. При этом мало говорится о том, где и как можно и нужно использовать их на практике. Затем студентам предлагаются общинженерные и специальные дисциплины



лины как прикладные науки, также, в основном, на уровне знаний без особых требований к их творческому использованию в реальном деле. Главным недостатком такого подхода к инженерному образованию является то, что в результате выпускник "может знать все, но не уметь делать ничего".

Переход к новому типу цивилизации - информационному обществу, предъявляющему более высокие требования к интеллектуальному потенциалу специалистов, вызвал необходимость изменения системы образования, его технологий, методик обучения, усиления их действенности по развитию творческого мышления, его инновационности и прогностичности - формирования так называемого "опережающего" образования.

Образование как область социальной деятельности должно опережать в своем развитии другие формы ак-

тивности людей, особенно их хозяйственную деятельность. Исключение должна составлять только наука и, прежде всего, фундаментальная, которая всегда была и будет главным источником наполнения "образовательного потенциала".

Опережающее профессиональное образование направлено на развитие у человека природной предрасположенности к получению знаний и переходу от концептуального осмысления действительности к решению прикладных социальных, управленческих, организационных, технологических задач.



В постиндустриальную эпоху обществом уже накоплена масса фундаментальных и прикладных знаний, создан огромный информационный ресурс и главной целью становится создание новой конкурентоспособной продукции и новых рынков за счет умелого управления знаниями. Инновации в технике и технологии в настоящее время формируются на междисциплинарной основе в результате передачи знаний из одной области в другую. Распределение и комби-

world economics and internationalization of education.

When studying the correlation between science, technique, technologies, and industrial production, analysts distinguish three basic stages. The first one, which took place before World War II, is the transfer from handicraft to manufacturing industry, the beginning of industrialization and development of fundamental science as a basis for creation of new technologies. The second one, which embraces the post-war period of the 1970s, deals with the creation of the industrial society, development of mass production and the conversion of science into immediate productive power. And finally, the third one is the forming of the post-industrial information-oriented, knowledge-based society, in the period of time when the demand for innovations equalizes fundamental and

applied science.

In the industrial society, the fundamental science served as a basis for technological development. According to this concept, applied scientific knowledge that is now widely used in practice, was originated. The engineering education approach commonly accepted today was formed on that principle. Its essence lies in the following: at first students are offered to study mathematics and natural science, such as physics and chemistry. At the same time, they are not told where and how these subjects should be used in practice. Then the students are offered universal engineering and special courses on a very general basis, without special elucidations concerning their further applica-

tion. The main disadvantage of such an approach to the engineering education is the situation when a graduate "knows everything but can do nothing".

The transition to the new type of civilization, or an information-oriented society, that makes higher demands for the specialists' intellectual potential, triggered the necessity of changes in the educational system, its technologies, training methods, increase in their effectiveness for creative thinking development, its innovative nature and predictability, or forming of the so-called "anticipatory" education.

Education as part of the social sphere must outstrip in its development other varieties of human activities, especially their economical activity. Only fundamental science that has always been and will be the main source of the "educational potential", must be an exception.

Anticipatory vocational education is aimed at the development of the individual's inherent predisposition to getting knowledge, and to the transition from the conceptual reality comprehension to the solution of applied social, administrative, organizational and technological problems.

In the post-industrial epoch the great bulk of fundamental and applied knowledge is stored up by the society, great informational resources are created, and the rise of new competitive production and new markets at the expense of skillful knowledge guidance become the main objectives. Innovations in technologies are presently being formed on the interdisciplinary basis as a result of knowledge transmission from one sphere into another. Division and combination of fundamental and applied knowledge, and chiefly their usage "in an unexpected way" with a practical view, becomes engineer's main objective in his innovative activity.

Thereupon, a new approach to the engineering education is being developed. During the last decade theorists and experts of the engineering education have been talking about the necessity of specialists' training in the area of technologies, which implies not only certain knowledge and skills but also special "competences" focused on the ability to be used in practice, workable affairs when new

нация фундаментальных и прикладных знаний, а главное - их использование "неожиданным образом" в практических целях становится главной задачей инженера в его инновационной деятельности.

В этой связи развивается новый подход к инженерному образованию. В последнее десятилетие теории и практики инновационного инженерного образования говорят о необходимости формирования специалиста в области техники и технологии не только определенных знаний и умений, но и особых "компетенций", сфокусированных на способности применения их на практике, реальном деле, при создании новой конкурентоспособной продукции. Изменяются образовательные программы и учебные планы. Уже в первый год обучения студентам показывают связь предлагаемого учебного материала с их будущей инженерной деятельностью, перспективами технического, технологического, экономического и социального развития общества. Такой педагогический прием позволяет выработать у студентов столь необходимую мотивацию к обучению, большую восприимчивость к теории при освоении ее через практику.

В настоящее время многие ведущие зарубежные университеты, такие, как Aalborg University (Дания), Twente University (Голландия), Queens

University (Канада), Norwegian University of Science and Technology (Норвегия) и другие, применяют новое содержание, а также проблемно-ориентированные методы и проектно-организованные технологии обучения в инженерном образовании. В результате достигается новое качество инженерного образования, обеспечивающего комплекс компетенций, включающий фундаментальные и технические знания, умение анализировать и решать проблемы с использованием междисциплинарного подхода, владение методами проектного менеджмента, готовность к коммуникациям и командной работе.

Одним из перспективных методов, используемых в



инновационном инженерном образовании, является "контекстное обучение", когда мотивация к усвоению знания достигается путем выстраивания отношений между конкретным знанием и его применением. Этот метод является достаточно эффективным, так как аспект применения является для студентов критически важным. Не менее важным является "обучение на основе опыта", когда студенты имеют возможность ассоциировать свой собственный опыт с предметом изучения. Данные методы считаются методами активного обучения, поскольку в центре внимания находится студент, приобретающий знания через деятельность и на основе опыта.

Проблемно-ориентированный подход к обучению позволяет сфокусировать внимание студентов на анализе и разрешении какой-либо конкретной проблемной ситуации, что становится отправной точкой в процессе обучения. При этом иногда важно не столько решить про-

блему, сколько грамотно ее поставить и сформулировать. Проблемная ситуация максимально мотивирует студентов осознанно получать знания, необходимые для ее решения. Междисциплинарный подход к обучению позволяет научить студентов самостоятельно "добывать" знания из разных областей, группировать их и концентрировать в контексте конкретной решаемой задачи.

Весьма эффективным и перспективным является использование так называемых "case studies" - методов, основанных на анализе реальных жизненных ситуаций в инженерной практике, менеджменте, организации производства и выработке соответствующих предложений и решений.

Особую значимость в инновационном инженерном образовании имеют проектно-организованные технологии обучения работе в команде. При этом создаются условия, практически полностью соответствующие реальной инженерной деятельности, и, таким образом, студенты приобретают опыт комплексного решения задачи инженерного проектирования с распределением функций и ответственности между членами коллектива.

Методы инновационного инженерного образования применяются в отечественных и зарубежных университетах в разной степени и в различных сочетаниях. Весьма показательным является пример Aalborg University. В этом университете эксперимент по реорганизации процесса подготовки инжене-

competitive production is created. Presently, educational programs and curricula are being changed. As early as during the first academic year students are shown the connection between the suggested training material and their future engineering activity, future trends of technical, technological, economic and social development of the society. Such a teaching method allows to elaborate essential students' motivation to learning, greater susceptibility to the theory through its mastering by means of practice.

Currently, many leading foreign universities, such as Aalborg University (Denmark), Twente University (Holland), Queens University (Canada), Norwegian University of Science and Technology (Norway) and many others are trying to apply new contents, as well as task-oriented methods and project-organized training technologies in the engineering education. As a result, the new quality of the engineering education has been attained. It provides the system of competences that includes fundamental and technical knowledge, analysis and problem-solving ability based on the interdisciplinary approach, project management mastering, readiness for communication and team working.

One of the promising methods used in innovative engineering education is "contextual training", when motivation for digestion of knowledge is attained by means of establishing relations between specific information and its application. This method is rather effective since the application aspect is considered to be extremely crucial for the students. "Training on the basis of experience" is significant as well, when the students have an opportunity to associate their own experience with the subject of learning. The given methods are supposed to be active learning methods since they are focused on the students getting knowledge through their personal activity and experience.

The task-oriented approach allows drawing the students' attention to problem-solving in some specific situations, which might be regarded as the starting point in the process of education. But for all that it is sometimes more important to set and formulate a problem competently

rather than even to solve it. Any problem situation at most motivates the students to deliberate getting the knowledge that is necessary to solve it. The interdisciplinary approach to learning allows teaching the students to independently "extract" knowledge from different areas, classify and concentrate them in the context of a specific solvable task.

The usage of the so-called "case studies" methods based on the analysis of the real life situations in engineering practice, management, industrial engineering and elaboration of corresponding suggestions and solutions is extremely effective and promising.

Project-organized technologies of team-working have peculiar significance in the innovative engineering education. In this connection, certain conditions should be created: they almost completely correspond to the real engineering activity, and thus, the students are likely to acquire experience in integrated task solution of design engineering with allocation of functions and responsibility between the members of the group.

The methods of innovative engineering education are applied in national and foreign universities to different extents and in different combinations. Extremely revealing is an example of Aalborg University. The experiment concerning the reorganization of the engineers' training process was started at this university more than a century ago. Curricula, programs and methods of specialists' training in the area of technologies were radically revised.

The first academic year according to the program of the bachelors training is dedicated to the fundamental knowledge digestion from the area of natural sciences and mathematics, as well as computer and foreign languages mastering. At the same time, active methods are widely used, and the students form their task-oriented methodological culture. During the following two years the interdisciplinary approach to learning "know-how" is used, which is based on the independent students' work on carrying-out individual and group projects each term. The duration of the project concerning a certain topic is one term. 50 per cent of curriculum time is

ров начался более четверти века назад. Учебные планы, программы и методы подготовки специалистов в области техники и технологии были коренным образом пересмотрены.

Первый год обучения студентов по программе, соответствующей подготовке бакалавров, посвящен усвоению фундаментальных знаний из области естественных наук и математики, а также овладению компьютером и изучению иностранного языка. При этом широко используются активные методы, и у студентов формируется проблемно-ориентированная методологическая культура. В течение двух последующих лет применяется междисциплинарный "know-how" подход к обучению, в центре внимания которого находится самостоятельная работа студентов над выполнением индивидуальных и групповых проектов в каждом семестре. Длительность проекта на определенную тему составляет один семестр. В учебном плане на выполнение проекта отводится 50% времени. Остальные 50% времени студенты изучают курсы, связанные с проектом (25% времени) и не связанные с ним (25% времени). В течение двух лет обучения студентов по программе, соответствующей подготовке магистров, учебным планом предусматривается изучение специальных курсов с использованием "know-how" подхода и подготовка диссертации,

в которой выполняются исследования, как правило, связанные с комплексом работ в рамках группового проекта на реальную тему.

Таким образом, работа в команде, состоящей из 446 студентов, является одним из основных методов обучения в Aalborg University в течение всего времени подготовки инженеров. Следует заметить, что эта работа организуется, в основном, самими студентами. Роль преподавателя сводится к наблюдению за процессом и консультированию. Важно отметить также, что результаты работы оцениваются внешними экзаменаторами, среди которых обязательно есть представители профессиональной среды - ученые и производственники.

Результаты реализации инновационного подхода к инженерному образованию в Aalborg University получили высокую оценку со стороны выпускников, промышленных кругов правительства Дании и мирового образовательного сообщества. Датский парламент провел аудит в Aalborg University других университетах страны и сделал заключение о наибольшей эффективности подготовки в нем специалистов, способных комплексно решать современные инженерные проблемы и создавать новую технику, технологии.

Томский политехнический университет начал эксперимент по использованию методов инновационного инженерного образования в своей деятельности по подготовке специалистов в области техники и технологии. Для этого создан творческий коллектив из преподавателей-инноваторов; необходимо изучить российский и зарубежный опыт, выполнить в 2003 году проект в рамках Комплексной программы совершенствования образовательной деятельности и разработать концепцию применения всех рассмотренных выше методов инновационного инженерного образования в университете. Планируется уже в 2003/04 учебном году в порядке эксперимента приступить к внедрению на ряде факультетов методов проблемно-ориентированного междисциплинарного обучения и выполнения комплексных групповых курсовых и дипломных проектов. Тем более, что в прежние годы в Томском политехническом институте уже существовала такая практика, а в настоящее время она реализуется в Центре переподготовки специалистов по нефтяному инженерингу для НК "ЮКОС" совместно с Hariot-Watt

University (Великобритания).

Для перехода к действительно инновационному инженерному образованию следует выполнить ряд условий: обновить его содержание на базе знаний из мировых информационных ресурсов, использовать принцип "бенчмаркинга" - выявить лучшие российские и зарубежные аналоги образовательных программ и сориентироваться на них, интегрировать предпринимательские идеи в содержание



курсов, ввести кредитно-накопительную систему оценки образовательных программ для лучшей организации учебного процесса, усовершенствовать рейтинговую систему, дополнив ее современной системой тестирования и внешнего контроля за освоением образовательных программ.

И последнее условие, которое по степени важности является первым. Инновационное образование может дать только то высшее учебное заведение, преподаватели и сотрудники которого сами активно занимаются инновационной деятельностью.

prescribed for the project implementation. The other 50 per cent of remaining time the students master courses concerning the project (25 per cent of time) and non-connected with it (25 per cent of time). Within two academic years according to the program corresponding to the masters training the curriculum provides special courses training with the usage of the "know-how" approach and dissertation preparation, in which investigations connected with the work package in the framework of the group project based on the real topic are conducted.

Thus, work in team consisting of 446 students is one of the basic methods of

training at Aalborg University during the full process of engineers' training. It is noteworthy, that generally the students themselves organize this work. The teacher's role implies observations and tutorials. It is important that alien examiners estimate the results of the work; among them there are always representatives of professional environment - scientists and production workers.

The results of the implementation of the innovative approach to the engineering education at Aalborg University were highly estimated by its graduates, the industrial sphere, the Danish Government and the world educational community. The Danish Parliament audited Aalborg University and some other universities of the country and came to the conclusion

that the training of specialists capable of complete solution of modern engineering tasks and creating new techniques and technologies was the most effective.

Tomsk Polytechnic University started the experiment concerning the engineering education innovative methods in the training of specialists in the area of technology. That is why the creative group of teachers-innovators was formed; there is a need to study Russian and foreign experience, implement the project within the framework of the Complex Program of Educational Activity Perfection and elaborate the idea of application of all innovative engineering education methods at the University. In 2003-2004, it is planned to begin the implementation of task-oriented interdisciplinary training and execution of integrated group term papers and degree works at some faculties on the experimental basis. In previous years, such an experience existed at Tomsk Polytechnic University, and currently it is put into effect at Heriot-Watt Petroleum Engineering Approved Support Centre, which enjoys the support of YUKOS Oil Company.

In order to turn to truly innovative engineering education, the following tasks need to be accomplished: renovation of its content using the knowledge obtained from the world information resources; use of "benchmarking" to reveal the best Russian and foreign analogs of educational programs and be guided by them; integration of entrepreneurial ideas into the courses contents; introduction of the credit-accumulating system of educational programs assessment for the purpose of better training process organization; improvement of the rating system enlarging it by a contemporary testing system.

And the last factor that can hardly be considered the least due to its significance: only the university whose faculty and staff are actively involved into the innovative activity is capable of providing truly innovative education.