



СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
1. Общие сведения о науке	7
1.1. Основные понятия, роль науки в современных условиях	7
1.2. Классификации научных исследований	10
1.3. Аттестация научных работников	14
1.4. Прогнозирование научно-технических достижений	18
2. Краткая история науки	23
3. Методология научно-исследовательских работ	34
3.1. Особенности научно-исследовательских работ и опытно-конструкторских разработок	34
3.2. Организационные принципы выполнения НИР	37
3.3. Основные этапы проведения НИР	39
3.4. Составление, оформление и защита отчета о НИР или диссертационной работы	42
4. Теоретические исследования	45
5. Экспериментальные исследования	54
5.1. Общие сведения	54
5.2. Модельные исследования	64
5.3. Планирование эксперимента	74
5.3.1. Общие сведения	74
5.3.2. Факторное направление	75
5.3.3. Оптимизация поиска экстремальных значений	91
5.3.4. Прочие задачи ПЭ	96
5.4. Эмпирические методы исследования	98
6. Анализ полученных данных	103
6.1. Общие сведения	103
6.2. Основные принципы использования математической статистики	105

6.3.	Оценка различия двух выборок путем статистического сравнения их параметров	110
6.4.	Проверка наличия зависимости между изучаемыми величинами	114
6.5.	Подбор эмпирических формул (регрессионный анализ)	120
7.	Типичные математические приемы, используемые в сфере технических наук	124
7.1.	Общие сведения	124
7.2.	Дифференциальные уравнения	125
7.3.	Типичные численные методы решения технических задач	132
7.3.1.	Общие сведения	132
7.3.2.	Метод конечных разностей	133
7.3.3.	Метод граничных элементов	135
7.3.4.	Метод конечных элементов	137
7.4.	Общие сведения о методах исследования операций	143
7.5.	Математическое программирование	149
7.6.	Использование методов теории массового обслуживания	153
7.7.	Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло)	158
7.8.	Методы теории статистических решений и теории игр	161
7.9.	Общие сведения о мысленном и вычислительном экспериментах	171
8.	Изобретательская деятельность и система регистрации изобретений и открытий	179
8.1.	Общие сведения об изобретательской деятельности и системе патентования	179
8.2.	Содержание заявки на изобретение (на выдачу патента)	188
8.3.	Новые решения, не имеющие изобретательского уровня новизны	194
8.4.	Методология изобретательской деятельности	198
8.5.	Система регистрации научных открытий	206
9.	Внедрение в практику научно-технических достижений	211
	Рекомендуемая литература	220



ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий курс лекций составлен на основе Государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования по направлениям «Природообустройство и водопользование» и «Землеустройство и кадастры», утвержденных Министерством образования России 17.03.2000 г. (рег. номер 156 тех/дс).

Целью изучения дисциплины «Основы научных исследований и изобретательства» является ознакомление студентов с особенностями научных исследований, формирование правильных взглядов на науку, ее роль в современном обществе, особенно в современных условиях перехода отечественной экономики от преимущественно сырьевого направления к экономике инновационной.

В вузах, где учебные программы предполагают изучение этой дисциплины на младших курсах, преподаватель может внести некоторые упрощения, опустив разделы, предъявляющие повышенные требования к математической подготовке и инженерному кругозору студента. В определенной мере это относится и к студентам заочной формы обучения, которые на своей основной работе уже сформировались как специалисты *практической* ориентации. Заголовки таких разделов, которые, по мнению автора настоящего пособия, можно опускать, отмечены звездочками *.

Напротив, при использовании настоящего пособия в работе с магистрантами и аспирантами целесообразно повысить внимание именно к разделам, отмеченным такими

звездочками. В зависимости от научных интересов аспирантов эти разделы могут быть существенно расширены, дополнены новыми материалами или, напротив, сокращены. Например, математические методы планирования эксперимента, крайне необходимые в исследованиях, связанных с выполнением большого количества опытов, играют второстепенную роль, когда эксперименты выполняются в малом объеме. В ряде случаев, при выполнении особо сложных, дорогих экспериментов требования к точности и надежности измерений могут настолько повышаться, что традиционные конструкции измерительных устройств (мессдоз, тензометров и т. д.) могут оказываться непригодными, и потребуются новое, более совершенное измерительное оборудование. Так как в строительных науках подобные ситуации встречаются относительно редко, вопросы метрологического обеспечения исследований в настоящем пособии не рассматриваются. В определенной мере это связано с тем, что в технических вузах метрология изучается как самостоятельная дисциплина.

Автор полагает, что составление универсального пособия (руководства) по научным исследованиям, удовлетворяющего потребности как студента, так и профессионального исследователя, — задача нереальная. По этой причине настоящее пособие ориентировано в первую очередь на студента и частично на магистранта и аспиранта, делающего первые шаги в освоении профессии исследователя. Оно предполагает ознакомление лишь с наиболее общими представлениями о науке, без которых невозможна выработка кругозора современного специалиста.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О НАУКЕ

1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, РОЛЬ НАУКИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Под научными исследованиями понимается деятельность, направленная на получение новых знаний о природе и человеке. Иногда такую деятельность называют просто наукой, но термину «наука» чаще придается более широкий смысл. Так, наукой называют не только упомянутую деятельность, но и результат такой деятельности, т. е. сумму знаний, полученных к данному моменту. Этот же термин может использоваться и для обозначения отдельных отраслей научного знания, например, науками называют математику, физику, химию, биологию, историю и т. д.

В настоящее время наука (и как деятельность, и как сумма знаний) выполняет две функции.

Во-первых, она является *частью общечеловеческой культуры*, ибо в значительной мере определяет мировоззрение людей каждой эпохи и удовлетворяет их духовные потребности в познании окружающей жизни. Стремление глубже понять окружающий мир и действовать в соответствии с достигаемым пониманием является неотъемлемой частью человеческого сознания. Именно таким сделала человека длительная эволюция его развития. Естественно, что каждая историческая эпоха характеризуется своими, все более достоверными представлениями об окружающей действительности. Если вообразить, что человек античной эпохи появился бы в современном мире, то не вызывает сомнений, что его понимание окружающего мира существенно отличалось бы от нашего, соответственно

отличались бы и его действия. Например, опасные природные явления он бы, безусловно, понимал как проявление недовольства богов, которых нужно задобрить, принося им различные жертвы. Соответствующим образом он бы стремился и действовать. По-видимому, через тысячелетия нашим далеким потомкам будут казаться такими же примитивными взгляды и действия наших современников (людей XX–XXI вв.), а еще через тысячелетия взгляды этих потомков тоже станут восприниматься как нечто наивное, и т. д.

Во-вторых, наука является *производительной силой общества*, ибо она определяет технический уровень материального производства. Коренные изменения в образе жизни людей, произошедшие за последние тысячелетия и особенно за последние 200...300 лет, хорошо иллюстрируют именно эту особенность науки. Все, чем пользуется современный человек, — здания, сооружения, средства передачи и хранения информации, транспорт, медицина, продукты питания, одежда и т. д. — базируется на достижениях науки. Как выражался американский физик Э. Теллер, «то, что сегодня наука, — завтра техника». По мере развития общества такое качество науки проявляется со все возрастающей полнотой.

Швейцарский инженер и писатель Густав Эйхельберг в своей книге, вышедшей в середине XX в., в образной форме описал изменения, происшедшие в человеческом обществе за последние 0,6 миллиона лет, в виде впечатлений воображаемого бегуна на 60 км. Каждый километр такой дистанции соответствует 10 тысячам лет. На большей части пути бегун видит одни девственные леса, и только после 40...50 км появляются первые признаки культуры: орудия первобытного человека, наскальные рисунки. На последних полутора километрах воображаемый бегун встречает первых земледельцев. Осталось 300 метров до финиша: дорога из каменных плит ведет мимо египетских пирамид и древнеримских укреплений. До финиша 100 метров: бегун видит средневековые городские строения, замки. До финиша остается 50 метров: здесь бегун может встретить гениев эпохи Возрождения, таких как

Леонардо да Винчи. До финиша всего 10 метров, а бегун все еще бежит при свете факелов и масляных ламп. Еще 5 метров пути, и совершается чудо — электрический свет освещает дорогу, на смену экипажам являются автомобили. Слышен шум самолетов. Лес заводских труб. Табло ЭВМ отсчитывает сотые доли секунды. На финише бегуна встречают ослепительные вспышки юпитеров, репортеры радио и телевидения.

Со времени написания этого отрывка до подготовки настоящего пособия прошло лишь полвека, но техническая оснащенность общества настолько возросла, что образы современности Г. Эйхельберга уже кажутся наивными.

Последние десятилетия наблюдается тенденция сращивания науки с производством: создаются научно-производственные объединения, разрабатываются целевые программы с участием научных и производственных организаций, заключаются долгосрочные договоры научных и производственных организаций и т. д.

На научные исследования развитые страны расходуют значительные средства, ежегодно исчисляемые миллиардами долларов. Исследования во всем мире проводят специализированные научные учреждения или вузы. Практически во всех крупных зарубежных фирмах имеются свои группы исследователей или целые научно-исследовательские институты. Ведущую роль в зарубежной науке играют обычно вузы. В нашей стране, в силу сложившейся традиции (со времен Петра I), основная научная деятельность сосредоточена в научных учреждениях (в настоящее время называемых научно-исследовательскими институтами — НИИ), которые, как правило, лучше вузов оснащены оборудованием и располагают большими организационно-экономическими возможностями для исследований.

Продолжительность выполнения крупных научно-технических программ обычно составляет 5...10 лет, мелких — 1...2 года.

Доля научных работников в общей численности населения сильно возросла за последние три столетия, особенно в XX в. Согласно оценкам специалистов, во второй

половине XX в. число научных работников составляло примерно 90% от числа всех ученых, живших на Земле последние 2,5 тысячи лет. В развитых странах доля ученых и инженеров, занятых в науке, составляет 0,15...0,5% от населения страны. В бывшем СССР эта доля достигала 0,6%, в настоящее время в России — примерно 0,3...0,35%. К сожалению, российские ученые, занятые в прикладных науках, пока вынуждены заниматься преимущественно практической деятельностью (оказанием различных услуг в решении текущих вопросов), наука в их работе составляет 5...10%. Однако это явление временное, ибо оно связано с социально-экономическими потрясениями, происходившими в стране в 1990-е годы.

1.2. КЛАССИФИКАЦИИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В зависимости от преобладания познавательной или утилитарной (практической) направленности решаемых вопросов научные исследования (науки) разделяются на три категории, показанные на рис. 1.1.

К *фундаментальным* относятся исследования (науки), результаты которых служат основой для других наук прикладного направления, т. е. они направлены на познание, на правильное понимание окружающего мира без привязки результатов к решению конкретных практических за-



Рис. 1.1

Классификация исследований (наук) по преобладанию познавательной или утилитарной направленности решаемых вопросов

дач. К таковым относятся, например, исследования в области математики, физики, химии, биологии и др.

К *прикладным* относятся исследования (науки), направленные на поиск новых, более эффективных методов решения различных практических задач. Как правило, такие исследования основываются на результатах фундаментальных исследований. В них всегда присутствует познавательный элемент, но он не является преобладающим, ибо представляет не цель, а средство решения конкретных задач в той или иной сфере практической деятельности. Значительное место в них может занимать изобретательская деятельность. К таковым относятся, например:

- технические науки, включающие как общетехнические дисциплины (сопротивление материалов, гидравлика, теория механизмов и машин и т. д.), так и отраслевые (относящиеся к строительству, машиностроению, авиации, электронике и т. д.);
- медицинские науки (анатомия, физиология, терапия, кардиология, хирургия, санитария и т. д.);
- сельскохозяйственные (агронимия, животноводство, ветеринария, экономика сельского хозяйства, лесное хозяйство и т. д.) и многие другие науки.

К *разработкам* относится наиболее практическая часть научно-технической деятельности, в которой ищутся не принципы и способы решения практических задач, а непосредственно решаются такие задачи. Это создание новых технологий, новых машин и механизмов, новых компьютерных программ, новых средств и способов лечения и т. д. Разработки, как правило, основываются на результатах прикладных исследований и всегда включают решения множества практических задач, не относящихся к научным исследованиям (стандартные расчеты, конструирование и т. д.). Обычно в них большое место занимает изобретательская деятельность.

Наиболее важная особенность разработок состоит в том, что они приносят непосредственный *экономический* или *социальный эффект*. Результаты разработок являются товарной продукцией, реализуемой на внутреннем и внешнем рынках по достаточно высоким ценам. В то же

время большинство результатов фундаментальных и прикладных исследований таким товаром не являются и распространяются «бесплатно», путем публикаций в открытой печати и выступлений на симпозиумах (если, конечно, это не засекреченные исследования). Если в том или ином государстве недостаточное внимание уделяется разработкам, то оно обречено на техническое отставание, каким бы высоким ни был уровень его фундаментальных и прикладных исследований. Результаты исследований в таком государстве будут использоваться специалистами других государств-конкурентов, которые получают возможность на основе заимствованных идей проводить свои разработки и получать соответствующий экономический эффект. Государство же, выдвинувшее эти идеи и выполнявшее исследования без необходимых разработок, будет нести только затраты, ничего материально не получая взамен.

По мнению экспертов ЮНЕСКО, в настоящее время наилучшие практические результаты для экономики страны дает следующее соотношение затрат на фундаментальные (Ф), прикладные (П) исследования и разработки (Р):

$$\text{Ф} : \text{П} : \text{Р} \rightarrow 1 : 1,5 : 25,$$

т. е. на разработки следует расходовать примерно 90% средств, выделяемых на инновации. Это обусловлено большими затратами, связанными с выполнением проектно-конструкторских и производственных (заводских) работ, с изготовлением и испытаниями многочисленных опытных образцов и т. д.

Иногда разработки относят не к научной, а к практической деятельности, но с этим можно согласиться лишь частично, ибо разработки могут содержать много новых технических идей, пригодных для последующего применения в других разработках.

Последние годы входит в употребление новый термин «инновации», означающий переход на более высокий технологический уровень производства, выпуск новой продукции, освоение новых форм организации труда, управления, обслуживания. Он охватывает как результаты разработок, так и их внедрение в практику. Соответственно