

Составляя отношение дебита скважины после ГРП к дебиту этой же скважины без ГРП,

для коэффициента эффективности ГРП получаем следующее выражение:

$$\phi = \frac{Q(\text{после ГРП})}{Q(\text{без ГРП})} = \frac{\ln\left(\frac{R}{r_c}\right)}{\frac{\pi}{2} \cdot \frac{K(k) - F(\psi; k)}{K(k')} + \frac{k_1}{k_3} \cdot \ln\left(\frac{a+b}{\ell+w}\right) + \frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{8 \cdot S}{\pi^2}}. \quad (19)$$

Сопоставительные расчеты дебитов скважин с ГРП по формулам (18) и [2, 3] выявили, что максимальные относительные расхождения не превышают 3-5%. В то же время в вычислительном плане формула (18) для практики предпочтительнее, так как она имеет более простую программную реализацию.

На практике формулы (18) и (19) позволяют рассчитать прогнозный дебит скважины, на которой планируется проведение операции гидроразрыва пласта, и, в конечном итоге, оценить ожидаемую технико-экономическую эффективность от проведения ГРП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология проектирования гидроразрыва пласта как элемента системы разработки газоконденсатных месторождений / О.П. Андреев [и др.]. – М.: ООО «Газпром экспо», 2009. – 183 с.
2. Кадет В.В., Селяков В.И. Фильтрация флюида в среде, содержащей эллиптическую трещину гидроразрыва // Изв. вузов. Нефть и газ. – 1988. – № 5. – С. 54-60.
3. Каневская Р.Д., Кац Р.М. Аналитические решения задач о притоке жидкости к скважине с вертикальной трещиной гидроразрыва и их использование в численных моделях фильтрации // Изв. РАН. МЖГ. – 1996. – № 6. – С. 59-80.
4. Производительность скважин. Руководство Хеманта Мукерджи. – М.: 2001.
5. Басниев К.С., Дмитриев Н.М., Розенберг Г.Д. Нефтегазовая гидромеханика. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. – 480 с.
6. Иоссель Ю.Я., Кочанов Э.С., Струнских М.Г. Расчет электрической емкости. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 288 с.

РАЗВИТИЕ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОГО ПОДХОДА К ПРИМЕНЕНИЮ МЕТОДА ЯДЕРНОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА (ЯМР)

Кашаев Р.С.

*ГОУ ВПО Казанский государственный
энергетический университет,
Российская Федерация,
Республика Татарстан
(420107, г. Казань, ул. Красносельская, 51)
kashaev2007@yandex.ru*

Ключевые слова: ядерный магнитный резонанс, междисциплинарный, образовательный

SCIENCE AND EDUCATION DEVELOPMENT ON THE BASE OF INTERDISCIPLINARY APPROACH TO USE OF FUNDAMENTAL AND UNIVERSAL METHOD OF NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE (NMR)

Kashaev R.S.-H.

*Kazan State Power Engineering University,
Russian Federation, Republic of Tatarstan
(420107, Kazan, Krasnoselskaya str, 51)
kashaev2007@yandex.ru*

Key words: nuclear magnetic resonance, interdisciplinary, educational

Возможно, данные тезисы покажутся кому-то спорными, но я хочу защитить положение о том, что в силу фундаментальности явления и универсальных возможностей ядерного магнитного резонанса (ЯМР) для анализа вещества, дан-

ный метод может быть принят как объединяющий разные науки в едином междисциплинарном подходе к анализу вещества и явлений естествознания. Его возможно использовать и в качестве образовательной дисциплины для формирования образовательных технологий, позволяющих заложить базовые знания по физике, химии, медицине, биологии, технологии и экологии.

ЯМР является методом, базирующимся на фундаментальных представлениях о строении вещества ядра через квантовомеханическое понятие спина ядра и поэтому несет базовую информацию о строении вещества, не скрытую морфологией. Метод основан на свойстве ядер атомов элементов (им присущ магнитный момент μ , связанный со спином), поглощать кванты энергии при электромагнитном облучении на резонансной частоте в постоянном магнитном поле H_0 , где магнитные моменты μ ядер образуют суммарную намагниченность M . После воздействия на образец импульсом или серией радиочастотных импульсов намагниченность M можно повернуть, например, на угол 90° , а затем наблюдать процесс ее возвращения вдоль направления H_0 (восстановления намагниченности) по спаду самоиндукции (ССИ), наводимой в катушке датчика. Этот сигнал можно подвергнуть преобразованию Фурье в спектр, тогда получим спектр ЯМР высокого разрешения, но можно определять только параметры восстановления (релаксации) после детектирования – это ЯМР-релаксометрия (ЯМРР). Ядра можно облучать сериями импульсов разной длительности и фазы, и тем самым манипулировать вектором намагниченности M как нам хочется, а по параметрам ССИ наблюдать его взаимодействие с ядрами вещества. Намагниченность ядер в разных фазах, отличающихся плотностью, молекулярным строением и подвижностью, в зависимости от окружения будет восстанавливаться с индивидуальной постоянной времени (временем релаксации), а амплитуды сигналов характеризуют концентрации этих ядер. ЯМРР дает информацию о более, чем 10-ти молекулярно-динамических параметрах, связанных с физико-химическими свойствами исследуемого вещества. ЯМР на ядрах водорода, протонах – наиболее важная область применения ЯМР, поскольку водород самый распространенный элемент в природе и содержится везде – в составе человеческих органов, органике, воде, земной породе и полезных ископаемых. В образовательном процессе использование ЯМР позволяет получать навыки разработки электронной аппаратуры, при описании явления это дает базовые знания по классической и квантовой физике, обработ-

ка данных использует современные математические приемы, а интерпретация полученных результатов неизбежно требует привлечения данных по молекулярной, химической и биологической структуре в зависимости от объекта исследования.

Аппаратурное и технологическое обеспечение метода достаточно развито, о чем свидетельствуют широко применяемые в медицине ЯМР-томографы и ЯМР-спектрометры в научных исследованиях. Но лабораторные малогабаритные варианты аппаратуры ядерной магнитной резонансной релаксометрии (ЯМРР), обладают не менее впечатляющими возможностями. В ЯМРР измеряется не весь спектр (в котором часто нет особой необходимости), а конкретный, наиболее информативный ЯМРР-параметр. Это дает колоссальную экономию времени и ресурсов и позволяет использовать ЯМРР-релаксометр в качестве мобильного экспресс-анализатора в самых разных отраслях промышленности, науке и техники, жизнеобеспечения человека и охране окружающей среды. Но у нас в стране на крупных КБ релаксометры не производятся, зато за рубежом есть не менее полудюжины фирм, реализующих данную аппаратуру. Есть даже наборы блоков ЯМР-спектрометров, которые в ходе учебного процесса можно собрать по отверточной технологии.

С целью показать наш российский научный потенциал и упущенные возможности обратимся немного к истории. Ядерный магнитный и электронный парамагнитный резонанс (ЭПР) были открыты в 1941 и 1944 гг. Евгением Константиновичем Завойским в Казанском университете. Приоритет открытия ЭПР общепризнан за Е.К. Завойским, он удостоился Ленинской и Государственных премий, стал академиком. Но открытие ЯМР признано за американскими учеными, возглавляемыми Парселлом и Хансеном, подробно описавшими явление в 1946 г. в журнале *Phys. Review*, за что были удостоены Нобелевской премии. Завойский же данные по ЯМР опубликовать не успел – началась война.

Если говорить об отдельном регионе, то Казанская земля известна своими открытиями – это «намоленное» место для ученых, видимо потому, что здесь располагается старейший (открыт в 1804 г.) после МГУ университет России. Здесь стали учеными: хирург А.А. Вишневецкий, психиатр В.М. Бехтерев, геометр Н.И. Лобачевский, создатель органической химии А.М. Бутлеров, над производством бездымного пороха в г. Бондюга (Казанской губ.) работал Д.И. Менделеев. Физик-астроном И.М. Симонов, участник кругосветки Лазарева и Крузенштерна соз-

дал первую магнитную обсерваторию, химик К.К. Клаус открыл химический элемент Рутений, названный в честь России. Именно сюда, в Казань, обладающую мощной научной базой, в 1941 г. эвакуировалась АН СССР и авиапромышленность. Здесь над ядерным проектом работали И.В. Курчатов и А.П. Александров. Над составом брони танка Т-34 – Н.Т. Гудцов и А.М. Бочвар. П.Л. Капица создал установку для получения жидкого кислорода, по размагничиванию кораблей – А.Ф. Иоффе, И.В. Курчатов, А.Н. Крылов и А.Н. Александров. По радиолокации – Н.Д. Папалекси. Исследованием порохов для снарядов «Катюш», производимых на Казанском пороховом заводе, занимался Ю.Б. Харитон. Над реактивными двигателями и новыми самолетами здесь работали – В.П. Глушко и С.П. Королев, В.М. Петляков, А.Н. Туполев. На базе технических и научных достижений в Татарии производилось свыше 600 наименований оружия, в том числе бомбардировщики Пе-2 (выпущено свыше 10 тыс. экз., по 13-14 экз. в день), лучшие тяжелые бомбардировщики второй мировой войны Пе-8.

Казанские радиоспектроскописты внесли свой вклад и в создание лазеров. В 1947 г. лейтенантом, демобилизовавшимся из ВВС, замкомэскадрильи по радиолокации младшим научным сотрудником Кашаевым С.-Х.Г., было изготовлено две установки ЭПР на разные частоты, исследован рубин и установлена структура его энергетических уровней [1]. В отзыве М.И. Корнфельда, его оппонента писалось: «... диссертация посвящена исследованию тонкой и сверхтонкой структуры в рубине и изумруде... наблюдается тонкая и сверхтонкая структура спектра, установлен факт анизотропии сверхтонкой структуры, открыто влияние оптического возбуждения на магнитный спектр». Академик К.А. Валеев писал: «Исследования ... на кристаллах рубина привели к практическому осуществлению идеи о молекулярных генераторах... построенных на кристаллах рубина, изучение которых методом магнитного резонанса было начато в Казани молодыми физиками Кашаевым С.-Х.Г., Зариповым М.М., Шамониным Ю.Я. В дальнейшем по аналогии с лазерами, были построены лазеры». В 1955 г. Н.Г. Басовым и А.М. Прохоровым и независимо Ч. Таунсом в США разработан генератор квантов электромагнитного излучения, за что они получили Нобелевскую премию. В 1960 г., Мейманом запущен лазер на кристаллах рубина. Я привожу эти факты для того, чтобы показать потенциальные наших ученых к фундаментальным открытиям и возможности метода магнит-

ного резонанса, которые, однако, не доводились до коммерческой реализации (особенно в провинции) и не были признаны мировым научным сообществом. Мы можем генерировать идеи, но для доведения идеи до конца у нас недостаточно ни средств, ни защиты авторских прав, ни инфраструктуры фирм-производителей, готовых и способных реализовать идею и получать прибыль. Нужен синергетический эффект воздействия науки, технологии, промышленности и еще одного незаменимого компонента – малых форм научно-технического предпринимательства, как наиболее легкого на подъем бизнеса. И все получится. Вот пример. В 1961 г. в Казани был разработан и на базе ТатСовнархоза изготовлены первые промышленные ЯМР-релаксометры, однако запал хватило только на малую серию. И вот уже в 1963 г. немецкая фирма «Bruker» выпустила серийный релаксометр ЯМР Minispec. И опять мы оказались в роли догоняющих. Так началась «гонка» по разработке аппаратуры ЯМР. Всем известны ЯМР-томографы, широко применяемые в медицине. В 2003 г. в научном сообществе разгорелся скандал – американский физик Р.Дамадьян заявил, что именно он и есть настоящий изобретатель создатель ЯМР-томографа, но Нобелевская премия 2003 г. была присуждена П.Лаутербуру и П. Мэнсфилду. А ведь это открытие принадлежит нашему отечественному физическому лейтенанту Советской Армии 24-х летнему Владиславу Александровичу Иванову, ныне профессору, д.т.н., зав. каф. измерительных технологий и компьютерной томографии, который подал заявку на Авт. Свидетельство еще в 1960 г., на 13 лет раньше П. Лаутербура. Я сам в 1971 году, будучи аспирантом, читал его заявку на Открытие, присланную для экспертизы в наш Казанский физтех. Его изобретение не было тогда реализовано, зато уже в 1973 г. появились первые зарубежные ЯМР-томографы. В нем принцип визуализации внутренних органов основан на том, что ткани, пораженные раком, обладают отличающимися от здоровых временами релаксации T₂. Но это сложные и дорогостоящие приборы, а между тем T₂ могут быть определены в десятки раз более дешевыми ЯМР-релаксометрами из анализа жидких компонентов организма человека (крови, мочи) и образцов тканей. От состояния крови зависит T₂, меняющееся при болезни. Данный факт я проверил на себе. В результате появилась наша с врачами статья о диагностике методом ЯМРР стадии заболевания [2].

Анализаторы на основе ЯМРР находят применение для исследования молекулярных структур, структурно-динамических и физико-

химических свойств жидких и твердых веществ, в качестве универсальных технологических датчиков в медицине и экологии, нефтяной, химической, пищевой, авиационной и военной промышленности, в энергетике, гражданском и дорожном строительстве. Они могут заменить большую часть существующих первичных датчиков в силу универсальности, неконтактности, многопараметричности и неразрушающих методик. Метод ЯМР не требует подготовки образца и использования химических реактивов. Время анализа составляет несколько минут. Мне кажется, именно мульти- и междисциплинарная основа метода ЯМР обеспечили синергетический эффект его развития и применения в самых разных областях науки и техники – от фиксации мыслительных процессов мозга до археологических изысканий, от изучения топливных элементов до определения магнитного поля земли.

С 1989 года нами [3, 4] в «КБ Резонансных комплексов» разработано несколько вариантов лабораторных Релаксометров ЯМР 02-08/РС (всего около 40 экз.) для ОАО «Татнефть», КМПО (авиамоторы), ОАО «НЭФИС», «Таткрахмалпатока», для НИИ (ТатНИПИнефть, Тюменского НИИ НП, Якутского нефт. Инст. СО РАН, для вузов – Иллинойского университета (США), Губкинского Российского Университета, Казанских, Удмуртского и Краснодарского университетов. Каждый раз при изготовлении прибора для его применения приходится разрабатывать методики определения физико-химических параметров по данным ЯМР, математическое и программное обеспечение – и тут используются знания всех областей науки.

В 1991 г. нами был разработан проточный ЯМР-релаксометр [5], способный работать во взрывоопасной зоне и **не имеющий мировых аналогов**. Режим работы – автоматический, время однократного измерения – не более 2 минут. Датчик во взрывоопасной зоне связан с электронным блоком (вне зоны) одним радиочастотным кабелем длиной $\lambda/4$ (около 15 м).

В 2007 г. нами разработан портативный переносной релаксометр ЯМР NP-1. Его технические характеристики в сравнении с ближайшими (лабораторными) аналогами представлены в табл. 1. Зарубежные и отечественные релаксометры (UNIX-ST 500, UNIX Instruments; Minispec pc, Bruker, Германия; MQA 6005, Oxford, Англия; Хроматэк-Протон 20М, Россия) являются лабораторными. **Аналогов** же нашему портативному релаксометру **нет**. Пока нет. Работы выполнялись по госконтракту № 41-61Р/6517 с федеральным «Фондом содействия развитию малых форм предприятий

в научно-технической сфере». Прибор получил золотую медаль на Международном Салоне инноваций в Москве, 2007 и Национальный сертификат качества РАЕ, за что мы, разработчики приносим большую благодарность РАЕ. Что касается республики, то Релаксометр ЯМР NP-1 демонстрировался на Саммите Татарстана в Лондоне и получил Почетную грамоту Министерства промышленности РТ. Но для широкого промышленного производства этой наукоемкой и экспорт замещающей продукции денег не находится. В 2008–2009 гг. нами на собственные средства в своем КБ произведены приборы для Пермского ГУ, Казанского ГУ и Института электроники (г. Гебзе, Турция), еще один – для экофирмы по переработке нефтешламов (Беларусь). Релаксометр защищен 5 патентами Российской Федерации (№ 2319138, № 67719, № 73486, № 74710, № 75046). Экономический эффект от его использования составляет при 200 анализах в день – 2800 тыс. руб./год.

С использованием автоматизированных релаксометров ЯМР РС за 20 лет нами разработаны методики неразрушающего контроля, не требующие реактивов и подготовки образцов.

В **медицине** релаксометры ЯМРР могут быть использованы для диагностики почечной недостаточности и стадии онкозаболеваний по крови и жидким выделениям. У каждого человека имеется свой набор фундаментальных ЯМР-параметров – это своего рода ЯМР-паспорт пациента. Любое заболевание, в том числе и онкологическое, вызывает изменение этих параметров. ЯМР-релаксометр – фактически тот же томограф, но только по дискретному набору наиболее информативных параметров, на которые настраивается прибор, который намного дешевле и меньше.

В **экологии** релаксометры ЯМР применяются для контроля загрязненности нефтепродуктами и солями тяжелых металлов сточных и поверхностных вод и почв, причем верхний предел не ограничен, процесса биоочистки нефтешламов.

В **пищевой промышленности** релаксометры ЯМРР используются для определения: концентрации воды, редуцирующих веществ, протеина, жира, йодного числа, алкоголя, дисперсного распределения капель воды и жира в пищевом сырье и продуктах. Разработаны технологии контроля технологических и биотехнологических процессов: гидрогенизации растительных жиров в ходе производства саломаса и эмульсации.

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) является важнейшим звеном в промышленном потенциале страны, обеспечивая ее энергетическую и оборонную безопасность. Эффектив-

ность использования топлив и нефтепродуктов определяется точностью, быстротой и надежностью определения параметров, от которых зависит принятие решений по предотвращению аварий, оптимизаций технологий переработки УВ и их добычи. Стандартные методы анализа продолжительны и требуют от 5 до 12 часов [6]. Для экспресс-контроля достаточно 2-15 минут, что более, чем в 30 раз сокращает время на принятие решений. Недаром ГосНИИ Минобороны РФ обосновал перечень показателей качества, требующих экспресс-анализа. Это можно реализовать только используя ЯМРР [7-11]. Метод является инструментом управления процессом и предупреждения аварий, а также путь рационального использования природных ресурсов и охраны среды.

Для ТЭК и оборонной промышленности нами разработаны ряд методик измерений: концентрации воды, серы, нефти и воды в кернах, вязкости, плотности и мол. массы нефтепродуктов; группового состава; дисперсного распределения капель воды в эмульсиях; температуры застывания и парафина в дизельном топливе, органического компонента в смесях; качества угольных электродов, состава углей и суспензий; кристалличности полимеров и пластмасс; влажности пороха и компонентного состава сырья для его производства. Как универсальный контрольно-управляющий блок ЯМР-анализатор может быть применен в установках: очистки нефти от серы; отделения и сброса воды на скважине; приготовления топливных эмульсий.

Еще больше возможностей открывается перед ЯМР при его сочетании с другими техническими устройствами, например – лазерами. Мы предложили [12] «разогреть» молекулярные движения высокомолекулярных компонентов и фрагментов, (измерение концентрации которых представляет большие трудности), путем облучения лазером на длине волны их поглощения. Это приводит к увеличению амплитуд молекулярных движений и соответственно селективно к росту времен релаксации на величину ΔT_{2f}^* , что дает возможность измерять их с большей чувствительностью релаксометрами ЯМР. Например, были установлены корреляции между ΔT_{2f}^* и концентрациями асфальтенов, смол и парафинов.

В заключение хочется сказать, что истинная наука всегда универсальна и междисциплинарна, то есть изучает явления на стыке наук и с позиций разных дисциплин и использует это во благо человека. Например, современная медицина использует достижения физики, техники

и компьютерных технологий (томографы, аппараты), фармакологии, химии и биологии. Наша академия носит наименование Академии естествознания, и это правильно – уже название содержит в себе потенциал развития. Только сочетание различных наук создает мощный синергетический эффект и обеспечивает технологический прорыв, формирует условия для развития науки и образования. В Российской Федерации будут сделаны новые открытия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козырев Б.М., Кашаев С.-Х.Г. Резонансное парамагнитное поглощение в кристаллических порошках некоторых солей Cr^{3+} (рубина) и Cu^{2+} // Известия КФАН СССР серия физ.-мат. и техн.наук. – 1950. – №2. – С. 87.
2. Кашаев Р.С., Копылов А.Н., Мухаметзянов И.Ш. и др. Исследование возможности диагностики почечной недостаточности и эффективности гемодиализа методом ЯМР // Нац. конгресс по болезням органов дыхания Всеросс. Общ. пульмонологов. – М.: ВОП, 2002.
3. Идиятуллин З.Ш., Темников А.Н., Кашаев Р.С. Автоматизированный малогабаритный релаксометр ЯМР ПТЭ. – 1992. – №5.
4. Малогабаритные автоматизированные релаксометры ЯМР 002РС и 3Z80 / Р.С. Кашаев [и др.]. – ПТЭ. – 1993. – №1.
5. Kashaev R.S., et al. NMR-analyzer for automatic control of Physical-chemical parameters of crude oil and bitumen / Extended Abstracts. 28-th Congress Ampere. University of Kent in Canterbury. – UK, 1996. – P.295.
6. Кашаев Р.С. Из нефтеотходов – топливные эмульсии. Ресурсоэффективность. – 2007. – №2. – С. 58-61.
7. Кашаев Р.С. Структурно-динамический анализ импульсным методом ЯМР нефтяных дисперсных систем. – Казань: «ГранДан», 1999. – 129 с.
8. Кашаев Р.С. Управляемая от релаксометра ЯМР установка по переработке нефтяных остатков и отходов в топэмульсии // Успехи современного естествознания. – 2007. – №3. – С. 65.
9. Кашаев Р.С. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебное пособие. – Казань: КГЭУ, 2007 – 61 с.
10. Kashaev R.S.-H., I.R.Chairullina. Correlation Between Nuclear Magnetic Resonance Parameters and Physic-Chemical Properties Oil Disperse Systems. Abstracts of the international conference «Modern development of magnetic resonance». – Kazan. – Sept. 24-29, 2007. – P. 176-177.

11. Хайруллина И.Р., Кашаев Р.С. Исследование методом ядерного магнитного резонанса влияния серы на свойства топлив // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. – 2008. – №3-4. – С. 65-77.

12. Kashaev R.S.-H., Gazizov E.G. Effect of irradiation in visible and infrared spectral regions on nuclear magnetic relaxation parameters of protons in oil products. Journal of Applied Spectroscopy. – V. 77 (3). – P. 321-328.

ИНЖЕНЕРНЫЕ НАУКИ НА РУБЕЖЕ ВЕКОВ: СИНТЕЗ И МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНОСТЬ

Крупенин В.Л.

*Учреждение Российской академии наук,
Институт машиноведения
им. А.А. Благонравова РАН,
Москва, Россия*

Не так давно исполнилось триста лет со дня появления на свет великого труда основателя современной физики Исаака Ньютона «Математические начала натуральной философии». Обобщая труды своих великих предшественников, равно как, разумеется, и свои собственные, Ньютон возвел фундамент под той областью человеческого знания, которая ныне именуется физикой. Правда, в те времена физика в основном и состояла из этого фундамента – механики. Но затем пришли великие открытия, на которые и опираются современные знания о Природе. Среди этих знаний, возможно, как-то затушеввалось представление о том, что слово «механика», в переводе с древнегреческого собственно и означает «искусство построения машин». То есть механика первоначально была фундаментом инженерного дела, а потом физики. Гений Ньютона дал возможность взглянуть на науку 17-го века с единых позиций. Затем началось Великое Разобшение: разделы физики создавались, «становились на ноги» и, казалось, начинали жить своей самостоятельной жизнью, однако, теперь видно: пришло «время собирать камни». Инженерные науки впитали в себя огромную часть, казалось бы, ставших далекими друг от друга разделов физики и именно они активно участвуют в осуществлении синтеза знаний, определяя единство науки, по крайней мере, в ее прикладной области и в реальном производстве. Рассмотрим подробнее некоторые конкретные проблемы, стоящие перед современными инженерами.

Проблема «рассчитать». Символами инженерного труда еще недавно представлялись

штангенциркуль и логарифмическая линейка. Штангенциркуль – для измерений, логарифмическая линейка – для расчетов. Расчет и измерение – основа основ техники. Что же такое расчет в современном понимании? Технические объекты, окружающие нас повсюду, – машины, механизмы, разнообразные устройства, аппараты, приборы, приспособления, как правило, достаточно сложны. При их создании конструктор опирается в первую очередь на свой опыт и инженерную интуицию, которая не всегда надежна.

Сегодня основные требования к любой машине – высокие эффективность, производительность, быстродействие, надежность и экономичность. Все эти требования легко сформулировать на словах, но не так легко воплотить «в железе». Современное инженерное дело позволяет синтезировать математические модели технических объектов, а значит, дает возможность заранее установить их свойства, представить себе их достоинства или возможные недостатки, узнать, как настраивать машину в режим максимальной эффективности. Раньше требовалось, например, ответить на вопросы: каковы прочностные качества данной конструкции или узла, какими должны быть параметры механизмов, реализующих заданный тип движения, и т. п., «расчленяющие» единое восприятие сложной системы и часто «вместе с водой выплескивающие и ребенка».

Сегодня техника имеет дело с огромными скоростями и нагрузками. Инженеры стремятся заставить машины работать в форсированных режимах, и это обстоятельство предъявляет к расчетам иные требования. При проектировании машина должна рассматриваться как единая динамическая система «привод (источник энергии) – система управления – исполнительные устройства – внешняя (обрабатываемая) среда». О физически обоснованных принципах организации машин можно говорить, только когда инженер будет знать все параметры этой сложной системы и здесь «задействуется» и классическая, и современная физика, а также некоторые частные «ответвления». Такой подход довольно далеко уводит «механику» от «истоков», но именно так устроен мир!

Требования, которым должны удовлетворять математические модели, сложны и выглядят на первый взгляд достаточно противоречиво. С одной стороны, они должны быть высокоинформативными, т.е. содержать сведения о всех основных подсистемах объекта. С другой – позволять получить результаты достаточно легко интерпретируемые на «технический язык»: модели, «перегруженные» избыточной информацией,