

УДК 519.25 (510+519.24/27)

А.М. Кориков

Эксперимент в научном исследовании

Рассмотрены классификация экспериментов и вопрос о целесообразности использования термина «виртуально-физический эксперимент». Кратко изложены основные положения математической теории эксперимента. Приведены примеры применения теории эксперимента в исследованиях по оптимизации и автоматизации процессов сварки трением и термической обработки режущего инструмента. Предложена многоуровневая классификация экспериментов.

Ключевые слова: эксперимент, классификация экспериментов, теория эксперимента, сварка трением, термическая обработка инструмента, виртуальный эксперимент.

С экспериментом связаны не только научные исследования, но и любая человеческая деятельность. Экспериментирование – неотъемлемый этап всякой целенаправленной деятельности. В интернете и научной литературе можно найти определения и классификации эксперимента как научного метода исследования некоторого явления в управляемых условиях [1]. Если управляемые эксперименты предельно трудны или невозможны, то в этом случае исследователи обращаются к квазиэкспериментам, среди которых широкую известность получили виртуальные эксперименты. На страницах нашего журнала можно ознакомиться также с виртуально-физическими лабораториями, моделями и экспериментами [2]. В этой связи возникает вполне логичный вопрос о целесообразности подобной терминологии и признаках (основаниях) классификации экспериментов. Заметим, что большинство известных классификаций экспериментов являются произвольными. Произвольными в том смысле, что их авторы перечисляют некоторые виды экспериментов, которые являются существенными с точки зрения решаемых задач. Вопросы о принципах выбора признаков (оснований) классификации экспериментов и полноте классификации при этом не ставятся. Однако эти вопросы в профессиональной среде всегда вызывают вполне естественный интерес. Автору данной статьи пришлось однажды вступить в дискуссию по вопросам научной терминологии [3], специализированный журнал проявил интерес к нашей статье и предложил развить дискуссионную тему на своих страницах [4]. Понятие «эксперимент» относится к числу базовых понятий науки и практики. Эксперимент является основой эмпирического подхода к получению знаний, а известный критерий К. Поппера отмечает возможность постановки эксперимента как главного отличия научной теории от псевдонаучной. Понятие «эксперимент» трактуется так широко, многогранно и необъятно, что сразу вспоминается известный афоризм К. Пруткива о том, что нельзя объять необъятное. Попытки осветить некоторые грани этой многогранной темы предпринимались многими авторами. В XX в. произошло становление и развитие теории эксперимента, основные положения которой рассмотрим далее с позиций нашего времени.

Эксперимент и математика. Ушли в прошлое времена, когда экспериментаторы могли себе позволить изучать только сравнительно простые объекты и способы проведения эксперимента были достаточно просты, а роль математики сводилась к обработке результатов эксперимента. Сейчас все больше приходится иметь дело со сложными системами. Возникающие при этом задачи можно условно разделить на формализуемые и неформализуемые. Постановка любой задачи заключается в том, чтобы перевести ее словесное, вербальное описание в формальное. В случае относительно простых задач такой переход осуществляется в сознании (естественном интеллекте (ЕИ)) человека. Если полученная формальная модель (математическая зависимость между величинами в виде формулы, уравнения, системы уравнений) опирается на фундаментальный закон или подтверждается экспериментом, то этим доказывается ее адекватность отображаемой ситуации, и модель рекомендуется для решения задач соответствующего класса [5]. Неформализуемые задачи (НФ-задачи) невозможно представить, используя только ЕИ человека, в виде каких-то формальных моделей. С развитием нашей цивилизации количество таких научных и технических НФ-задач постоянно растет. Для решения НФ-задач в различных областях науки и техники развиваются специальные приемы и методы, обобщенные в теории систем и системном анализе [5], создаются экспертные системы – интеллектуальные системы, основанные на знаниях [6]. Решение НФ-задач осложняется различны-

ми видами не-факторов знаний [6]: неопределенность, нечеткость, неточность, недоопределенность и неполнота знаний эксперта (исследователя) о свойствах проблемной области. Роль эксперимента, математических и компьютерных методов в решении НФ-задач трудно переоценить. В науковедении определили, что стоимость научных исследований возрастает пропорционально n^2 , где n – число всех ученых, принимающих участие в исследовании, а количество выдаваемого ими «научного продукта» растет лишь пропорционально \sqrt{n} . Темп роста финансирования научных исследований может только снижаться, поэтому необходимо повышение эффективности исследований и, следовательно, необходима оптимизация эксперимента [7]. В ТИАСУРе (ныне ТУСУР) учебный курс по планированию оптимального эксперимента – математической теории эксперимента начал читаться в 1972 г. [8]. В те же годы автором данной статьи совместно с сотрудниками ТПИ (ныне НИ ТПУ – Национальный исследовательский Томский политехнический университет) и ТЗРИ (Томский завод режущих инструментов, ныне группа компаний «Томский инструмент») на основе математической теории эксперимента были проведены исследования по оптимизации и автоматизации процессов сварки трением и термической обработки режущего инструмента [9–17]. Под планированием эксперимента понимается выбор числа опытов и условий их проведения, необходимых для решения поставленной задачи с требуемой точностью. Выделяют следующие этапы планирования эксперимента [7, 8]:

- 1) сбор и анализ априорной информации;
- 2) выбор входных и выходных переменных, области экспериментирования;
- 3) определение математической модели для представления экспериментальных данных;
- 4) выбор критерия оптимальности и плана эксперимента;
- 5) определение метода анализа данных;
- 6) проведение эксперимента;
- 7) проверка статистических гипотез для полученных экспериментальных данных;
- 8) обработка результатов эксперимента;
- 9) интерпретация результатов эксперимента и рекомендации.

Рассмотрим на примерах из наших работ [9–17] основные положения теории эксперимента.

Характеристика процесса сварки трением и механизм образования неразъемного соединения. Формирование соединения при сварке трением имеет некоторые особенности [13, 16]. В начальной стадии процесса трения температура в зоне контакта распределяется неравномерно по сечению. В центре, на оси вращения, температура минимальная. Максимум ее находится на расстоянии, равном половине радиуса заготовки. Здесь возникают первые очаги схватывания. Температура в стыке выравнивается через 2–5 с и очаги схватывания покрывают всю поверхность. Это происходит как за счет теплопроводности, так и за счет перераспределения в процессе трения удельного давления и мощности тепловыделения [13, 16]. С момента возникновения первых очагов схватывания осуществляется намазывание быстрорежущей стали на конструкционную. Намазывается материал заготовки, который имеет более низкую температуру в зоне трения. На конечной стадии нагрева трущейся парой становится быстрорежущая сталь + быстрорежущая сталь, налипшая на хвостовик. В стадии проковки образуется неразъемное соединение этих пар сталей. Соединения образуются в твердой фазе, а монолитность соединения обеспечивается межатомными и межмолекулярными связями, в основном химическими, между соединяемыми сплавами на поверхности контакта [13, 16]. Образование соединения идет в три стадии: возникновение физического контакта соединяемых поверхностей; активация частиц контактирующих поверхностей; объемное взаимодействие с образованием прочных химических связей.

Основные параметры режима сварки трением. Установлено [13, 16], что основными параметрами режима сварки трением заготовок режущего инструмента являются: давление нагрева, давление проковки, время нагрева, время проковки, скорость относительного вращения. Схемы изменения давления нагрева и проковки, скорости относительного вращения во времени приведены в работах [13, 16]. Обозначим перечисленные пять параметров (факторов) через x_i , $i=1, 2, 3, 4, 5$ соответственно и дадим краткую характеристику названных параметров.

Давление нагрева и скорость относительного вращения. Эти параметры оказывают значительное влияние на температурный режим в стыке и величину припуска на сварку. Мощность тепловыделения и припуск на сварку зависят от их произведения. При этом при высоких скоростях и низких удельных давлениях припуск на сварку уменьшается.

Время нагрева. Этот параметр определяет длительность нагрева поверхностей до сварочных температур. В течение нескольких секунд торцы заготовок нагреваются до 1125–1350 °С при определенных значениях давления нагрева и скорости относительного вращения. Температуру нагрева при сварке трением можно определить экспериментально с помощью термопары и расчетным методом [12].

Давление и время проковки. В стадии проковки происходит образование неразъемного соединения. Давление и время проковки выбираются с учетом пластичности и сопротивляемости металла деформации. Последние зависят от температуры, схемы деформирования, степени и скорости деформации.

Режимы сварки трением, критерий оптимальности и план эксперимента. Технологические режимы сварки трением некоторых марок быстрорежущих сталей по данным различных исследователей приведены в [9, 13, 16]. Анализ этих и производственных данных показывает, что не существует единого мнения об оптимальных режимах сварки трением быстрорежущих сталей с конструкционными. Поэтому в [9] рассмотрена задача выбора оптимальных режимов сварки трением быстрорежущей стали Р6М5 со сталью 45 с использованием методов планирования экстремальных экспериментов и закономерностей изменения структуры и свойств сварных соединений. В качестве критерия оптимальности – параметра оптимизации y была принята механическая прочность сварного соединения на кручение. Область экспериментирования определена в [9, 13, 16]. Для описания этой области уравнением второго порядка был реализован центральный композиционный ротативный равномерный план второго порядка [7, 8]. Подробное описание результатов проведенного эксперимента и статистической обработки этих результатов дано в [9, 13, 16]. Отметим лишь, что в исследованной области факторного пространства механическая прочность сварного соединения на кручение $y = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$ постоянна и намного превышает допустимый предел прочности на кручение.

Прочность на кручение, принятая в качестве параметра оптимизации, зависит прежде всего от структуры и свойств материала сварного соединения. Металлографический анализ стыка позволяет объяснить физический смысл полученных результатов. Прочность определялась на отожженных образцах, а при отжиге сварных заготовок инструмента в стали 45 у стыка образуется ферритная прослойка.

Прослойка имеет более низкие механические характеристики и определяет прочность сварного соединения на кручение независимо от исследованных режимов сварки трением. В работе [11] изучено влияние режимов сварки трением и термической обработки на свойства и структуру сварных заготовок сталей: Р12+45, Р9К5+45, Р6М5К5+45, Р8М3К6С+45, Р9М4К8Ф+45. Была выдвинута гипотеза о постоянстве параметра оптимизации в исследованной области факторного пространства с доверительной вероятностью 0,95. Для проверки гипотезы в этой области поставлен симплексный план, являющийся насыщенным планом первого порядка. Основные результаты работы [11], полученные для перечисленных быстрорежущих сталей, соответствуют результатам работы [9].

Структура и свойства сварных соединений, технология сварки трением. В изломах сварных заготовок, полученных сваркой трением, можно обнаружить блестящие полосы скольжения. Это одна из основных особенностей этого способа сварки. Природа блестящих полос скольжения рассматривается в работах [10, 18].

Особую важность представляет вопрос о влиянии блестящих полос скольжения на прочность сварного соединения. При этом необходимо выяснить: являются ли место расположения вскрывшихся блестящих полос скольжения и величина их площади причиной брака сварного соединения, т.е. приводят ли они к понижению прочности сварного соединения ниже допустимого предела; зависит ли прочность сварного соединения от места расположения вскрывшихся блестящих полос скольжения и величины их площади. В работе [18] на эти вопросы дается положительный ответ и на этой основе формулируются критерии для определения брака сварного соединения. Однако наше исследование [10] не подтвердило выводы работы [18]. Раскроем суть нашего исследования [10], проведенного на ТЗРИ. Для проверки отмеченных выше гипотез на ТЗРИ проводилось наблюдение за сваренными заготовками диаметром 16 мм для фрезерованных сверл. Было сварено трением 191888 шт. из сталей Р6М5 и 45. Следует отметить, что брак по лому в этой партии составил 619 шт. Одной из характерных особенностей изломов заготовок, сваренных трением, является наличие блестящих полос скольжения. Относительная частота выявления блестящих полос скольжения в ука-

занных сварных заготовках на ТЗРИ составила 0,32%. Однако анализ изломов сварных заготовок в количестве 30 шт. (качественная сварка на режимах ТЗРИ) с предварительным надрезом шва наждачным кругом показал, что во всех изломах имеются блестящие полосы скольжения. Кроме этого, были проведены испытания на изгиб 27 сварных образцов на машине ГСМ-50 при нагрузке 10 тс (качественная сварка на режимах ТЗРИ) диаметром 15,8 мм из сталей Р6М5 и 45. Обработка результатов этого эксперимента проводилась методом дисперсионного анализа. Вначале исследовался фактор – влияние площади вскрывшихся блестящих полос на поверхности излома (фактор А) на прочность сварного соединения при испытании на изгиб [10]. В данном случае фактор А изменяется на пяти уровнях: первый уровень – блестящие полосы занимают 30% и более площади излома; второй уровень – блестящие полосы занимают от 10 до 30% площади излома; третий уровень – блестящие полосы занимают от 5 до 10% площади излома; четвертый уровень – блестящие полосы занимают менее 5% площади излома; пятый уровень – отсутствие блестящих полос скольжения, или, точнее, в изломах этих заготовок блестящие полосы скольжения не наблюдаются визуально. В [18] утверждается, что 1, 2 и 3-й уровни являются признаками брака, 4-й уровень является признаком удовлетворительного качества, а 5-й уровень является признаком хорошего качества сварки.

Результаты проведенного нами дисперсионного анализа изложены в [10, 13, 16]. Установлено, что прочность на изгиб сварного соединения на всех пяти уровнях фактора А одинакова, и эта прочность приблизительно в десять раз больше, чем допустимый предел прочности на изгиб стали 45 [13, 16], поэтому можно утверждать: вскрывшиеся блестящие полосы скольжения не являются причиной брака сварных заготовок инструмента. Было проведено также исследование по другому признаку – наличию блестящих полос в центральной области излома или по наличию их на периферии излома, а на некоторых образцах – как на периферии излома, так и в центральной области. Этот признак назовем кратко фактором В. Первый уровень этого фактора соответствует наличию блестящих полос только в центральной области излома, а второй уровень – наличию блестящих полос скольжения с выходом на периферию излома. Из рассмотрения изломов при испытании на изгиб следует утверждение о том, что вскрытие блестящих полос с выходом на периферию при испытании на изгиб свидетельствует о более низкой прочности сварного соединения, чем вскрытие блестящих полос только в центральной области излома. Однако эта прочность значительно больше, чем допустимый предел прочности на изгиб стали 45 [10, 13, 16]. Следовательно, место расположения вскрывшихся блестящих полос скольжения также не является причиной брака сварных заготовок.

Об интерпретации результатов эксперимента и рекомендациях. При интерпретации результатов эксперимента важна роль каждого члена коллектива исследователей как экспертов. В интерпретации результатов описываемого эксперимента неопределима роль моих соавторов – сотрудников ТПИ (ныне ТПУ) А.Н. Добровидова, Ю.А. Евтюшкина и В.И. Егорова. Отмеченное выше понижение прочности они объясняют наличием концентраторов напряжений на поверхности образца, возникших в результате механической обработки, термической обработки или деформации металла при сварке [10, 13, 16]. Структура сварного соединения быстрорежущей стали и стали 45, охлажденного после сварки на воздухе, неоднородна. В быстрорежущей стали в непосредственной близости к плоскости стыка находится зона со структурой мартенсита, остаточного аустенита и карбидов. На некотором расстоянии от стыка, где температура во время сварки была ниже, образовалась троостомартенситная структура. Карбидная неоднородность сохранилась и в этой зоне. При этом в результате пластической деформации карбиды вытянулись вдоль стыка и сблизались между собой. Структура троостомартенсита переходит в сорбитообразный перлит основного металла с карбидными строчками вдоль оси образца. Структура стали 45 у стыка – троостит. Далее следует переходный слой, состоящий из феррита и мелкодисперсного перлита (почти сорбита). Основная структура стали 45 состоит из пластинчатого перлита и феррита.

В отожженных образцах обнаружена структурная и химическая неоднородность по углероду [9, 13, 16]. Углерод из стали 45 диффундирует в быстрорежущую сталь, и непосредственно у стыка в стали 45 получается зона полного обезуглероживания (структура чистого феррита). Кобальт в быстрорежущей стали препятствует диффузии углерода из конструкционной стали в высоколегированную [11]. Испытания на микротвердость, кручение и работоспособность показали, что наиболее слабым местом в сварных заготовках концевой режущего инструмента является зона полного обезуглероживания в стали 45 [9]. При этом прочность на кручение сварных заготовок (после отжига) на 15–20% ниже прочности стали 45.

Итак, сварка трением и инерционная сварка являются перспективными способами соединения быстрорежущей стали с конструкционной. Для производства оказались эффективными работы по автоматизации экспериментальных исследований процессов сварки на основе всестороннего использования современной математической теории эксперимента и вычислительной техники, разработка и внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами сварки. Основные положения теории эксперимента рассмотрены на примерах из наших работ [9–17], выполненных еще в прошлом веке, однако рационально поставленный эксперимент и корректно обработанные результаты эксперимента сохраняют свою научную значимость и в нашем веке, что подтверждает, в частности, защита соавтором нашей работы [17] В.В. Иванайским в 2013 г. докторской диссертации [19], в которой использованы и получили развитие наши совместные результаты из [17]. Из этого факта следует, что результаты работы [17] и в наше время сохраняют свою актуальность и научную значимость. Рассмотренные примеры относятся к инженерным экспериментам. Роль математики в инженерном эксперименте, как и других видах экспериментов, невозможно переоценить. Этот тезис подтверждается уже цитированными работами, особенно книгой В.В. Налимова [7]. Число работ по этой теме велико, среди них выделим книгу академика Н.Н. Моисеева [20].

Выводы. Математическая теория эксперимента используется в самых разных областях экспериментирования, библиография по этой теме насчитывает десятки тысяч работ, основанных на идеях и методах, которые изложены в [7, 8] и отмечены выше. Сегодняшние реальные трудности экспериментирования те же, что и прежде, а главной проблемой по-прежнему остается неадекватность модели. Неадекватность может объясняться несовершенством методики эксперимента, неудачным выбором модели, нарушением исходных предпосылок статистического анализа, а также тем, что не учтены некоторые важные факторы, допущены методические погрешности и ошибки.

Выше было отмечено, что известные классификации экспериментов являются произвольными и возникает вопрос о целесообразности использования термина «виртуально-физический эксперимент». Какое место этот эксперимент занимает в классификации экспериментов? Рассмотрим возможные признаки (основания) классификации экспериментов и уровни классификации, используя сложившиеся к настоящему времени традиции. В качестве оснований 1-го уровня классификации логично использовать виды человеческой деятельности: научная деятельность, производственная деятельность и т.д. Тогда на 1-м уровне классификации следует расположить следующие классы (виды) эксперимента: научный эксперимент, производственный эксперимент, следственный эксперимент и т.д. В данной статье нас интересует только научный эксперимент, поэтому 2-й уровень классификации распишем только для научного эксперимента, и на этом уровне вполне логично использовать в качестве оснований классификации эксперимента общепринятые наименования научных направлений (отраслей науки): физика, химия, биология, социология, психология, педагогика, технические (инженерные) науки, информатика (компьютерные науки) и т.д. Следовательно, на этом уровне с необходимостью появятся следующие виды эксперимента: физический эксперимент, химический эксперимент, биологический эксперимент, социальный эксперимент, психологический эксперимент, педагогический эксперимент, инженерный эксперимент, компьютерный эксперимент и т.д. Аналогично можно ввести 3-й уровень классификации, используя в качестве оснований классификации эксперимента разделы научных направлений: например, ядерно-физический эксперимент и т.п. В качестве оснований 4-го и т.д. уровней классификации можно использовать следующие признаки: способ формирования условий эксперимента (естественные и искусственные); цели исследования (преобразующие, констатирующие, контролирующие, поисковые, решающие); структура изучаемых явлений и объектов (простые, сложные); характер внешних воздействий на объект исследования (вещественные, энергетические, информационные); тип моделей, исследуемых в эксперименте (материальный и мысленный); контролируемые величины (пассивный и активный); число варьируемых факторов (однофакторный и многофакторный) и т.п. Для классификации могут быть использованы и другие признаки [7, 8].

Рассмотрим детальнее 2-й уровень предлагаемой многоуровневой классификации эксперимента. Если в первых из перечисленных видов эксперимента изучаются некоторые реальные явления (объекты исследования), то в компьютерном эксперименте исследуются математические модели явлений (объектов) на компьютере. Именно этот эксперимент именуют в последние годы виртуальным. В наше время компьютеры используются практически во всех науках. В этой связи если следовать логике авторов термина «виртуально-физический эксперимент», то возможно объявление виртуально-химического эксперимента, виртуально-биологического эксперимента, виртуально-

социального эксперимента, виртуально-психологического эксперимента, виртуально-педагогического эксперимента, виртуально-инженерного эксперимента и т.д. Однако и физики, и химики, специалисты и ученые других отраслей науки пока не делают подобных объявлений, хотя термином «виртуальность» многие исследователи пользуются достаточно активно, так как в современной науке роль виртуальных лабораторий [2], виртуальных обсерваторий [21], виртуальных инструментов и приборов [22, 23] трудно переоценить. Особенно велика роль перечисленных достижений информатики (компьютерных наук) в образовании [24]. Еще раз подчеркнем, что компьютерный (виртуальный) эксперимент проводится над математической моделью явления (объекта) и на этой основе делаются выводы о свойствах явления (объекта), описываемого моделью. Отмеченная выше проблема неадекватности / адекватности модели становится главенствующей. Заметим, что понятия «адекватность модели» и «истинность (правильность) модели» не являются тождественными [5]. Известны многие примеры неправильных адекватных моделей: например, геоцентрическая модель Птолемея была неправильной, но адекватной в смысле точности описания движения планет. Поэтому компьютерный (виртуальный) эксперимент лишь условно можно считать экспериментом: компьютерное экспериментирование по сути является компьютерным моделированием, возникающий при этом комплекс вопросов интенсивно обсуждается в научной литературе [5]. Возвращаясь к эксперименту, подчеркнем, что эксперимент как научный метод исследования был и остается критерием истинности научного познания природы, общества и мира в целом.

Литература

1. Ахутин А. В. Эксперимент и природа. – СПб.: Наука, 2012. – 660 с.
2. Методика сопряжения системы виртуальных инструментов и приборов с универсальным контроллером X-Mega / В.М. Дмитриев, Т.Н. Зайченко, Т.В. Ганджа, В.В. Ганджа // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2015. – № 1 (35). – С. 107–111.
3. Кориков А.М. О развитии понятия «мехатроника» // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2010. – № 1 (21), ч. 2. – С. 199–202.
4. Кориков А.М. Еще раз о мехатронике как науке // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2011. – № 5 (122). – С. 2–8.
5. Кориков А.М. Теория систем и системный анализ: учеб. пособие / А.М. Кориков, С.Н. Павлов. – М.: ИНФРА-М, 2014. – 288 с.
6. Рыбина Г.В. Основы построения интеллектуальных систем: учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2010. – 432 с.
7. Налимов В.В. Теория эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 208 с.
8. Кориков А.М. Математические методы планирования эксперимента. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1973. – 282 с.
9. К вопросу о выборе оптимальных режимов сварки трением быстрорежущей стали Р6М5 с углеродистой сталью 45 / А.Н. Добровидов, А.М. Кориков, Ю.А. Евтюшкин, В.И. Егоров // Сварочное производство. – 1975. – № 3. – С. 17–19.
10. О блестящих полосах скольжения в сварном соединении, полученном сваркой трением. / А.М. Кориков, Ю.А. Евтюшкин, В.И. Егоров и др. // Прочность, пластичность и контактное взаимодействие твердых тел. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1976. – С. 52–55.
11. Структура и свойства сварных заготовок инструмента из новых быстрорежущих сталей / А.Н. Добровидов, Ю.А. Евтюшкин, В.И. Егоров и др. // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1976. – № 11. – С. 22–26.
12. О выборе оптимальных режимов высокого отпуска сварных заготовок режущего инструмента / А.Н. Добровидов, А.М. Кориков, Ю.А. Евтюшкин и др. // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1978. – № 9. – С. 39–43.
13. Сварка трением концевой режущий инструмента. Обзор / Ю.А. Евтюшкин, А.М. Кориков, В.И. Егоров и др. – М.: НИИМАШ, 1977. – 28 с.
14. Оптимизация и автоматизация процессов сварки трением и термической обработки режущего инструмента. Обзор / А.Н. Добровидов, А.М. Кориков, Ю.А. Евтюшкин и др. – М.: НИИМАШ, 1979. – 48 с.
15. Кориков А.М. Сварка трением заготовок концевой режущий инструмента / А.М. Кориков, В.И. Егоров // Сварочное производство. Реф. сб. вып. 10. – М.: ЦНИИТЭИ тракторсельхозмаш, 1979. – С. 3–6.

16. Сварка трением и термическая обработка режущего инструмента / А.Н. Добровидов, А.М. Кориков, Ю.А. Евтюшкин, В.И. Егоров. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1989. – 176 с.
17. Моделирование, исследование и автоматизация инерционной сварки / А.М. Кориков, В.И. Егоров, В.В. Иванайский, Р.К. Ахмедзянов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1980. – 156 с.
18. Ткачевская Г.Д. Исследование структуры и свойств новых быстрорежущих сталей при сварке трением: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Л.: ЛПИ, 1971. – 23 с.
19. Иванайский В.В. Основы управления структурой, фазовым составом и износостойкими свойствами в покрытиях, сформированных индукционной наплавкой на углеродистые и низколегированные стали: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – 44 с.
20. Моисеев Н.Н. Математика ставит эксперимент. – М.: Наука, 1979. – 224 с.
21. Российские ученые нашли 200 выброшенных галактик [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hi-tech.mail.ru/news/lost-galaxy.html>, свободный (дата обращения: 20.04.2015).
22. Трэвис Дж. LabVIEW для всех. – 4-е изд., перераб. и доп. / Дж. Трэвис, Дж. Кринг. – М.: ДМК-Пресс, 2011. – 908 с.
23. СВИП – система виртуальных инструментов и приборов / В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа, В.В. Ганджа, Ю.И. Мальцев. – Томск: В-Спектр, 2014. – 216 с.
24. Виртуальная физика, биология, химия, экология [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.virtulab.net/>, свободный (дата обращения: 20.04.2015).

Кориков Анатолий Михайлович

Д-р техн. наук, профессор, зав. каф. автоматизированных систем управления ТУСУРа,
профессор НИТПУ
Тел.: 8 (382-2) 41-42-79
Эл. почта: korikov@asu.tusur.ru

Korikov A.M.

Experiment in scientific research

The article gives the classification of experiments and a question of usage of the term «virtual and physical experiment». The basic principles of mathematical theory of experiment are briefly stated. The application examples of the theory of experiment in research on optimization and automation of welding processes by friction and heat treatment of cutting tools are given. The multilevel classification of experiment is offered.

Keywords: experiment, experiment classification, theory of experiment, welding by friction, heat treatment of the tool, virtual experiment.