

Н. Б. Филимонов, д-р техн. наук, проф., nbfilimonov@mail.ru,
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Методологический кризис "всепобеждающей математизации" современной теории управления

Обсуждаются феномен "непостижимой эффективности" математизации науки и особенности методологического кризиса "чрезмерной математизации" современной теории управления. Рассмотрены причины сложившегося кризиса и показано, что "ключом" к его преодолению является достижение в задачах управления органического единства математической строгости и физического смысла.

Ключевые слова: математизация науки, математическая строгость или физический смысл, методологический кризис теории управления, причины и пути выхода из кризиса

*Кризис современной теории управления
в последней четверти XX века очевиден.*
А. А. Красовский

*Современная теория управления по многим признакам
как наука оказалась в методологическом кризисе.*
А. А. Колесников

Важная закономерность развития современной науки — повышение сложности и нарастание абстрактности научного знания. В связи с этим одной из характерных тенденций в науке является процесс математизации, т. е. все более широкое и глубокое проникновение средств математики (языка математики и математических методов исследования) в практику научного познания [1, 2]. Как выразился Б. В. Гнеденко: "В наше время математизация знаний совершает своеобразный победный марш". При этом важно подчеркнуть, что речь идет об использовании методов математики не столько для вычислений и расчетов, сколько для формализации постановки задач, построения математических моделей, выдвижения гипотез, эвристического поиска законов и теорий.

Одной из относительно молодых, успешных и быстроразвивающихся областей знаний, подверженных широкой математизации, является теория управления (ТУ) — наука о принципах построения, методах анализа и синтеза систем управления и закономерностях протекающих в них процессов [3, 4].

Современная ТУ [5—10], сформировавшаяся как точная наука в середине XX в., сегодня совершает свое триумфальное шествие, охватывая все более сложные объекты различной физической природы во всех сферах человеческой деятельности. Магистральный путь ее развития характеризуется такими передовыми фундаментальными направлениями, как [11—17] упреждающее, ситуационное,

многорежимное, координирующее, робастное, гомеостатическое, гибридное, адаптивное, иерархическое, групповое, синергетическое, интеллектуальное (экспертное, ассоциативное, нейросетевое, нечеткое, эволюционное, мультиагентное) и другие виды управления. Весь этот впечатляющий прогресс ТУ основывается на нарастающем уровне ее математизации, расширении и усложнении используемого математического аппарата — от дифференциального и интегрального исчисления до топологии и теории алгебраических систем. Состояние ТУ полностью согласуется с критерием "хорошей" теории Р. Фейнмана, согласно которому качество теории определяется возможностью ее представления на языке различных математических формализмов.

Именно процесс "всепобеждающей математизации" явился необходимым и достаточным условием прогресса ТУ. Однако несмотря на это, уже на рубеже XX—XXI вв. стало ясно, что она, по точной оценке А. А. Колесникова, "оказалась в методологическом кризисе". Следует подчеркнуть, что здесь используется понятие частнонаучной методологии со следующей трактовкой [18]: *методология* — это система приемов, способов и методов исследовательской деятельности, на которые опирается ученый в ходе получения научных знаний в рамках какой-либо конкретной науки.

Впервые методологический кризис ТУ предсказал один из ее основоположников А. А. Красовский,

который еще в 1990 г. прямо заявил, что "кризис современной ТУ в последней четверти XX века очевиден" [19]. При этом в качестве основных признаков кризиса были выделены, во-первых, увеличение разрыва теории с практикой и, во-вторых, уменьшение ее способности оказать содействие прикладникам в решении практических задач. В настоящей работе обсуждаются феномен "непостижимой эффективности" математизации науки, порожденный ею методологический кризис современной ТУ, пути его преодоления. Приводятся многочисленные высказывания выдающихся философов, математиков, физиков и управленцев, касающиеся обсуждаемых вопросов.

"Всеобщая математизация науки" и феномен ее необъяснимой эффективности

Утверждение о том, что природа выражает свои законы на языке математики, было высказано 400 лет назад. Сторонниками математизации научного знания во времена античности и средневековья явились: Евклид, Архимед, Птолемей, Р. Бэкон, Н. Коперник и др. Собственно *принцип математизации* познания был сформулирован еще в XVII веке Г. Галилеем, который был глубоко убежден, что "книга природы написана на языке математики". Среди философов последним из схоластов и первым из представителей науки нового времени, кто провозгласил особое значение математики как инструмента познания мира, был Р. Декарт. Его убеждение разделяли выдающиеся философы, естествоиспытатели и основатели современной математики: Б. Спиноза, И. Кеплер, Дж. Бруно, Х. Гюйгенс, И. Ньютон, Ф. Бэкон, Г. Лейбниц и др.

"На мой взгляд, — писал выдающийся математик, физик и философ Дж. фон Нейман, — наиболее характерная отличительная черта математики состоит в ее особом отношении к естественным наукам и вообще любой науке". Математика была взята за эталон ввиду того, что она считалась образцом стройности и истинности. И. Р. Шафаревич считает, что в науке математизация играет ту же роль, что и стандартизация в технике. По мнению ряда выдающихся мыслителей (Л. да Винчи, Г. Галилей, И. Кант и др.), уровень развития любой науки может быть установлен, в первую очередь, по степени использования в ней математики. Так, А. Пуанкаре рассматривает математизацию окончательной, идеальной фазой развития любой научной концепции, а Ф. Дайсон рассматривает математику как "главный источник представлений и принципов, на основе которых зарождаются новые теории".

История познания мира и его современный уровень служат убедительным подтверждением "*непостижимой эффективности математики в естественных науках*", как образно назвал бурный процесс математизации научного знания [20] "тихий гений" Ю. Вигнер. Например, А. Эйнштейн удивленно спрашивал: "Как математика, продукт чело-

веческой мысли, не зависящая от опыта, может так превосходно соответствовать объектам реальности?" Кстати, известный ученый в области управления А. Г. Бутковский, признавая "непостижимую эффективность" математизации, даже выдвинул "Принцип 100 %-ной эффективности математики" со следующей формулировкой: "Для любой реальности и любой наперед заданной точности существует математическая структура, описывающая эту реальность с этой точностью".

Однако приходится констатировать, что упомянутая эффективность математики все же переоценивается. Математика создает иллюзию эффективности, если мы концентрируем свое внимание на удачных примерах, хотя существует намного больше примеров ее неэффективности. Даже Ю. Вигнер считал эффективность математики загадочной, неподдающейся рациональному объяснению, "нечто граничащее с мистикой" и "являющееся удивительным даром, который мы не в состоянии понять". Он описал эту проблему как "необоснованную эффективность математики". В ответ на эту фразу Д. Эббот назвал свою работу "Разумная неэффективность математики" [21], и в ней он утверждает, что "математика кажется чудесным универсальным языком потому, что мы выбираем именно те задачи, которые можно успешно решать с ее помощью. Но на миллионы неудачных математических моделей никто не обращает внимания. Есть много случаев, когда математика неэффективна". Обе позиции основаны на идее о том, что математика является человеческим изобретением.

Взаимосвязь математики с реальным миром

Центральным философским вопросом математики является вопрос об ее отношении к реальному миру [22]. Группа ведущих французских математиков, известных под коллективным псевдонимом Н. Бурбаки (А. Вейль, А. Картан, Ж. Дьедонне и др.), особо подчеркивала, что "основная проблема состоит во взаимоотношении мира экспериментального и мира математического: считать ли математику наукой, изучающей определенные отношения действительности, или же утверждать, что она имеет дело лишь с формальными преобразованиями символов, не отражающих никакие реальные отношения?" При этом они утверждали, что "расцвели уродливые математические структуры, полностью лишенные приложений", и связь между математическими структурами и экспериментальными явлениями представляется случайным, входящим и непознаваемым обстоятельством.

Природу математики и ее взаимосвязь с реальным миром оценивают по-разному, нередко со взаимоисключающих позиций. Так, еще древнегреческие философы дали два прямо противоположных взгляда на природу математических объектов: *пифагорийско-платоновский* (реальность), рассматривающий тождественность реального мира и мира математи-

ческих сущностей, и *аристотелевский* (абстракции), рассматривающий последние как абстрактные умозрительные построения, весьма далекие от реальности.

Пифагорийско-платоновская философия математического реализма зиждется на одной из древнейших гипотез, согласно которой реальный мир устроен по математическим законам, и поэтому математические теории адекватно описывают его строение. Действительно, именно столь далекие от реальности математические абстракции позволили проникнуть в самые глубокие горизонты материи, вывести самые сокровенные ее тайны, разобраться в сложных и разнообразных процессах объективной действительности. По этому поводу П. Дирак писал: "Наши математические усилия позволяют пока понять во Вселенной лишь немного. Но развивая все более совершенные математические методы, мы можем надеяться на лучшее понимание Вселенной".

И все же ряд современных естествоиспытателей и математиков склонны придерживаться аристотелевского воззрения на природу математических объектов как на мысленные конструкции, не имеющие какого-либо отношения к реальности. Так, согласно А. Рейтингу математическая мысль "не выражает истину о внешнем мире, а связана исключительно с умственными построениями", а согласно М. Стоуну "подлинный переворот в наших представлениях о математике — открытие полной ее независимости от физического мира".

Зарождение и развитие математики происходило путем решения прикладных задач, что, по мнению Ю. И. Янова, "послужило распространению прагматической точки зрения на математику, хотя при более глубоком анализе обнаруживается принципиальная независимость математики от реального мира". В связи с этим Д. Эббот прямо подчеркивает, что математика определенно не "чудо", которому стоит поражаться, а продукт человеческого воображения, который мы подгоняем под описание реальности. "Рыцарь физики" Р. Пенроуз считает, что математические понятия часто выглядят глубоко реальными, но эта реальность выходит далеко за пределы мыслительных процессов любого математика. Ту же мысль высказывал А. Эйнштейн: "Предложения, полученные с помощью чисто логических средств, при сравнении с реальностью оказываются совершенно пустыми", причем "до тех пор, пока законы математики связаны с реальностью, они вызывают сомнения, и пока они не вызывают сомнений, они не связаны с реальностью". О том же говорил и Г. Е. Шиллов (Кацивели): "Я могу привести десяток примеров великолепных математических результатов, не имеющих никакого отношения к действительному миру".

Многие "чистые" и "прикладные" математики озабочены тем, что математические объекты, в частности модели, во многих случаях оказываются заметно оторванными от реальности. Неслучайно

Н. Н. Красовский математическую модель назвал "карикатурой на реальность". Здесь же напомним полушутливую реплику А. Эйнштейна: "Математика — это единственный совершенный метод водить самого себя за нос". Приведем ряд соответствующих высказываний известных ученых:

- ✓ Д. Гильберт: "Математика — всего лишь игра, в которую играют согласно простым правилам и пользуются при этом ничего не значащими обозначениями", так что она "является учением об отношениях между формулами, лишенными какого бы то ни было содержания";
- ✓ Б. Рассел: "Математику можно определить как предмет, в котором никогда не известно ни то, о чем мы говорим, ни истинно или ложно то, что мы говорим";
- ✓ Р. Фейнман: "Математики отправляются от аксиом, строго рассуждают и у них все хорошо выходит, только, может быть, все это не имеет никакого отношения к реальности";
- ✓ Р. Калман: "Математика не может дать базисную научную информацию в отношении реального мира";
- ✓ Р. Музиль: "Математика есть роскошь броситься вперед, очертя голову, потому математики предаются самому отважному и восхитительному авантюризму, какой доступен человеку";
- ✓ Х. Штейнхаус: "Из дома реальности легко забрести в лес математики, но лишь немногие способны вернуться обратно";
- ✓ Ю. Вигнер: "Математика — это наука о хитроумных операциях, производимых по специально разработанным правилам над специально придуманными понятиями";
- ✓ К. Вильсон: "Эквилибристикой математики можно внушить доверие даже к самой ложной теории".

Один из величайших математиков всех времен Дж. фон Нейман писал: "Так как математическая дисциплина далеко уходит от своих эмпирических истоков, ее подстерегают очень серьезные опасности: она становится все более эстетической, все более приближается к чистому искусству для искусства. В процессе своего развития она может слишком удалиться от своего эмпирического источника или же подвергнуться усиленному "абстрактному" бридингу, что может привести к ее вырождению". Близкие мысли высказывали Л. С. Понтрягин: "Математика — в представлениях горе-философов — вырождается в лингвистику" и А. А. Марков: "Математика, в сущности, наука гуманитарная, потому что она изучает то, что человек напридумывал". Сегодня об этом серьезно говорят В. А. Успенский и А. В. Гладкий: "Математика — это гуманитарная наука", а основатель квантовых вычислений Ю. И. Манин прямо заявляет, что "Математика — это отрасль лингвистики или филологии, занимающаяся преобразованием конечных цепочек символов некоторого алфавита в другие цепочки при помощи конечного числа "грамматических" правил".

Математический сверхабстракционизм — пропуск науки в математизированный "научный рай"

Говоря о стремлении "охватить науку математикой", В. И. Вернадский писал, что оно "несомненно, в целом ряде областей способствовало огромному прогрессу науки... Но математические символы далеко не могут охватить всю реальность, и стремление к этому в ряде определенных отраслей знания приводит не к углублению, а к ограничению силы научных достижений". Как справедливо заметил Л. С. Понтрягин, "высокий уровень абстракций современной математики способен гипнотизировать тех, кто не является в ней специалистом, и, очевидно, порождать в их среде досужие мнения, неверные представления, особое почтение лишь к кабелистическим формулировкам; для математики обидно, что иногда ее привлекают для бутафории, для того, чтобы спрятать бедность и немощность той или иной работы".

Кстати, Дж. Шварц, будучи чистым математиком, один из первых заявил "о пагубном влиянии математики на науку", обратив внимание на нелепости и абсурдные идеи, которые, будучи облечены в импозантный математический мундир формул и теорем, выглядят гораздо убедительней, чем обнаженная нелепость. Он особо подчеркнул, что математические методы надо применять разумно, чтобы они не "загоняли ученого в клетку" искусственных знаковых систем. Действительно, абстрактный математический аппарат не должен заслонять, а тем более вытеснять, реальное содержание изучаемых процессов. Применение математики нельзя превращать в игру формул, за которой не стоит объективная действительность. В то же время, как замечает А. И. Орлов, "математик, как правило, не обдумывает реальные задачи, поскольку не вникает в конкретные прикладные области, его абсолютно не волнует, имеют ли какое-либо реальное содержание доказанные теоремы, могут ли они принести какую-либо пользу; его интересует лишь реакция математической общественности".

К сожалению, при нынешней моде на чрезмерную математизацию язык формул и символов, строгость и точность математических утверждений нередко оказывают гипнотическое влияние на ученых, при котором красота математических построений воспринимается как свидетельство их абсолютной достоверности. Необходимо, как выразился А. Эйнштейн, "освободить теорию от математического наряда". Это согласуется с остроумным замечанием В. В. Новожилова: "Борьба с чрезмерным распространением математического формализма является проблемой экологической", т. е. это борьба со своего рода "математическим спамом". В связи с этим выдающийся математик В. И. Арнольд предостерегал: "Если математики не образуются сами, то потребители, сохранившие как нужду в современной математической теории, так и свойственный каждому здравомыслящему человеку иммунитет к

бесполезной аксиоматической болтовне, в конце концов, откажутся от услуг схоластов-недоучек".

В результате "всеобщей математизации" в некоторых областях знаний, включая математику и физику, сложилась критическая ситуация, обусловленная их непомерной формализацией: математический "перебор" обострил вопрос о соотношении сложных математических конструкций и объективной реальности, которую они призваны отображать. Речь идет о подмене сущности формой, при которой применение большой и сложной математики чревато уходом от содержательных, сущностных вопросов в сферу формалистики.

"Ученый среди ученых", абстракция для которого была его стихией, Дж. фон Нейман, еще полвека тому назад предупреждал, что "излишняя формализация и символизация математической теории опасна для здорового развития математической науки". Данное пророческое предупреждение сбылось: лауреат Филдсовской премии С. П. Новиков заявил о глубоком кризисе в конце XX в. физико-математического сообщества России и Запада [23], вызванном "непомерной формализацией математики": "В естественных науках математическая строгость требует такого уточнения модели, которое уводит от реальности гораздо дальше, чем физическая ясность, и тем самым приводит к общенаучно менее строго обоснованному результату. Бесплезная всеусложняющая алгебраическая формализация языка математики, экранирующая суть дела, — это слишком широко распространившаяся болезнь". Он особо подчеркивает, что математики оторвались от внешнего мира: все более понимают прикладную математику как набор строгих доказательств, вопросы обоснования, причем "используя терминологию, взятую из реальности, доказывают строгие теоремы о чем-то внешне похожем на реальность, но на самом деле от реальности бесконечно далеко". Кстати, и В. И. Арнольд обвинял современную математику в опасной склонности к абстрактному мышлению, или в так называемом левополушарном абстракционизме. По его мнению, именно "левополушарная преступность" ("бурбакизм") вот уже больше века правит бал во владениях "королевы всех наук". "Только постоянное взаимодействие между реальным и абстрактным, — утверждал Р. Беллман, — обеспечивает математике ее жизнеспособность. Без этого возникает опасность бесплодности, атрофии и, в конце концов, вырождения".

Кризис, связанный с излишней математизацией, коснулся и физики. Здесь ситуация, очень схожая с математикой. Известный французский ученый А. Рей еще сто лет назад был крайне обеспокоен "завоеванием физики духом математики". Данное предостережение сбылось: В. А. Ацюковский констатирует [24], что физика находится в глубоком кризисе, "современные физические теории потеряли всякую связь с реальностью, развиваясь по пути математической абстракции", выполняя программу П. Дирака, в которой целью развития физики был

объявлен обобщенный математический формализм. По мнению известных ученых, современная физическая теория стремится к максимальной абстракции, оторванности от реального мира: математика превозносится как источник физических знаний о мире, ей придается особое и главенствующее значение, а физика оттесняется на второй план, хотя главное — это физическая сущность явлений. Теоретическая физика стала математической физикой, начался период формальной физики не как отрасли физики, а как отрасли математики.

Известный лозунг "В науке столько науки, сколько в ней математики", функционируя в качестве некоего критерия демаркации, вывел за пределы научности гигантские области знания даже в сфере естественных наук, побуждая иной раз прибегать к тотальным математическим абстракциям, чтобы получить пропуск в математизированный "научный рай".

Несколько слов о практической пользе математики. Об этом ярко высказался еще Б. Франклин — первый американский иностранный член Российской академии наук: "Какая наука может быть более благородна, более восхитительна, более полезна для человечества, чем математика?" Эту же мысль высказали М. Кац и С. Улам: "Математика — это замкнутый в себе микрокосм, обладающий, однако, мощной способностью отражать и моделировать любые процессы мышления и, вероятно, всю науку вообще. Она всегда приносила большую пользу и еще в большей мере продолжает приносить ее сейчас".

Приведем прямо противоположные взгляды на практическую пользу математики. Здесь уместно процитировать П. Вопенка: "Современная математика изучает конструкцию, отношение которой к реальному миру, по меньшей мере, проблематично. Более того, эта конструкция не единственно возможная, да и на самом деле не самая подходящая с точки зрения самой математики. Это ставит под вопрос роль математики как научного и полезного метода". Здесь же можно привести высказывание основателя группы Бурбаки Ж. А. Э. Дьедонне: "Современная математика в основе своей не имеет какой-либо утилитарной цели, а представляет собой интеллектуальную дисциплину, практическая польза которой сводится к нулю... математик в своих исследованиях никогда не руководствуется мыслью о степени полезности полученных результатов в будущем, скорее, он руководствуется желанием проникнуть в понимание математического явления, заканчивающегося на себе самом".

Известный математик Г. Харди считал, что настоящая, "чистая" математика "настоящих" математиков (П. Ферма, Л. Эйлера, Ф. Гаусса, Н. Абеля, Б. Римана) не имеет никаких приложений, и она почти полностью бесполезна. Эту же мысль высказывал и Б. Паскаль: "Ни одна наука, созданная людьми, не может соблюсти порядок. Математика его соблюдает, но она бесполезна при всей своей глубине". Однако более критично на эту тему не-

давно высказался выдающийся математик современности Ю. И. Манин: "Я убежден, что математика не является движущей силой нашей цивилизации". Он опубликовал свою теорию, согласно которой основная цель математики — отвлекать умников от опасных для человечества задач науки и техники в сторону совершенно бесполезных исследований никому неинтересных вопросов. Прочитав его: "Польза от математики состоит не в способствовании какому-либо прогрессу, а в том, чтобы этот прогресс всеми силами тормозить. Действительно, если бы умники, занимавшиеся проблемой Ферма, усовершенствовали вместо этого самолеты и автомобили, то вреда для человечества было бы куда больше".

Кстати, по оценкам ученых, практически используется не более 15 % математических разработок. Иначе говоря, математики ушли далеко вперед по отношению к реальным запросам науки и техники. Они создали формальный аппарат, примерно всемерно превышающий потребности сегодняшней науки и цивилизации в целом.

"Всепообеждающая математизация" современной теории управления

Математическая экспансия составляет неотъемлемую часть практически всех наук, включая ТУ, которая немыслима без использования довольно сложного математического аппарата, и чем больше она использует математику, тем более фундаментальной становится. Р. Беллман особо подчеркивал, что теоретические разработки систем управления "требуют применения самых современных и сложных математических методов".

Еще в период зарождения ТУ один из ее основоположников Р. Калман подчеркивал, что она "не занимается исследованием реального мира, а лишь математическими моделями его определенных аспектов. В связи с этим аппарат, а также результаты ТУ являются математическими; каждое эффективное средство управления представляет собой некоторый математический результат". А. А. Красовский по этому поводу писал: "Существование абстрактно-математической ТУ неизбежно. Привлечение новых результатов математики к проблемам управления будет продолжаться вне зависимости от общественного или иного мнения и желания". Действительно, абстрагирование позволило придать ТУ большую общность, выработать единую концепцию.

Математика сыграла ключевую роль в становлении и развитии современной ТУ: она всегда была и продолжает оставаться основным универсальным действенным средством описания и исследования процессов управления. Однако все чаще встречается критика процесса "всепообеждающей математизации" ТУ. Даже математик-управленец Р. Калман констатировал, что "большая часть математики стала настолько абстрактной, что иногда ее пригодность для проблем мира становится сомнительной".

Среди отечественных и зарубежных классиков точных наук немало сторонников прикладного применения здравого смысла в использовании математики. Ю. И. Алимов заметил: "Математиков стали упрекать даже самые близкие к ним естествоиспытатели — теоретики и теоретики". ТУ является инженерной научной дисциплиной, хотя изначально ее основы закладывались механиками и математиками. Свойственный используемому математическому аппарату высокий уровень абстракции делает многие современные разделы ТУ труднодоступными для инженеров-управленцев и порождает тревожную тенденцию — "размывание" ее инженерного фундамента и "выхолащивание" инженерного смысла решаемых задач. "Объяснение этому, — утверждает В. Я. Ротач, — видится в математизации ТУ, ее пресыщенности сложными математическими выкладками". Действительно, нельзя не заметить, что успехи математизации внушают порой желание "испещрить" свое сочинение цифрами и формулами (нередко без надобности), чтобы придать ему "солидность и научность". Анализируя данную ситуацию, Е. П. Попов настаивал, чтобы "применение математических методов было удачно увязано с основами ТУ, понятными инженерам, и доведено до инженерных методов расчета".

Среди известных ученых все чаще высказываются опасения: не приведет ли "триумф" интенсивной математизации ТУ к поглощению ее математикой. Еще Е. С. Вентцель предостерегала: "Математика рассматривается как некий образец, по которому должны равняться все другие науки. Нетрудно увидеть со стороны математиков в отношении ТУ позицию завоевателя. Данная позиция ложная и вредная". Здесь уместно привести также предостережение Т. Мак-Рея: "Если научное управление удалится в математическую раковину, оно превратится в отрасль математики, а не управления". Об этом же пишет и А. А. Колесников: "Математическое аксиомофильство все в большей мере доминирует в современной ТУ", явно угрожает ее развитию как науки, и она "в лучшем случае превратится в некоторую область прикладной математики".

Несмотря на утверждение В. А. Трапезникова: "ТУ — это не раздел математики; это технико-теоретическая дисциплина", приходится констатировать, что приведенные предостережения, фактически, давно уже свершились [25]. Так, известный ученый-управленец Ю-Чи Хо прямо заявляет, что ТУ "является математической дисциплиной" — это "самостоятельная ветвь чистой и прикладной математики", для которой "есть все основания быть высокоматематической теорией" с литературой, "сравнительно сильно насыщенной теоремами, леммами и доказательствами". Аналогично, Р. Калман рассматривает ТУ как научную дисциплину в области прикладной математики, как "совокупность математических результатов и методов, относящихся к решению задач управления". Близкие мысли высказывает и В. Я. Ротач: "Фактическое

содержание современных пособий по ТУ свидетельствует, что преподносится некоторый специальный раздел математики, в котором математиками для математиков решаются задачи, сформулированные по мотивам управленческих задач".

Можно согласиться с мнением А. А. Красовского: "Нельзя отрицать права на существование математической современной ТУ как раздела математики, развивающегося по собственным законам и находящего применение по мере возникновения соответствующих потребностей". Но такая теория "должна быть достаточно четко выделена по отношению к прикладной современной ТУ".

Успехи ТУ все чаще приписываются процессу ее "всепообеждающей математизации". Здесь следует указать на замеченные И. А. Фетом ложные предубеждения математизации любой области знаний, включая науку об управлении: принято думать, что "будто одна лишь математическая трактовка предмета сообщает результатам бесспорную научную объективность", и что "математика, к чему бы ее ни применить, оказывается магическим орудием, принципиально более сильным, чем все другие". Можно указать на многочисленные весьма вредные злоупотребления математикой, апеллирующие к указанным предубеждениям. Здесь уместно процитировать Е. С. Вентцель: "Печально положение, когда математика начинает глушить здравый смысл. Из двух крайностей: "математика без здравого смысла" и "здравый смысл без математики" предпочтение, безусловно, надо отдать второй". Математический аппарат имеет некое гипнотическое свойство, вызывающее у некоторых ученых синдром "математического ослепления": исследователи часто склонны безоговорочно верить своим расчетам, и тем больше верить, чем "кудрявее" примененный аппарат". Как заметил Дж. Шварц, "всякая поспешность в математизации, игнорирование качественного анализа явлений, их тщательного исследования средствами и методами конкретных наук ничего, кроме вреда, принести не могут".

"Кризис роста" современной теории управления: "избыточная математизация" и подмена сущности формой

Ряд известных ученых считают состояние современной ТУ, с точки зрения ее применения на практике, неудовлетворительным и даже критическим. Так, Дж. Коулс констатировал: "Существует большой разрыв между теорией и практикой управления". Об этом прямо говорил и А. А. Красовский, подчеркивая, что в развитии современной ТУ "с точки зрения практики далеко не все обстоит благополучно", "наблюдаются диспропорции и перекосы", "налицо отрыв ряда направлений от учета реальных ограничений и закономерностей". При этом "главное негативное влияние на практическое внедрение методов современной ТУ оказывает масса оторванных от практических потребностей и возможных работ и даже направлений, интересных

в математическом отношении, но бесплодных в отношении современных приложений". Как справедливо замечает А. С. Ключев, "современная ТУ, достигнув высочайшего уровня фундаментального теоретического развития, к сожалению, не может быть использована для решения практических задач управления сложными технологическими процессами". Действительно, несмотря на большой контингент ученых и число публикаций, новых эффективных концепций и крупных открытий в ТУ за последние десятилетия не отмечалось. Прогресс сводится, главным образом, к компьютеризации задач управления с применением современных информационных технологий, но на основе уже известных принципов и подходов.

В настоящее время в ТУ наблюдаются две характерные тенденции: все возрастающий интерес инженеров к отдельным разделам математики и все более усиливающийся интерес самих математиков к задачам управления. При этом журналы переполнены потоком математических работ, в которых, по выражению А. А. Колесникова, ТУ "стала полигоном для упражнений", не имеющих отношения к прикладным проблемам управления. Кстати, выдающиеся отечественные ученые, включая математиков (П. Л. Чебышев, А. Н. Крылов, Н. Е. Жуковский и др.), считали излишний формализм недопустимым, а прикладную направленность — обязательной. Именно "это явилось одной из причин мирового лидерства СССР в классической инженерной ТУ".

Заметим, что классическую ТУ в основном создавали инженеры для инженеров, а современную — в основном математики для инженеров и, в большей мере, для математиков. При этом не случайно в теории оптимального управления значительных успехов добились не столько чистые математики, сколько управленцы, получившие наряду с инженерным также и математическое образование (А. А. Фельдбаум, А. Я. Лернер, Л. И. Розоноэр, А. Г. Бутковский, В. Ф. Кротов, В. И. Гурман, А. Д. Иоффе и многие другие).

Причиной создавшейся кризисной ситуации в ТУ является преувеличение роли и значимости фактора ее "всепобеждающей математизации": математика, фактически, "поглотила" науку об управлении. "Я уверен, — утверждает Л. А. Заде, — что чрезмерное увлечение математической точностью и строгостью рассуждений для обоснования значимости утверждений стало сводить на нет ТУ". Неслучайно В. А. Успенский подчеркивает, что "действительное значение математической строгости не следует преувеличивать и доводить до абсурда; здравый смысл в математике не менее уместен, чем во всякой другой науке". В связи с этим А. Н. Колмогоров выдвинул в качестве одной из ключевых следующую цель математического исследования: "Уничтожить расхождение между "строгими" методами чистых математиков и "нестрогими" приемами математических рассуждений, применяемых прикладными математиками, физиками и техниками".

Как справедливо замечает А. А. Колесников, все дело в принципиальном игнорировании многими математиками такой индивидуальной особенности объекта управления, как его "физическая сущность". Современный уровень математизации ТУ породил у некоторых ученых специфическую аномалию: математическое описание объектов управления они стали ставить выше собственно свойств объектов управления, проявляющихся в тех или иных феноменах. Они, следуя концепции "черного ящика" У. Р. Эшби, сознательно отвлекаются от внутренней структуры, строения и вещественного состава управляемой системы, сосредоточиваясь на выполняемых ею функциях и результатах ее функционирования. В результате "математический формализм во многом подавляет физическое начало", которое отсутствует в самой формулировке задачи управления и, что особенно важно, в подходах к ее решению.

Н. Д. Егупов отмечает, что "изучение ТУ без учета физических процессов, протекающих в проектируемой системе, может привести к полной беспомощности в постановке и решении практических задач", а Е. П. Попов подчеркивал, что для ТУ "принципиальным является вопрос о правильном взаимоотношении ее с математикой и физикой", причем важно "поставить задачу математически так, чтобы она соответствовала данной реальной системе и сути происходящих в ней физических процессов". Здесь же следует процитировать члена группы Л. С. Понтрягина, чистого математика В. Г. Болтянского: "Постановка прикладных задач управления относится не к компетенции математики, а к ведению инженеров-разработчиков", а также автора до сих пор не превзойденного учебного пособия по ТУ А. А. Первозванного: "Без освоения технического аспекта изучение ТУ недопустимо и может привести лишь к полной беспомощности в постановке и решении практических задач даже при хороших формально-математических знаниях". "Самое главное — это "сочетание инженерной направленности с обновляющимся математическим аппаратом".

Если на начальном этапе развития ТУ математическое абстрагирование от физического содержания задачи управления было оправданно с точки зрения разработки фундаментальных основ теории, то на современном этапе развития "кризисная ситуация требует учета основополагающих естественных свойств объекта". Действительно, обычно молчаливо подразумевается, что если задача сформулирована на математическом языке, то она полностью переходит в сферу математики, глубоко разработанной и строго обоснованной науки, и о дальнейшей судьбе задачи беспокоиться не нужно. С одной стороны, математический формализм позволяет систематизировать, уточнить и методологически прояснить содержание ТУ, выяснить характер взаимосвязи между собой различных ее положений, выявить и сформулировать еще не решенные проблемы. С другой стороны, именно непомерная

формализация ТУ фактически превратила ее в одну из областей математики (теории матриц и дифференциальных уравнений). Как справедливо замечает А. А. Колесников, в основу ТУ "целесообразно положить не только математическое содержание, получившее значительное развитие, но и физическое начало задач управления, которое в настоящее время выдвигается на первый план". Все большую актуальность приобретает вопрос о соотношении концептуальных математических построений и объективной реальности, которую они должны отображать, о физическом (прикладном) содержании получаемых математических результатов. Здесь речь должна идти, прежде всего, о математических соотношениях, отражающих естественные свойства объекта, технико-технологические требования задачи управления в виде критериев качества и ограничений. Как выразился А. Хевисайд: "Следует все время не упускать из виду физику, чтобы придать задаче жизнь и реальное значение", поскольку "главное в физике не формулы, — особо подчеркивал А. Б. Мигдал, — а их интерпретация", понимание.

Возникает естественный вопрос: что же важнее в задачах управления — математическая строгость или физический смысл? Для ответа на данный вопрос еще раз обратимся к физике, которая уже давно находится в кризисной ситуации из-за ее "избыточной" математизации. Математика превратилась из вспомогательного инструмента количественного описания явлений в самостоятельный инструмент исследований — в генератор фундаментальных физических понятий и теоретических построений.

Неслучайно физики утверждают, что неким непостижимым образом понятия математики "отражают объективные закономерности материального мира". Именно данный феномен интенсивной математизации физики Ю. Вигнер образно назвал "необоснованной эффективностью математики в естественных науках".

Спор ученых о том, что важнее — математика или физика — продолжался весь XX век. Приведем ряд высказываний выдающихся ученых современности:

- ✓ Ж.-П. Серр: "У математики и физики нет ничего общего";
- ✓ В. И. Арнольд: "Математика — это просто часть физики";
- ✓ Л. Д. Фаддеев: "Математическая строгость важнее физической интуиции";
- ✓ Ю. И. Манин: "Знания о мире, полученные физиками, можно выразить только на языке математики";
- ✓ Д. Гильберт: "Теоретическая физика — это часть математики";
- ✓ В. Л. Гинзбург: "Математики вообще ничего в физике понять не могут".

Очевидно, что, если физическая сущность явлений является вторичной, т. е. физика оказывается следствием математики, то о пользе последней не может быть и речи, поскольку она ведет к абстрак-

циям и уводит от реальной действительности. Кстати, именно в связи с этим некоторые физики считают, что математика — лишь "формалистическая одежда" для важнейших физических открытий, тогда как сами эти открытия и не нуждаются в этой бесполезной с их точки зрения науке. Так, например, Л. Д. Ландау утверждал, что "из математики, изучаемой физиками, должны быть полностью изгнаны теоремы существования, слишком строгие доказательства и т. п.". В. Паули в письме М. Борну писал: "Да, я знаю Вашу любовь к утомительному и сложному формализму. Вы собираетесь подпортить физические идеи В. Гейзенберга Вашей бесполезной математикой". А. Эйнштейн заявил: "С тех пор, как математики взялись за Теорию относительности, я сам перестал ее понимать".

Реальным и, возможно, единственным путем преодоления кризисной ситуации современной ТУ является переход от математической к физической научной парадигме управления, обусловленной необходимостью учета как математической стороны, так и физического содержания процессов управления. При этом ключевым в новой парадигме управления должна стать *физикализация* — одно из первых общенаучных методологических направлений в истории науки, предполагающее интеграцию научного знания на основе содержательного аспекта физики. О принципиальной возможности физикализации писал еще М. Планк: "Среди общих понятий физики нет ни одного, которое с большим или меньшим успехом не было бы уже перенесено на другие области". Физикализация мыслится в виде некоторого синтеза "математической формализованности" и "физической содержательности", обеспечивающего достижение в задачах управления органического единства математической строгости и физического смысла?

Выходом из создавшейся кризисной ситуации ТУ явилась выдвинутая в 1990 г. А. А. Красовским проблема создания *физической теории управления* [19], которая, фактически, реализует идею физикализации управления. Данная теория должна базироваться "на фундаменте физических законов, учете ресурсов и приоритетах реального мира". Проблема создания физической ТУ, по мнению А. А. Колесникова, "призвана вернуть науку об управлении к естественным началам". При этом отличие физической ТУ от математической начинается с математических моделей систем и критериев качества процессов управления. Она должна строиться так, чтобы заложенные в математических моделях и критериях реальные ограничения фигурировали и в конечных результатах, определяя границы возможного и невозможного в процессе управления.

Несмотря на актуальность проблемы разработки физической ТУ, она, фактически, так и осталась без внимания и не вызвала никакой реакции со стороны ни отечественных, ни зарубежных специалистов. За прошедшие четверть века не опубликована ни одна работа, посвященная данной проблеме.

Можно указать лишь на обсуждение актуальности последней проблемы в работах А. А. Колесникова, посвященных синергетической ТУ [26]. Здесь уместно напомнить, что еще в начале 60-х годов прошлого столетия И. Б. Новик провозгласил весьма перспективную концепцию "физикализации" кибернетики, которая сразу же была предана забвению. Пытаясь это как-то объяснить, можно согласиться с мнением Т. С. Куна: "Новая научная истина не достигает триумфа путем убеждения своих оппонентов и их просветления, но это, скорее, происходит оттого, что ее оппоненты в конце концов умирают и вырастает новое поколение, с ней знакомое", а также со сходным мнением выдающегося физика-теоретика Л. Д. Ландау: "Новая теория начинает господствовать, когда вымрут сторонники старой".

Здесь важно замечание А. А. Красовского о перспективах физической ТУ: "Большое прикладное значение этой теории может проявиться в управлении разнообразными физическими процессами". Данное "предвидение" уже через десять лет сбылось: в работах А. Л. Фрадкова сформировалось новое научное направление на стыке физики и ТУ — "кибернетическая физика".

"Победный марш" математизации науки продолжается и, несмотря на незатухающий методологический кризис ТУ, ее современное состояние вполне позитивно. Данный кризис можно рассматривать как форму развития ТУ, поскольку это явление не только закономерное, но и плодотворное. Кризисные фазы в развитии науки являются неизбежными, составными частями ее циклической динамики, причем они носят не только болезненный и разрушительный, но и созидательный характер, открывая простор и давая импульс новым перспективным направлениям на следующих фазах циклической динамики. Проведенный анализ показывает, что для вывода современной ТУ из методологического кризиса необходимо восстановить взаимнообратную связь между теорией и практикой, сочетая инженерную направленность с обновляющимся математическим аппаратом, обеспечивая в задачах управления наряду с математической и физической строгостью — правильный учет всех существенных в данной задаче факторов. В заключение уместно привести высказывания двух выдающихся отечественных ученых-однофамильцев, одних из создателей теории оптимального управления, — разъяснение Н. Н. Красовского: "Все свои немалые возможности математика реализует лишь тогда, когда выступает в союзе с другими науками, имеющими более, так сказать, непосредственное отношение к той конкретной сфере, к которой принадлежит изучаемая проблема" и обнадеживающий прогноз А. А. Красовского: "Несмотря на тяжелейшие проблемы, в науке управления подспудно зреют некоторые новые прогрессивные

направления, способные восстановить и развить прикладное значение этой области знания".

Список литературы

1. Математизация современной науки: предпосылки, проблемы, перспективы // Сб. трудов. М.: Центр совет филос. (методол.) семинаров при Президиуме АН СССР, 1986.
2. Рузавин Г. И. Математизация научного знания. М.: Мысль, 1984.
3. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А. А. Красовского. М.: Наука, 1987.
4. Машиностроение. Энциклопедия в 40 т. Т. 1—4. Автоматическое управление. Теория / Е. А. Федосов, А. А. Красовский, Е. П. Попов и др. Под общ. ред. Е. А. Федосова. М.: Машиностроение, 2000.
5. Современная прикладная теория управления. В 3 ч. / Под ред. А. А. Колесникова. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000.
6. Методы классической и современной теории автоматического управления. В 5 т. / Под ред. К. А. Пупкова и Н. Д. Егупова. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004.
7. Гудвин Г. К., Гребен С. Ф., Сальгадо М. Э. Проектирование систем управления. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004.
8. Панкратов В. В., Зима Е. А., Нос О. В. Специальные разделы современной теории автоматического управления: учеб. пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007.
9. Успенский В. Б., Шипулина Л. В. Современная теория управления. Методы синтеза и оптимизации систем управления: Конспект лекций. Харьков: НТУ "ХПИ", 2013.
10. Хижиных Ю. Н. Современные проблемы теории управления: учеб. пособие. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014.
11. Красовский А. А. Развитие и становление современной теории управления / Синергетика и проблемы теории управления. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. С. 13—34.
12. Поляк Б. Т. Развитие теории автоматического управления // Проблемы управления. Спец. выпуск. 2009. № 3.1. С. 13—18.
13. Куржанский А. Б. О некоторых новых тенденциях в современной теории управления // XI Междунар. конф. Устойчивость и колебания нелинейных систем управления. М.: ИПУ РАН, 2010. С. 1—3.
14. Финаев В. И. Тенденции развития систем автоматического и автоматизированного управления // Проблемы автоматизации. Региональное управление. Связь и автоматика: Сб. трудов II Всеросс. науч. конф. Т. 1. Геленджик: Изд-во ЮФУ, 2013. С. 5—10.
15. Fernandez-Cara E., Zuazua E. Control Theory: History, mathematical achievements and Perspectives // Bol. Soc. Esp. Mat. Apl. 2003. N. 26. P. 79—140.
16. Neculai A. Modern Control Theory — A Historical Perspective. Retrieved 2007-10-10-2005.
17. Ivancevic V. G., Ivancevic T. T., Guran A. Series on Stability, Vibration and Control of Systems, Series A. New Trends in Control Theory. Vol. 19. NJ: World Scientific, 2013.
18. Ревко-Линардато П. С. Методы научных исследований: учеб. пособие. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012.
19. Красовский А. А. Проблемы физической теории управления // Автоматика и телемеханика. 1990. № 11. С. 3—28.
20. Вигнер Е. Непостижимая эффективность математики в естественных науках // Успехи физических наук. 1968. Т. 94, Вып. 3. С. 535—546.
21. Abbott D. The Reasonable Ineffectiveness of Mathematics // Procs. of the IEEE. 2013. Vol. 101, N. 10. P. 2147—2153.
22. Жуков Н. И. Философские основания математики. М.: Университетское, 1990.
23. Новиков С. П. Вторая половина XX века и ее итог: кризис физико-математического сообщества в России и на Западе // Вестник ДВО РАН. 2006. Вып. 4. С. 3—22.
24. Ацюковский В. А. Начала эфиродинамического естествознания. Кн. 1. Методологический кризис современной теоретической физики. М.: Петит, 2009.
25. Гинсберг К. С. Проектирование и теория автоматического управления: девять точек зрения на теорию управления как науку // Труды 12-й междунар. конф. "Системы проектирования технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта". М.: ООО "Аналитик", 2012. С. 87—92.
26. Колесников А. А. Синергетические методы управления сложными системами: теория системного синтеза. М.: Едиториал УРСС, 2005.

Methodological Crisis of the "All Winning Mathematization" of the Modern Control Theory

N. B. Filimonov, nbfilimonov@mail.ru✉,

Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, Russian Federation,
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russian Federation

Corresponding author: **Filimonov Nikolay B.**, D. Sc., Professor,
Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, Russian Federation,
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russian Federation
e-mail: nbfilimonov@mail.ru

Received on January 19, 2016

Accepted on January 22, 2016

The topic of the discussion is a trend, typical for development of the modern science, namely the process of "universal mathematization", i.e. of a wider and deeper penetration of mathematics into the practice of scientific knowledge. The emphasis is put on the phenomenon of "the incredible effectiveness" of mathematization of science. It is the matter of the central philosophical question of mathematics — its interconnection with the real world. The examples of the critical situation in mathematics and physics are given, which are the result of their extreme formalization, i.e. the maximal abstraction. The opposite views on the practical use of mathematics are presented. The main problem of the work is connected with the specific features of the process of "the all winning mathematization" of the modern control theory, one of the relatively young, successful and quickly developing areas of knowledge. It has been demonstrated that mathematics is of key importance for formation and development of the control theory. The author considers the problems of the methodological crisis of "the extreme mathematization" of the control theory. Among the main indications of the crisis the author points out the following: firstly, it is an increasing gap between the theory and practice, and, secondly, — its decreasing ability to help the specialists, involved in applied mathematics, with solving of the problems of a practical control. It is demonstrated that "the key" to overcoming of the existing crisis of the control theory is achievement of an organic unity of the mathematical strictness and physical sense.

Keywords: mathematization of science, mathematical rigor or physical sense, methodological crisis of control theory, the reasons and ways out of the crisis

For citation:

Filimonov N. B. Methodological Crisis of the "All Winning Mathematization" of the Modern Control Theory, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2015, vol. 17, no. 5, pp. 291—301.

DOI: 10.17587/mau/16.291-301

References

1. **Matematizatsiya sovremennoy nauki:** predposylki, problemy, perspektivy (The mathematization of modern science: preconditions, problems, prospects), Sb. trudov, Moscow, Tsentr. sovet filos. (metodol.) seminarov pri Prezidiume AN SSSR, 1986 (in Russian).
2. **Ruzavin G. I.** *Matematizatsiya nauchnogo znaniya* (Mathematization of scientific knowledge), Moscow, Myisl, 1984 (in Russian).
3. **Krasovskiy A. A.** ed. *Spravochnik po teorii avtomaticheskogo upravleniya* (Handbook of automatic control theory), Moscow, Nauka, 1987 (in Russian).
4. **Fedosov E. A., Krasovskiy A. A., Popov E. P.** i dr. *Mashinostroyeniye. Entsiklopediya v 40 tt.* (Engineering. Encyclopedia in 40 volumes). T. 1—4. *Avtomaticheskoe upravleniye. Teoriya* (Vol. 1—4. Automatic control. Theory), Moscow, Mashinostroyeniye, 2000 (in Russian).
5. **Kolesnikov A. A.** ed. *Sovremennaya prikladnaya teoriya upravleniya* (Modern applied control theory), Taganrog, Publishing house of TRTU, 2000 (in Russian).
6. **Pupkov K. A., Egupov N. D.** ed. *Metody klassicheskoy i sovremennoy teorii avtomaticheskogo upravleniya* (Methods of classical and modern theory of automatic control), Moscow, Publishing house of N. E. Bauman MGTU, 2004 (in Russian).
7. **Gudvin G. K., Grebe S. F., Salgado M. E.** *Proektirovaniye sistem upravleniya* (Control system design). Moscow, BINOM. Laboratoriya znaniy, 2004 (in Russian).
8. **Pankratov V. V., Zima E. A., Nos O. V.** *Spetsialnyye razdelyi sovremennoy teorii avtomaticheskogo upravleniya* (Special divisions of modern automatic control theory), Novosibirsk, Publishing house of NGTU, 2007 (in Russian).
9. **Uspenskiy V. B., Shipulina L. V.** *Sovremennaya teoriya upravleniya. Metody sinteza i optimizatsii sistem upravleniya* (Modern control theory. Methods of synthesis and optimization of control systems), Harkov, NTU "HPI", 2013 (in Russian).
10. **Hizhnyakov Yu. N.** *Sovremennyye problemy teorii upravleniya* (Modern problems of control theory), Perm, Publishing house of Perm. nats. issled. politehn. un-ta, 2014 (in Russian).
11. **Krasovskiy A. A.** *Razvitiye i stanovleniye sovremennoy teorii upravleniya* (Development and formation of modern control theory), Sinergetika i problemy teorii upravleniya, Moscow, FIZMATLIT, 2004, pp. 13—34 (in Russian).
12. **Polyak B. T.** *Razvitiye teorii avtomaticheskogo upravleniya* (Development of automatic control theory), *Problemy upravleniya. Spets. vyipusk*, 2009, no. 3.1, pp. 13—18 (in Russian).
13. **Kurzanskiy A. B.** *O nekotorykh novykh tendentsiyakh v sovremennoy teorii upravleniya* (Concerning some new tendencies in modern control theory), *XI Mezhdunar. konf. Ustoychivost i Kolebaniya Nelineynykh Sistem Upravleniya*, Moscow, IPU RAN, 2010, pp. 1—3 (in Russian).
14. **Finaev V. I.** *Tendentsii razvitiya sistem avtomaticheskogo i avtomatizirovannogo upravleniya* (Tendencies of the development of automatic and computer-aided control systems), *Problemy avtomatizatsii. Regionalnoye upravleniye. Svyaz i avtomatika: Sb. trudov II Vseross. nauch. konf.* Vol. 1. Gelendzhik, Publishing house of YuFU, 2013, pp. 5—10 (in Russian).
15. **Fernandez-Cara E., Zuazua E.** Control Theory: History, mathematical achievements and Perspectives, *Bol. Soc. Esp. Mat. Apl.*, 2003, no 26, pp. 79—140.
16. **Neculai A.** Modern Control Theory — A Historical Perspective. Retrieved 2007-10-10.2005.
17. **Ivancevic V. G., Ivancevic T. T., Guran A.** Series on Stability, Vibration and Control of Systems, Series A. *New Trends in Control Theory*, vol. 19, NJ, World Scientific, 2013.
18. **Revko-Linardato P. S.** *Metody nauchnykh issledovaniy* (Methods of the scientific researches), Taganrog, Publishing house of TTI YuFU, 2012.
19. **Krasovskiy A. A.** *Problemy fizicheskoy teorii upravleniya* (Problems of physical control theory), *Avtomatika i Telemekhanika*, 1990, vol. 11, pp. 3—28 (in Russian).
20. **Vigner E.** *Nepostizhimaya effektivnost matematiki v estestvennykh naukakh* (The Inconceivable effectiveness of mathematics in the natural sciences), *Uspehi Fizicheskikh Nauk*, 1968, vol. 94, iss. 3, pp. 535—546 (in Russian).
21. **Abbott D.** The Reasonable Ineffectiveness of Mathematics, *Proc.s of the IEEE*. 2013, vol. 101, no. 10, pp. 2147—2153.
22. **Zhukov N. I.** *Filosofskie osnovaniya matematiki* (Philosophical foundations of mathematics), Minsk, Universitetskoe, 1990 (in Russian).

23. **Novikov S. P.** *Vtoraya polovina XX veka i ego itog: krizis fiziko-matematicheskogo soobshchestva v Rossii i na Zapade* (The second half of the XX century and its outcome: the crisis of physico-mathematical community in Russia and in the West), Vestnik DVO RAN, 2006, iss. 4, pp. 3–22 (in Russian).

24. **Atsyukovskiy V. A.** *Nachala efirodinamicheskogo estestvoznaniya. Kn. 1. Metodologicheskij krizis sovremennoy teoreticheskoy fiziki* (The beginnings of efiro-dynamic natural science. Book 1. The methodological crisis of modern theoretical physics), Moscow, Petit, 2009 (in Russian).

25. **Ginsberg K. S.** *Proektirovanie i teoriya avtomaticheskogo upravleniya: devyat tochech zreniya na teoriyu upravleniya kak nauku* (De-

sign and automatic control theory: nine points of view on the control theory as a science: Nine points of view on the theory of management as a science), *Proc. of 12th Intern. conf. "Sistemyi proektirovaniya tehnologicheskoy podgotovki proizvodstva i upravleniya etapami zhiznennogo tsikla promyshlennogo produkta"*, Moscow, OOO "Analitik", 2012, pp. 87–92 (in Russian).

26. **Kolesnikov A. A.** *Sinergeticheskie metody upravleniya slozhnyimi sistemami: teoriya sistemnogo sinteza* (Synergetic methods of control by complex systems: the theory of sytem synthesis), Moscow, Editorial URSS, 2005(in Russian).

УДК 681.5:517.935

DOI: 10.17587/mau/17.301-307

С. А. Дубовик, д-р техн. наук, проф., duboviksa@gmail.com,
Севастопольский государственный университет

Использование квазипотенциалов для контроля больших уклонений управляемых процессов*

Получены соотношения для квазипотенциальных экстремалей задачи Лагранжа, возникающей в анализе больших уклонений диффузионных процессов. На этой основе предлагается алгоритм прогноза критических состояний слабо возмущенных динамических систем. Приводятся примеры применения метода в задачах управления морскими судами, летательными аппаратами, а также в финансовой математике — при моделировании двухкомпонентного рынка Блэка—Шоулса.

Ключевые слова: асимптотический анализ, функционал действия, большие уклонения, экстремаль, оптимальное управление

Введение

Роль асимптотических методов (АМ) возрастает вместе с ростом интереса к управлению в условиях неопределенности. Метод малого параметра широко и давно используется для упрощения алгоритмов: в асимптотическом анализе систем и задач управления известны работы по декомпозиции [1, 2], композитным регуляторам [2, 3], композиционному синтезу [4, 5]. Во многих случаях сингулярно возмущенную задачу управления удастся с достаточной точностью представить как совокупность более простых частных задач, после чего синтез регулятора превращается в простую сборку. Именно с этим связана важнейшая роль АМ — этот последний этап синтеза (сборку или ее элементы) можно распространить на процесс управления, т. е. совершать (или завершать) его в режиме online. Необходимость в такой реконфигурации системы управления обычно связана с появлениями больших уклонений по тем или иным координатам состояния; понятно, что возможность решений online связана не только с малыми параметрами, но и со способностью АМ существенно обогатить "интеллект" таких управлений.

Не ставя перед собой целью анализ указанных процессов во всей их полноте, в данной работе основное внимание уделим ключевой проблеме — прогнозу больших уклонений (БУ), опираясь на фунда-

ментальные результаты Д. Вентцеля и М. Фрейдлина [6, 7]. Для этого необходимо ввести некоторые базовые результаты анализа БУ в форме, более удобной для теории управления [8–10].

Квазипотенциалы динамических систем

Пусть необходимо выбрать r -мерный вектор управления $U = U(t)$ объектом, движения которого описываются слабо возмущенным дифференциальным уравнением для n -мерного вектора состояния $x = x(t)$:

$$\dot{x} = \alpha(x, U) + \varepsilon \sigma(x)w, \quad x(0) = x_0 \in E, \quad (1)$$

где $\varepsilon > 0$ — малый параметр; w — k -мерный вектор возмущений типа "белого шума"; α, σ — гладкие матричные функции.

Управления $U(t)$ в соотношении (1) формируются в виде обратных связей

$$U = Kx \quad (2)$$

таким образом, чтобы обеспечить состояние равновесия χ (аттрактор) невозмущенной системы, которая получается из уравнения (1) при $\varepsilon = 0$:

$$\dot{x} = \alpha(x, U), \quad x(0) = x_0 \quad (3)$$

с областью притяжения O_χ . Далее будем считать, что $\chi = 0$, а качество стабилизирующего управления (2) определяется линеаризованной системой:

$$\dot{x} = Ax + BU, \quad (4)$$

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 15-08-06859а.